



**Nuno Miguel Guerreiro Palma**

Licenciado em Ciências da Engenharia Mecânica

## **Contributo Metodológico para a Definição da Sequência de Maquinação Baseada em Tolerâncias**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Mecânica

Orientador: António José Freire Mourão, Professor Associado, Faculdade de Ciências e Tecnologias

Co-orientadores: Miguel David Matias Rodrigues, Mestre em Engenharia Mecânica,  
HVCC Portugal

Júri:

Presidente: Professor Doutor António Gabriel Marques Duarte dos Santos

Arguentes: Professora Doutora Carla Maria Moreira Machado

Vogais: Engenheiro Nuno Alexandre de Carvalho Guérin  
Professor Doutor António José Freire Mourão



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Setembro, 2015**



## **Contributo Metodológico para a Definição da Sequência de Maquinação Baseada em Tolerâncias**

Copyright © Nuno Miguel Guerreiro Palma, 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 objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



# AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao meu orientador Professor Doutor António Mourão pela oportunidade de poder realizar a presente dissertação. Sempre se mostrou disponível para ajudar e para esclarecer quaisquer dúvidas que surgiram durante este percurso.

Aos Engenheiros Nuno Guerin e Miguel Rodrigues por proporcionarem o caso de estudo e por estarem disponíveis para esclarecerem dúvidas e fornecerem as informações necessárias para a realização da dissertação.

Gostaria de agradecer especialmente aos meus pais, Carlos e Maria Eduarda, por tudo o que consegui hoje e que ainda irei conseguir. Sem eles nada disto seria possível.

E por último gostaria de agradecer aos meus amigos e colegas por estes últimos 5 anos. Muito obrigado malta pela vossa amizade e companheirismo. Sem vocês isto não era a mesma coisa.



# RESUMO

---

Do que é usual observar em bibliografia da área da tecnologia, os processos de maquinação são determinados essencialmente pelas geometrias nominais a cumprir e negligenciam os desvios próprios do fabrico, os quais estão expressos em tolerâncias, dimensionais e geométricas. Com esta dissertação pretende-se fazer a abordagem do planeamento da maquinação tendo como critério relevante as tolerâncias de fabrico o que vem ao encontro das preocupações na preparação de trabalho para produção em série.

Para o efeito foi elaborada uma metodologia com vista à criação racional do plano de maquinação, baseado na análise das tolerâncias com vista ao estabelecimento de operações e respectiva sequência que criem as condições favoráveis conducentes ao cumprimento das especificações do desenho. O desenvolvimento da metodologia dividiu-se em três fases principais. Numa fase inicial foi feita a análise dos desenhos da peça para depois ser possível estabelecer uma sequência de maquinação. Estabelecida a sequência de maquinação procedeu-se à escolha de ferramentas que irão efectuar as operações.

O trabalho foi desenvolvido em articulação com uma empresa, a qual validou a metodologia proposta. Do trabalho realizado é possível concluir que a industrialização de uma peça é absolutamente dependente da análise correta das tolerâncias especificadas nos desenhos.

**Palavras-chave:** Plano de Maquinação, Tolerâncias de fabrico, Planeamento de produção, Análise de desenhos





# ABSTRACT

---

From what we usually observe in the literature concerning technology, the machining processes are determined primarily by the nominal geometries and neglect manufacturing deviations which are expressed in tolerances, geometrical and dimensional. With this Master Thesis, the point is to make the approach to the machining planning having the manufacturing tolerances as a relevant criterion, which meets the concerns in work preparation for series production.

For that purpose it was created a methodology which aims to the rational creation of the machining plan, based on the analysis of tolerances to establish operations and their sequence that create favorable conditions that go towards the fulfilling of the design specifications. The development of that methodology was divided in three main stages. In an initial stage there was the analysis of the drawings to then be possible to establish a machining sequence. After the machining sequence was established we proceeded to the choice of tools that will perform the operations.

The study was conducted in conjunction with a company, which validated the proposed methodology. From the work developed, we can now conclude that the industrialization of a part is absolutely dependent on the correct analysis of the tolerances specified in the drawings.

**Keywords:** Machining plan, Manufacturing tolerances, Production planning, Drawings analysis



# ÍNDICE

|  |      |
|--|------|
| AGRADECIMENTOS .....   | v    |
| RESUMO .....   | vii  |
| ABSTRACT .....   | ix   |
| ÍNDICE.....  | xi   |
| ÍNDICE DE TABELAS .....                                      | xiii |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....                                       | xv   |
| 1 - INTRODUÇÃO .....   | 1    |
| 1.1 OBJECTIVOS.....  | 1    |
| 1.2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....                         | 2    |
| 2 - ASPECTOS A CONSIDERAR NUM PLANEAMENTO DE MAQUINAÇÃO..... | 3    |
| 2.1 PLANO DE PROCESSO .....                                  | 3    |
| 2.1.1 <i>O planeador do processo.....</i>                    | 3    |
| 2.1.2 <i>A missão do planeamento de processo.....</i>        | 4    |
| 2.2 MATERIAL A MAQUINAR .....                                | 5    |
| 2.3 MÁQUINAS-FERRAMENTA .....                                | 6    |
| 2.4 TOLERANCIAMENTO GEOMÉTRICO .....                         | 7    |
| 3 - METODOLOGIA .....  | 11   |
| 3.1 INTRODUÇÃO .....   | 11   |
| 3.2 FLUXOGRAMA PRINCIPAL .....                               | 11   |
| 3.3 FLUXOGRAMA RELATIVO À ANÁLISE DOS DESENHOS.....          | 11   |
| 3.4 FLUXOGRAMA RELATIVO À SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES .....       | 12   |
| 3.5 FLUXOGRAMA RELATIVO À ESCOLHA DE FERRAMENTAS.....        | 12   |
| 4 - ANÁLISE DOS DESENHOS .....                               | 17   |
| 4.1 PRÉ-MAQUINAÇÃO .....                                     | 17   |
| 4.2 FASE DE ACABAMENTO.....                                  | 22   |
| 5 - SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES .....                             | 25   |

|  |    |
|--|----|
| 6 - FASE DE PRÉ-MAQUINAÇÃO .....                     | 33 |
| 6.1    1ª FASE.....                                  | 33 |
| 6.1.1    1ª Operação.....                            | 34 |
| 6.1.2    2ª Operação.....                            | 36 |
| 6.1.3    3ª Operação.....                            | 38 |
| 6.2    2ª FASE.....                                  | 38 |
| 6.2.1    4ª Operação.....                            | 39 |
| 6.2.2    5ª Operação.....                            | 41 |
| 6.2.3    6ª Operação.....                            | 45 |
| 6.2.4    7ª Operação.....                            | 46 |
| 6.2.5    8ª Operação.....                            | 48 |
| 6.2.6    9ª Operação.....                            | 49 |
| 6.2.7    10ª Operação.....                           | 51 |
| 6.2.8    11ª Operação.....                           | 53 |
| 6.2.9    12ª Operação.....                           | 55 |
| 6.2.10    13ª Operação.....                          | 56 |
| 6.2.10.1    Ferramenta de rosqueamento.....          | 56 |
| 6.2.10.2    Ferramenta de furação.....               | 57 |
| 6.3    SÍNTESE DE FERRAMENTAS.....                   | 59 |
| 6.4    SÍNTESE DE PARÂMETROS DE CORTE.....           | 60 |
| 7 - FASE DE ACABAMENTO .....                         | 61 |
| 7.1    1ª ALTERNATIVA .....                          | 62 |
| 7.2    2ª ALTERNATIVA .....                          | 64 |
| 8 - CONCLUSÕES E PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS ..... | 67 |
| ANEXOS .....   | 69 |
| BIBLIOGRAFIA .....                                   | 71 |

# ÍNDICE DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| TABELA 2.1 – PROPRIEDADES DO FERRO FUNDIDO [3] .....  | 6  |
| TABELA 2.2 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO FERRO FUNDIDO [3] .....  | 6  |
| TABELA 2.3 – SÍMBOLOS PARA AS TOLERÂNCIAS [6] .....   | 9  |
| TABELA 2.4 – SIMBOLOGIA ADICIONAL [6] .....   | 9  |
| TABELA 4.1 – DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS/PORMENORES DA FIGURA 4.4 .....                           | 19 |
| TABELA 4.2 – DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS/PORMENORES DA FIGURA 4.5 .....                           | 21 |
| TABELA 4.3 – DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS/PORMENORES DA FIGURA 4.7 .....                           | 23 |
| TABELA 5.1 – LISTA DE OPERAÇÕES PRINCIPAIS .....  | 26 |
| TABELA 5.2 – MATRIZ DE ESTRUTURA DE PROJECTO INICIAL .....  | 29 |
| TABELA 5.3 – MATRIZ DE ESTRUTURA DE PROJECTO FINAL .....  | 31 |
| TABELA 6.1 – VALORES DA SOBRE ESPESSURA PARA FUNDIÇÃO EM AREIA (ADAPTADO DE [9]) .....              | 35 |
| TABELA 6.2 – PARÂMETROS DE CORTE RECOMENDADOS PARA O FERRO FUNDIDO .....                            | 41 |
| TABELA 6.3 – PARÂMETROS DE CORTE RECOMENDADOS PARA A FERRAMENTA UTILIZADA NA 4ª OPERAÇÃO .....      | 41 |
| TABELA 6.4 – VALORES DA VELOCIDADE DE CORTE RECOMENDADOS PARA A 4ª OPERAÇÃO .....                   | 41 |
| TABELA 6.5 – PARÂMETROS DE CORTE RECOMENDADOS PARA A FERRAMENTA UTILIZADA NA 5ª OPERAÇÃO .....      | 44 |
| TABELA 6.6 – VALORES DA VELOCIDADE DE CORTE RECOMENDADOS PARA A 5ª OPERAÇÃO .....                   | 44 |
| TABELA 6.7 – VALORES DA VELOCIDADE DE CORTE E AVANÇO RECOMENDADOS PARA A 7ª OPERAÇÃO .....          | 48 |
| TABELA 6.8 – VALORES DA VELOCIDADE DE CORTE E AVANÇO RECOMENDADOS PARA O PROCESSO DE FURAÇÃO .....  | 58 |
| TABELA 6.9 – LISTA DE FERRAMENTAS A UTILIZAR NA PRÉ-MAQUINAÇÃO .....                                | 59 |
| TABELA 6.10 – LISTAGEM DOS PARÂMETROS RECOMENDADOS A UTILIZAR NAS OPERAÇÕES DE PRÉ MAQUINAGEM ..... | 60 |



# ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 2.1 – O PLANEADOR DE PROCESSO .....   | 4  |
| FIGURA 3.1 – FLUXOGRAMA PRINCIPAL.....   | 13 |
| FIGURA 3.2 – FLUXOGRAMA DA ANÁLISE DOS DESENHOS .....  | 14 |
| FIGURA 3.3 – FLUXOGRAMA DO ESTABELECIMENTO DA SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES.....                          | 15 |
| FIGURA 3.4 – FLUXOGRAMA DA ESCOLHA DE FERRAMENTAS .....  | 16 |
| FIGURA 4.1 – VISTAS FRONTAL E POSTERIOR DA PEÇA .....  | 17 |
| FIGURA 4.2 – VISTA DA ESPIRAL DA PEÇA .....  | 18 |
| FIGURA 4.3 – VISTA FRONTAL DA PEÇA.....  | 18 |
| FIGURA 4.4 – VISTA DA SECÇÃO A .....   | 19 |
| FIGURA 4.5 – VISTA EM DETALHE DO CÍRCULO C.....  | 21 |
| FIGURA 4.6 – VISTA DA SECÇÃO B.....  | 22 |
| FIGURA 4.7 – VISTA DA SECÇÃO A .....   | 22 |
| FIGURA 4.8 – VISTA PORMENORIZADA DA EXTREMIDADE DA ESPIRAL .....                                   | 24 |
| FIGURA 5.1 – LOCALIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES 1, 2, 3, 4, 5 E 7 .....                                     | 26 |
| FIGURA 5.2 – LOCALIZAÇÃO DA OPERAÇÃO 9 .....   | 27 |
| FIGURA 5.3 – LOCALIZAÇÃO DA OPERAÇÃO 8 .....   | 27 |
| FIGURA 5.4 – LOCALIZAÇÃO DA OPERAÇÃO 6 .....   | 27 |
| FIGURA 5.5 – LOCALIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES 10, 11 E 12.....  | 28 |
| FIGURA 5.6 – LOCALIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES 13 E 14 .....   | 28 |
| FIGURA 5.7 – FLUXOGRAMA DA DSM.....  | 30 |
| FIGURA 6.1 – DISTINÇÃO ENTRE AMBOS OS LADOS DA PEÇA .....  | 34 |
| FIGURA 6.2 – CARACTERÍSTICAS DA FERRAMENTA UTILIZADA NA 1ª OPERAÇÃO .....                          | 35 |
| FIGURA 6.3 – CARACTERÍSTICAS DO SUPORTE ESCOLHIDO PARA A FERRAMENTA UTILIZADA NA 1ª OPERAÇÃO ..... | 36 |
| FIGURA 6.4 – CARACTERÍSTICAS DA FERRAMENTA UTILIZADA NA 2ª OPERAÇÃO .....                          | 37 |
| FIGURA 6.5 – CARACTERÍSTICAS DO SUPORTE ESCOLHIDO PARA A FERRAMENTA UTILIZADA NA 2ª OPERAÇÃO ..... | 38 |
| FIGURA 6.6 – CARACTERÍSTICAS DA FERRAMENTA UTILIZADA NA 4ª OPERAÇÃO .....                          | 39 |
| FIGURA 6.7 – EXEMPLIFICAÇÃO DO CAMINHO DESCRITO PELA FERRAMENTA NA 4ª OPERAÇÃO.....                | 40 |
| FIGURA 6.8 – CARACTERÍSTICAS DO ACOPLAMENTO DA FERRAMENTA PARA A 4ª OPERAÇÃO.....                  | 40 |
| FIGURA 6.9 – SUPERFÍCIE A MAQUINAR NA 5ª OPERAÇÃO .....  | 41 |
| FIGURA 6.10 – CARACTERÍSTICAS DA FERRAMENTA UTILIZADA NA 5ª OPERAÇÃO.....                          | 42 |
| FIGURA 6.11 – EXEMPLIFICAÇÃO DO CAMINHO DESCRITO PELA FERRAMENTA NA 5ª OPERAÇÃO .....              | 43 |
| FIGURA 6.12 – CARACTERÍSTICAS DO ACOPLAMENTO DA FERRAMENTA PARA A 5ª OPERAÇÃO .....                | 44 |
| FIGURA 6.13 – INDICAÇÃO DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL REQUERIDA .....                                  | 45 |
| FIGURA 6.14 – RASGO A OBTER NA 6ª OPERAÇÃO .....   | 45 |
| FIGURA 6.15 – CARACTERÍSTICAS DA FERRAMENTA A UTILIZAR NA 6ª OPERAÇÃO .....                        | 46 |

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 6.16 – SUPERFÍCIE A MAQUINAR NA 7ª OPERAÇÃO.....                               | 46 |
| FIGURA 6.17 – CARACTERÍSTICAS DA FERRAMENTA UTILIZADA NA 7ª OPERAÇÃO.....             | 47 |
| FIGURA 6.18 – EXEMPLIFICAÇÃO DO CAMINHO DESCRITO PELA FERRAMENTA NA 7ª OPERAÇÃO. .... | 48 |
| FIGURA 6.19 – IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS FORMAS D E E.....                    | 49 |
| FIGURA 6.20 – IDENTIFICAÇÃO DAS FORMAS A, B E C (A SOMBREADO).....                    | 50 |
| FIGURA 6.21 – IDENTIFICAÇÃO DO RAIOS DESCONHECIDO NAS FORMAS A, B E C. ....           | 50 |
| FIGURA 6.22 – CARACTERÍSTICAS DA FERRAMENTA A UTILIZAR NA 9ª OPERAÇÃO .....           | 50 |
| FIGURA 6.23 – CHANFROS A REALIZAR NA 10ª OPERAÇÃO.....                                | 51 |
| FIGURA 6.24 – ILUSTRAÇÃO DA FERRAMENTA E DA PEÇA NA 10ª OPERAÇÃO.....                 | 52 |
| FIGURA 6.25 - CARACTERÍSTICAS DA FERRAMENTA UTILIZADA NA 10ª OPERAÇÃO.....            | 52 |
| FIGURA 6.26 – SUPORTE ESCOLHIDO PARA A FERRAMENTA UTILIZADA NA 10ª OPERAÇÃO.....      | 53 |
| FIGURA 6.27 – CHANFRO A REALIZAR NA 11ª OPERAÇÃO.....                                 | 53 |
| FIGURA 6.28 - CARACTERÍSTICAS DA FERRAMENTA UTILIZADA NA 11ª OPERAÇÃO.....            | 54 |
| FIGURA 6.29 - SUPORTE ESCOLHIDO PARA A FERRAMENTA UTILIZADA NA 11ª OPERAÇÃO.....      | 54 |
| FIGURA 6.30 – CHANFRO A REALIZAR NA 12ª OPERAÇÃO.....                                 | 55 |
| FIGURA 6.31 - CAMINHO DESCRITO PELA FERRAMENTA NA 12ª OPERAÇÃO .....                  | 55 |
| FIGURA 6.32 – FURO ROSCADO A OBTER NA 13ª OPERAÇÃO .....                              | 56 |
| FIGURA 6.33 – FERRAMENTA UTILIZADA PARA EFECTUAR O ROSQUEAMENTO.....                  | 56 |
| FIGURA 6.34 - SUPORTE ESCOLHIDO PARA O MACHO UTILIZADO NA 13ª OPERAÇÃO.....           | 57 |
| FIGURA 6.35 . FERRAMENTA UTILIZADA PARA EFECTUAR A FURAÇÃO .....                      | 58 |
| FIGURA 7.1 – TOLERÂNCIAS A CUMPRIR ASSOCIADAS À ESPIRAL.....                          | 61 |
| FIGURA 7.2 – CARACTERÍSTICAS DA FERRAMENTA A UTILIZAR NA FASE DE ACABAMENTO.....      | 62 |
| FIGURA 7.3 – EXEMPLIFICAÇÃO DO CAMINHO A DESCRIVER PELA FERRAMENTA.....               | 63 |
| FIGURA 7.4 – EXTREMIDADE DA ESPIRAL.....  | 64 |
| FIGURA 7.5 – ILUSTRAÇÃO DA OPERAÇÃO DE FRESAGEM .....                                 | 65 |



# 1 - INTRODUÇÃO

O trabalho conducente a esta dissertação, desenvolvido em articulação com uma empresa industrial, visa o estudo da industrialização e a elaboração de uma metodologia que possa vir a ser usada no planeamento de trabalhos para a maquinação. Esta empresa é responsável pela maquinação de um número elevado de peças complexas, típicas da indústria automóvel. Como se pretende desenvolver uma metodologia global que se adequue a todos os casos este trabalho correria o risco de se tornar muito extenso. Assim, devido ao período limitado de realização da dissertação tomou-se a opção da divisão do estudo em dois trabalhos distintos mas complementares. Estes fazem a abordagem de peças diferentes do mesmo sistema mecânico com o objectivo de encontrar uma metodologia comum. O segundo trabalho desenvolvido complementarmente conduziu à dissertação cujo título é “Estudo da Industrialização de Peça Complexa com Base nas Tolerâncias”.

## 1.1 Objectivos

Com o desenvolvimento que a indústria teve nos últimos tempos, verifica-se um aumento substancial da complexidade das peças produzidas. Este aumento de complexidade conduz à necessidade de desvios dimensionais e geométricos cada vez menores. O objectivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma metodologia para planeamento de trabalho para maquinação que contemple não só a complexidade geométrica mas também os requisitos cada vez mais exigentes no que diz respeito às suas tolerâncias. Para cumprir o objectivo procedeu-se à elaboração de uma sequência coerente que contemple condições favoráveis ao cumprimento das tolerâncias de fabrico e que sejam aceites pela engenharia da empresa onde este caso foi objecto de estudo. A metodologia proposta é uma tentativa de encontrar uma estrutura metodológica em

que as tolerâncias sejam um factor determinante. Para a fabricação dessas peças é necessário a criação de um plano de processo, e um dos componentes do plano de processo é o plano de maquinação. Este dita como será realizada a maquinação de uma peça. Esse mesmo plano será aplicado a um caso real com o objectivo de averiguar a sua utilidade.

## **1.2 Organização da Dissertação**

O desenvolvimento da presente dissertação, representado no fluxograma da Figura 3.1, começou com uma definição inicial dos objectivos e com uma análise dos desenhos fornecidos pelo proprietário. Nesta análise (Capítulo 4) foi feita uma descrição das tolerâncias dimensionais e geométricas inerentes ao projecto. Foram também propostos possíveis métodos de maquinação para certas geometrias da peça.

Feita a análise, o próximo passo era estabelecer uma sequência de operações. O Capítulo 4 tem o objectivo de se estabelecer uma sequência de operações com base nas tolerâncias, sequência essa que contempla o número mínimo de apertos o que maximiza o número de operações por aperto minimizando o tempo despendido na alteração da fixação da peça.

Depois de estabelecida uma sequência de operações há que escolher quais as máquinas e ferramentas que irão efectuar a maquinação da peça. No Capítulo 6 são descritas todas as operações que irão ser levadas a cabo. Nessa descrição é dita qual a máquina-ferramenta que se irá utilizar, quais as ferramentas que irão realizar as operações bem como uma recomendação dos parâmetros de corte a utilizar por parte do fabricante das ferramentas. Embora no Capítulo 4 tenha sido idealizado quais os tipos de operação que poderiam ser utilizados para obter certas geometrias da peça, só no Capítulo 6 é que é definida qual o tipo de operação que se irá utilizar.

Com base no trabalho realizado foram então criados os fluxogramas apresentados no Capítulo 3 por forma a criar um guia que auxiliasse na criação de planos de maquinação independentemente das configurações que a peça possa apresentar.

No final da dissertação são apresentadas algumas conclusões e propostas de trabalho futuro.

## 2 - ASPECTOS A CONSIDERAR NUM PLANEAMENTO DE MAQUINAÇÃO

### 2.1 Plano de processo

Há muitas situações diferentes onde um certo trabalho é feito para transformar uma descrição de um produto num plano de como o fazer. Uma vasta gama de condições técnicas, pessoais e estratégicas certamente afectarão esse mesmo plano. A consideração de todos esses aspectos e a definição da melhor maneira de fabricar um produto sobre certas circunstâncias é chamado o plano de processo.

#### 2.1.1 O planeador do processo

A Figura 2.1 ilustra esquematicamente a tarefa do planeador de processo. Do lado esquerdo estão representadas as três áreas de interesse que actuam no desenvolvimento de um novo plano de processo ou na revisão de um plano de processo já existente. O planeador necessita de ter informações sobre essas três áreas e terá também que dar o *feedback* de aspectos do plano de processo de modo a haver uma maior interacção. Estas três áreas são, respectivamente, os recursos e a organização do desenvolvimento do produto, os recursos de fabrico disponíveis bem como as suas capacidades e competências e as soluções técnicas e métodos podem ser providenciados.

Ainda na Figura 2.1, à direita estão representados alguns dos resultados finais obtidos pelo planeador que são conteúdos típicos de um plano de processo e que representam o resultado final do planeamento após todas as interacções com as três áreas referidas.

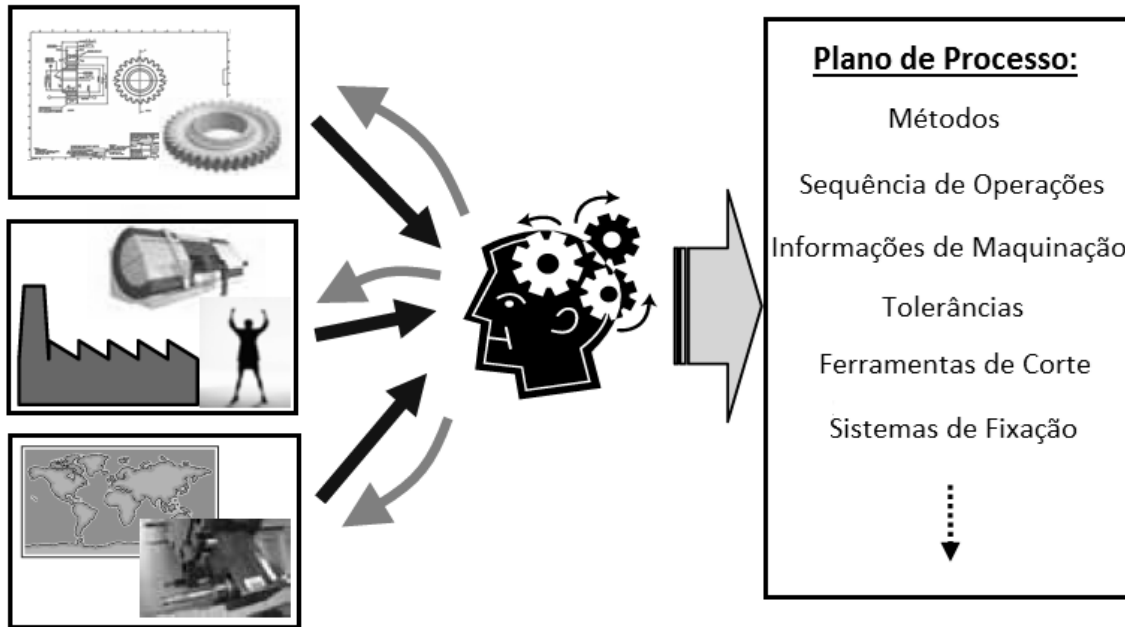


Figura 2.1 – O planejador de processo

### 2.1.2 A missão do planejamento de processo

Na maioria dos casos, o número de recursos disponível é limitado e isso é um dos aspectos dos quais quem faz o planejamento terá que estar ciente. Nesta fase há algumas questões que terão que ser respondidas e consoante as respostas obtidas resulta diferentes tipos de abordagem para elaborar o plano.

Poderá ser necessário proceder a alterações no desenho ou nas instalações de trabalho ou, em alguns casos, ambos. Para tal terá que haver um *feedback* entre o planejador e a entidade que irá desenvolver o produto e fabricá-lo. Poderá haver casos em que é necessário a introdução de novas soluções ou métodos para ser atingida uma determinada qualidade ou eficiência e para tal é requerida que haja uma interactividade entre fornecedores e o planejador.

A missão do planejador do processo e o objectivo geral do planejamento de processo da indústria é transformar todos os requerimentos necessários de modo a se definir um plano de processo que se adequa. Esse plano de processo deverá conter informação relativa à fabricação da peça de modo a que seja feita com boa qualidade aliada ao menor custo possível. Uma boa qualidade está relacionada aos requisitos impostos pelo cliente, requisitos esses que terão que ser transformados, definidos e decididos em função das tolerâncias associadas à peça em questão.

Consoante o tipo de produtos que a empresa produz, assim vai ser o plano de processo. Por exemplo um plano de processo para uma empresa que produza grandes lotes mas de pouca variedade é diferente do plano de processo de uma empresa que produz poucas quantidades mas grandes variedades.

Numa fábrica que produza grandes lotes, mas com pouca variedade há um número limitado de máquinas-ferramenta onde cada uma tem associada uma gama específica de operações. Pode-se assumir que essas máquinas comprem as necessidades dessa fábrica para a gama de produtos que produzem. Essas restrições acerca dos recursos disponíveis e das características dos produtos desenvolvidos permitem ao planeador uniformizar, simplificar e racionalizar o seu trabalho de maneira diferente comparativamente a uma produção diversificada com equipamentos mais flexíveis.

Mas não deveria de haver diferenças em como apresentar um novo produto para produção. Os fundamentos são os mesmos mas há várias maneiras de planear esse trabalho recorrendo a guias e diferentes soluções e estratégias.

Em todos os casos e como primeiro passo terá que haver uma investigação e análise técnica fundamentando o conhecimento que posteriormente poderá ser usado como:

- Feedback para o projectista

- Feedback para a fábrica

- Feedback para o fornecedor de equipamento

Base na elaboração de um único plano de processo ou de um método para um plano de processo sistemático. [1]

## **2.2 Material a maquinar**

O material escolhido, pelo proprietário dos desenhos, para o bruto da peça foi o ferro fundido, mais especificamente, o ferro fundido cinzento.

O ferro fundido cinzento é uma liga de ferro com elementos à base de carbono e silício (Tabela 2.2). É bastante usado na indústria por possuir um baixo ponto de fusão, permitir uma boa maquinabilidade e um baixo custo relativamente a outros metais. A sua fluidez na fundição permite com que se possam obter peças fundidas com paredes

finas e com geometrias complexas. Este material é utilizado em larga escala pela indústria de máquinas e equipamentos, indústria automóvel, ferroviária, naval e outras. A presença de veios de grafite na sua microestrutura proporciona diversas características que tornam do ferro fundido cinzento quase que insubstituível na fabricação de carcaças de motores e bases de equipamentos. A grafite proporciona ao material uma maior absorção de vibrações, facilitando assim a maquinação e conferindo ao ferro fundido uma melhor estabilidade dimensional.[2]

As propriedades físicas e mecânicas do ferro fundido estão apresentadas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Propriedades do ferro fundido[3]

| <b>Propriedades Físicas</b>   |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| Densidade                     | 7.15 kg/dm <sup>3</sup> |
| <b>Propriedades Mecânicas</b> |                         |
| Tensão de ruptura             | ≥ 276 MPa               |
| Dureza (HB max.)              | 183 - 234               |

Tabela 2.2 – Composição química do ferro fundido[3]

| <b>Elemento</b> | <b>Percentagem</b> |
|-----------------|--------------------|
| Carbono, C      | 3.25 – 3.5         |
| Manganésio, Mn  | 0.50 – 0.90        |
| Silício, Si     | 1.8 – 2.3          |
| Fósforo, P      | ≤ 0.12             |
| Enxofre, S      | ≤ 0.15             |

### 2.3 Máquinas-Ferramenta

Não havendo qualquer restrição em termos de máquinas-ferramenta, para se efectuar a maquinação da peça escolheram-se as máquinas MAZAK Integrex i-200 [4] e a KERN Micro [5].

A MAZAK Integrex i-200 foi a máquina escolhida para se efectuar a pré-maquinação por permitir que sejam realizadas operações de fresagem, torneamento e furação sem

ser necessário uma alteração da fixação da peça o que se torna bastante vantajoso para uma fase inicial onde há vários tipos de operações a realizar.

Características Principais:

Velocidade máxima de rotação do porta ferramentas (spindle): 12000 rpm

Velocidade máxima de rotação do porta peças: 5000 rpm.

Para a fase de acabamento optou-se pela *KERN Micro*. Esta é uma máquina polivalente que oferece possibilidades de automação notáveis combinadas uma precisão nanométrica. Esta máquina pode ser utilizada para diversos tipos de peças e apresenta a alta precisão posicional de  $\pm 0.5\mu\text{m}$ .

Características principais:

Tolerância de posição do porta ferramentas:  $\pm 0.5\mu\text{m}$

Tolerância de inclinação do porta peças:  $\pm 3.0''$

Tolerância de rotação do porta peças:  $\pm 0.5''$

Velocidade máxima de rotação do porta ferramentas (spindle): 35000rpm

Velocidade máxima de rotação do porta peças: 42000rpm.

## **2.4 Toleranciamento geométrico**

Hoje em dia, o toleranciamento representa uma parte muito importante no desenvolvimento de um produto na indústria. Tipicamente, as tolerâncias são definidas numa fase inicial do desenvolvimento do produto e têm alguma relevância na tomada de certas decisões na fabricação do mesmo. Um custo acrescido e perda de qualidade do produto são alguns dos aspectos negativos que resultam de um mau toleranciamento, aspectos esses que emergem já numa fase mais avançada do desenvolvimento. Nessa fase, as definições de produto podem ser alteradas, o que requer um maior esforço e um custo superior, pois será necessário despender de mais horas de trabalho para se proceder às alterações.

O toleranciamento geométrico é um meio de especificar determinadas funções duma peça, ou de partes da mesma, ou de peças dum conjunto mecânico. Além disso

é uma técnica que, adequadamente utilizada, leva a uma forma mais económica e eficaz de produção e inspecção da peça.

As tolerâncias dimensionais não permitem a transmissão da totalidade da informação da funcionalidade dos sistemas mecânicos, nem permitem contemplar determinados erros de fabrico. As tolerâncias geométricas vêm colmatar a falta de informação e a ambiguidade deixada pelas tolerâncias dimensionais. As tolerâncias geométricas, mais especificamente as tolerâncias de posição pressupõem o estabelecimento de elementos de referência, o que permite incluir informação adicional sobre a funcionalidade e, conseqüentemente, determinar a sequência de fabrico, nomeadamente no que concerne aos apertos da peça para a maquinação, assim como definir os pontos de apoio da componente para a respectiva inspecção.

A indicação das tolerâncias geométricas não implica necessariamente o uso particular de qualquer método de produção, medição ou inspecção. No entanto, uma correcta interpretação do toleranciamento geométrico dá uma preciosa ajuda para o estabelecimento dos processos de produção, medição e inspecção.

A tolerância geométrica aplicada a uma característica define a zona de tolerância na qual a característica (superfície, eixo ou plano médio) deve estar contida. A zona de tolerância:

- a área dentro de um círculo;
- a área entre dois círculos concêntricos;
- a área entre duas linhas equidistantes;
- o espaço dentro de um cilindro;
- o espaço entre dois cilindros coaxiais;
- o espaço entre dois planos equidistantes;
- o espaço dentro de um paralelepípedo.

Na Tabela 2.3 são apresentados os símbolos das características toleranciadas e a Tabela 2.4 apresenta os símbolos adicionais que permitem fazer a ligação do símbolo de tolerância à característica a toleranciar e à referência, assim como a localização teoricamente exacta e o estado de material. [6]



Tabela 2.3 – Símbolos para as tolerâncias [6]

| Tolerâncias              |                            | Símbolos                       |  |
|--------------------------|----------------------------|--------------------------------|--|
| Tolerâncias isoladas     | Tolerâncias de forma       | Rectidão                       |  |
|                          |                            | Planeza                        |  |
|                          |                            | Circularidade                  |  |
|                          |                            | Cilindricidade                 |  |
|                          |                            | Perfil de uma linha            |  |
|                          |                            | Perfil de uma superfície       |  |
| Tolerâncias relacionadas | Tolerâncias de orientação  | Paralelismo                    |  |
|                          |                            | Perpendicularidade             |  |
|                          |                            | Inclinação                     |  |
|                          | Tolerâncias de localização | Posição                        |  |
|                          |                            | Concentricidade e coaxialidade |  |
|                          |                            | Simetria                       |  |
|                          | Tolerâncias de movimento   | Movimento circular             |  |
|                          |                            | Movimento total                |  |

Tabela 2.4 – Simbologia adicional [6]

| Descrições   |           | Símbolos |
|--|-----------|----------|
| Indicações das características toleranciadas                                       | directa   |          |
|  | por letra |          |
| Indicações das referência ( <i>datums</i> )  | directa   |          |
|  | por letra |          |
| Ponto(s) delimitado(s) de uma característica de referência ( <i>datum target</i> ) |           |          |
| Dimensão teoricamente exacta   |           |          |
| Zona de tolerância projectada  |           |          |
| Condição de máximo material  |           |          |



## **3 - METODOLOGIA**

### **3.1 Introdução**

Por vezes, ao estabelecer um plano de maquinação de uma determinada peça há aspectos que não são tomados em consideração como por exemplo as tolerâncias, número de apertos e o modo como são feitos ou uma sequência de maquinação adequada. Os fluxogramas apresentados neste capítulo vêm colmatar essas falhas de modo a que quem os utilize cumpra todos os requisitos de projecto, ultrapassando as falhas referidas anteriormente. Esta metodologia vai contribuir para uma sistematização da criação de um plano de maquinação resultando numa diminuição do número de peças que não satisfazem todos os requisitos impostos.

### **3.2 Fluxograma principal**

Por forma a criar um fluxograma que descrevesse o plano de maquinação de uma peça genérica idealizou-se o fluxograma representado na Figura 3.1. Inicialmente houve uma fase em que foram definidos os objectivos seguidos de uma análise detalhada dos desenhos. De seguida foi estabelecida uma sequência de operações que se finalizou com a escolha de ferramentas com que irão ser realizadas essas mesmas operações.

### **3.3 Fluxograma relativo à análise dos desenhos**

Na análise dos desenhos (Figura 3.2) foi feita uma análise detalhada da geometria e das dimensões da peça de modo a serem identificadas operações que possam ter alguma dificuldade na sua execução onde serão depois apresentadas possíveis soluções para as mesmas. Depois de terem sido identificadas zonas da peça onde seja necessário haver algum cuidado durante a maquinação são identificadas e analisadas todas as

tolerâncias presentes nos desenhos. Se possível, proceder-se-á a simplificação de algumas cotas e depois serão detectadas algumas cotas que poderão ser críticas. Analisando certas geometrias da peça pode ser definido um possível processo de maquinação para essa geometria, verificando depois se as tolerâncias associadas se enquadram no processo idealizado (Anexo 2) finalizando assim a análise dos desenhos.

### **3.4 Fluxograma relativo à sequência de operações**

Feita a análise dos desenhos é necessário definir uma sequência de operações (Figura 3.3) que começa por de ver se há algum constrangimento a nível de máquinas-ferramenta. De seguida, utilizando o caso da presente dissertação em que não há esse constrangimento, idealiza-se uma possível sequência de operações. De modo a estabelecer uma sequência de operações recorre-se a métodos auxiliares como a *DSM*. Caso essa sequência que foi estabelecida anteriormente cumpra o número mínimo de apertos são então idealizados tipos de aperto. Caso as fixações sejam *standard*, estas podem ser escolhidas com recurso a catálogos de fabricantes. Caso haja a necessidade de uma fixação especial esta terá que ser criada. Esta fase finaliza-se com a escolha de máquinas-ferramenta que permita realizar a sequência de operações definida anteriormente.

### **3.5 Fluxograma relativo à escolha de ferramentas**

Estabelecida uma sequência de operações segue-se a escolha de ferramentas (Figura 3.4) que se inicia com uma identificação do material a maquinar. Escolhido um processo para a operação desejada será definido um tipo de ferramenta que se adequa tanto a essa operação como ao material a maquinar. Efectuada uma consulta de catálogos averigua-se se a ferramenta necessitará de ser especial ou não. Caso esta não necessite de ser especial selecciona-se uma possível ferramenta para o processo que se segue com a escolha do suporte para a mesma. Caso a ferramenta necessite de ser especial esta terá que ser criada. Depois de escolhido o suporte da ferramenta seleccionaram-se os parâmetros de corte recomendados pelo fabricante, valores esses também encontrados no catálogo do fabricante, finalizando assim a escolha de ferramentas.

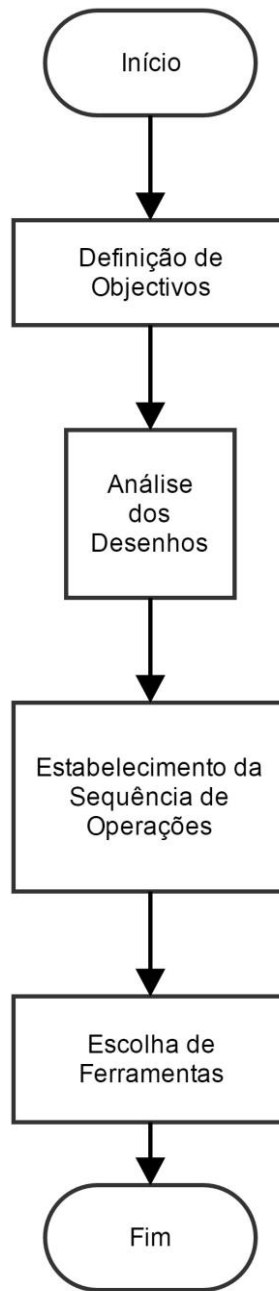


Figura 3.1 – Fluxograma principal

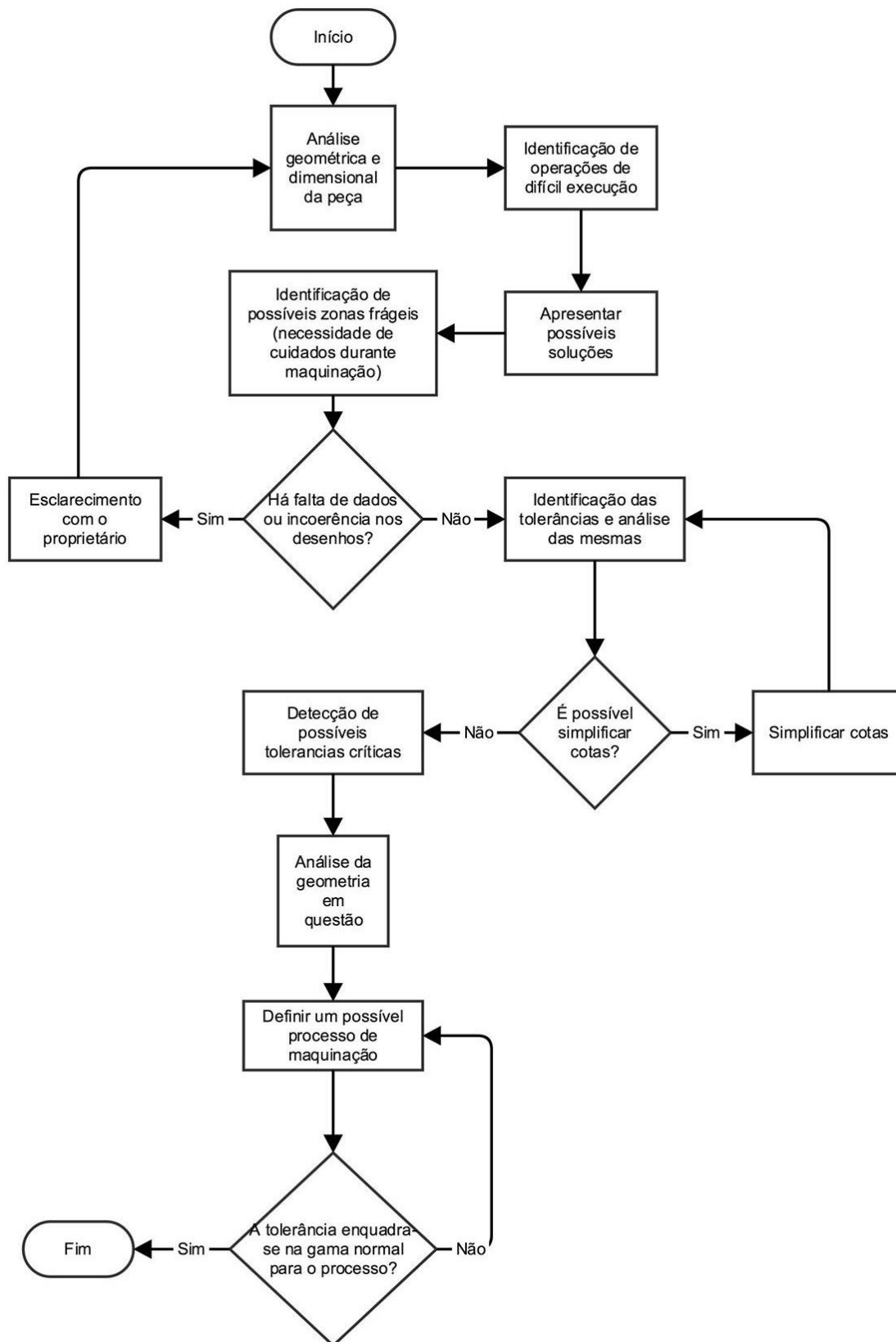


Figura 3.2 – Fluxograma da análise dos desenhos

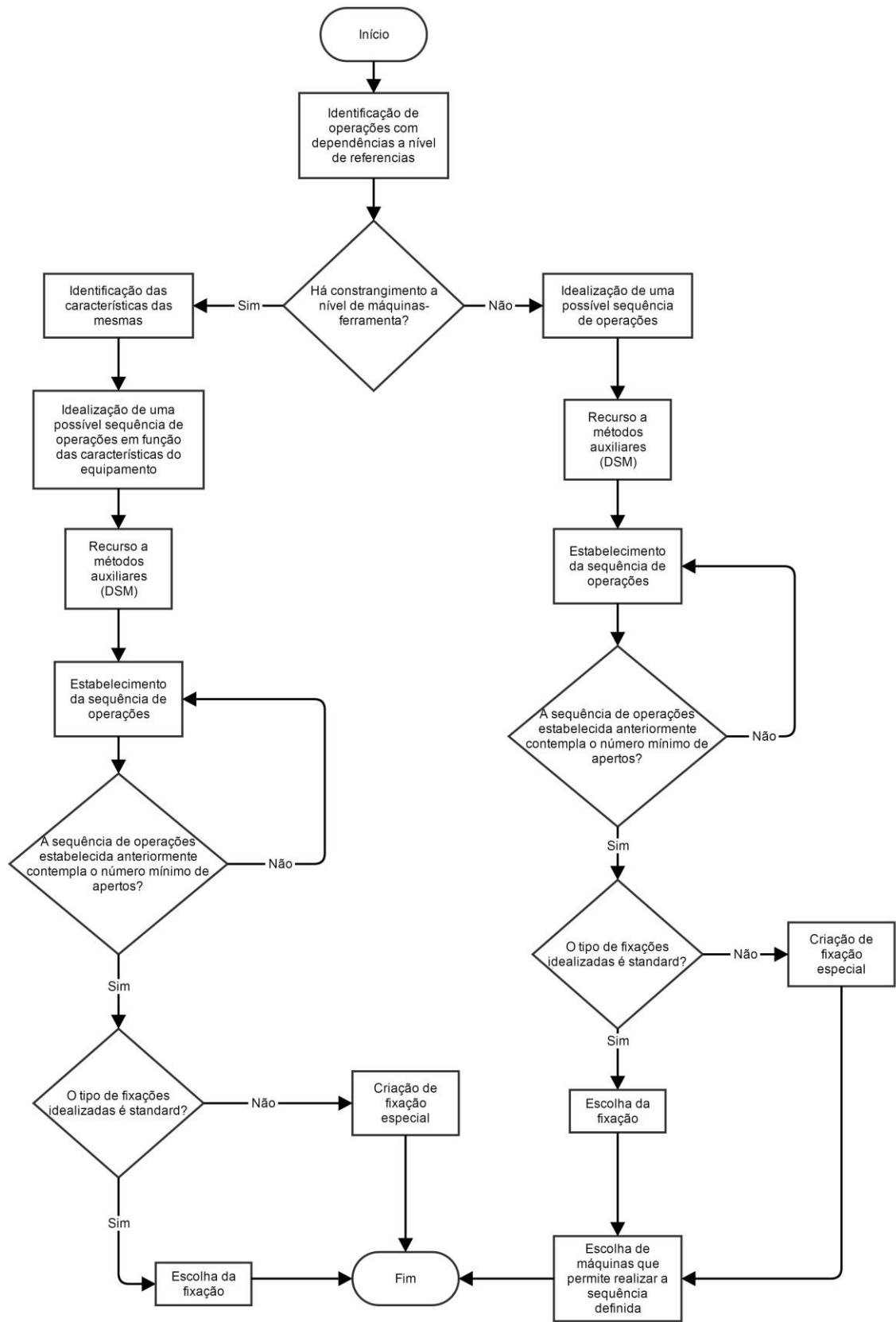


Figura 3.3 – Fluxograma do estabelecimento da sequência de operações

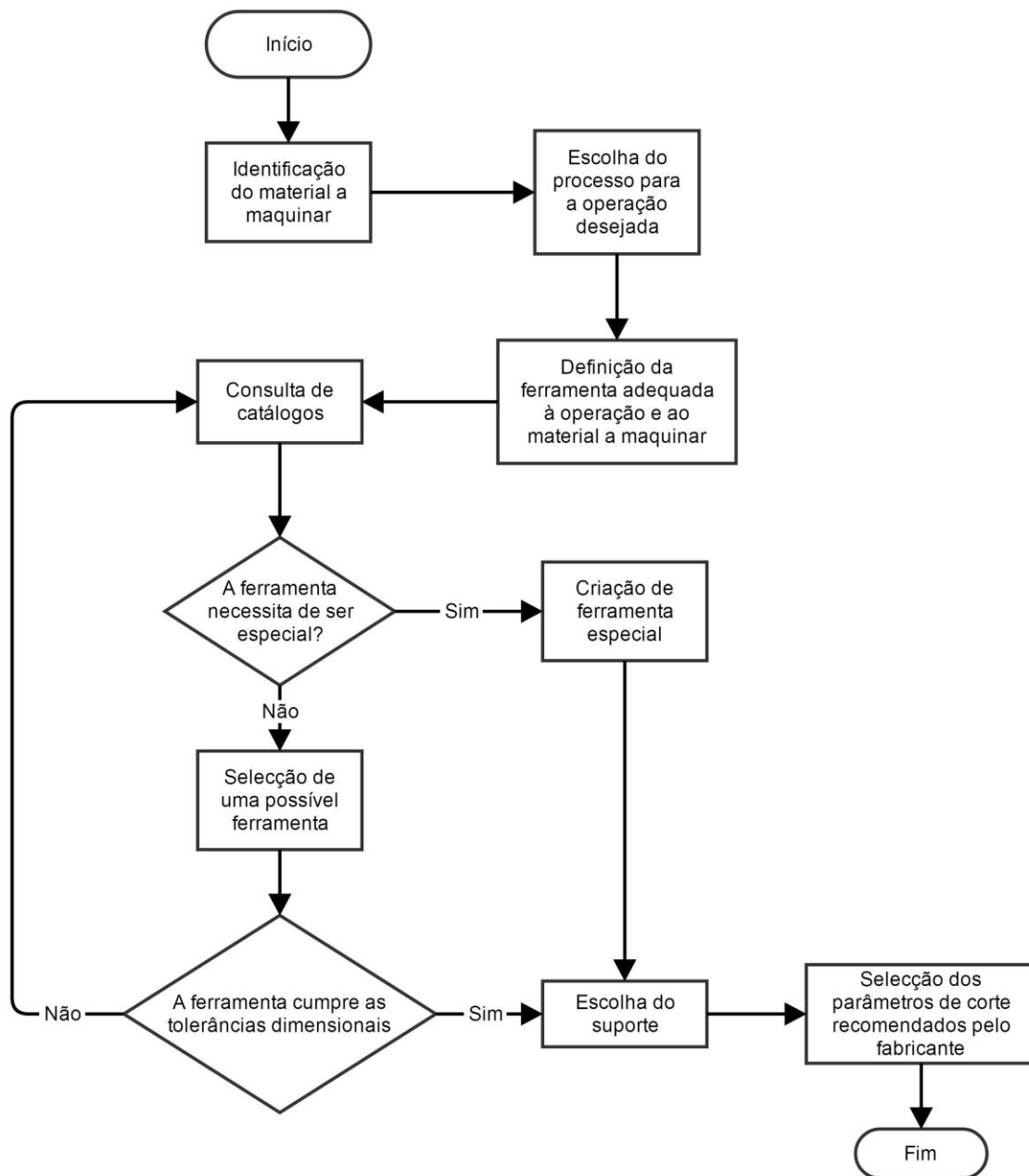


Figura 3.4 – Fluxograma da escolha de ferramentas



## 4 - ANÁLISE DOS DESENHOS

Antes de se proceder à maquinação da peça terá que se efectuar uma análise do componente. Ao longo deste capítulo será feita uma discriminação das características e aspectos funcionais que a peça possui e que podem ser decisivos na tomada de decisão na parte da maquinação da mesma. A numeração das operações que é apresentada nas figuras deste capítulo não segue uma ordem lógica. Essa numeração está coerente com a atribuída no Capítulo 5 por ter sido realizado anteriormente ao Capítulo 4.

### 4.1 Pré-maquinação

Na Figura 4.1, à primeira vista é possível ver que algumas superfícies da peça possuem um eixo de revolução, o que indica que poderá haver processos de torneamento na maquinação, o que não invalida o facto dessas mesmas superfícies poderem ser obtidas a partir de um processo de fresagem. Nas duas vistas principais da peça são também apresentados dois cortes, A e B, que serão explicados mais a frente.

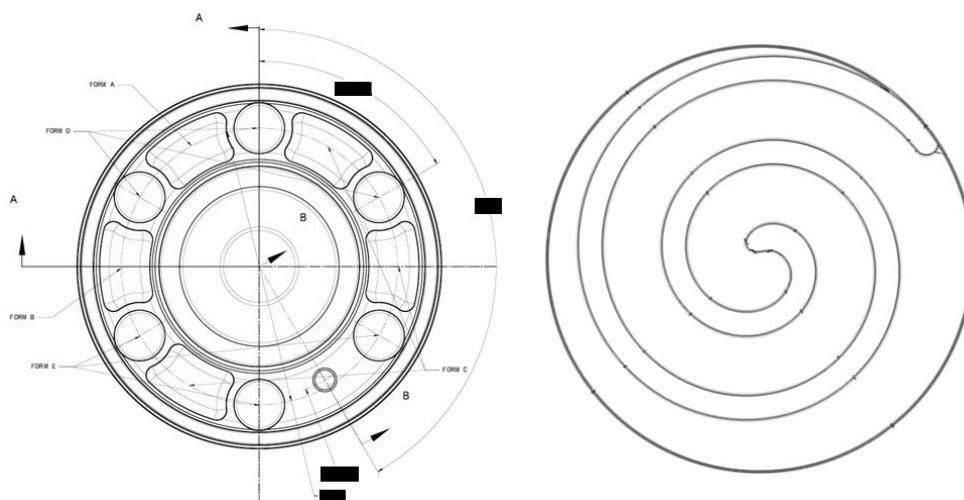


Figura 4.1 – Vistas frontal e posterior da peça

Analisando a vista da Figura 4.2, é de notar a referência F. Esta refere-se a um ponto na extremidade da espiral. Esse ponto pertence a uma linha tangente à espiral e que passa pelo centro da peça. Isto indica que poderá haver uma situação em que, no aperto da peça, esta referência sirva de encosto quer na maquinação ou na verificação de uma ou mais características da peça.

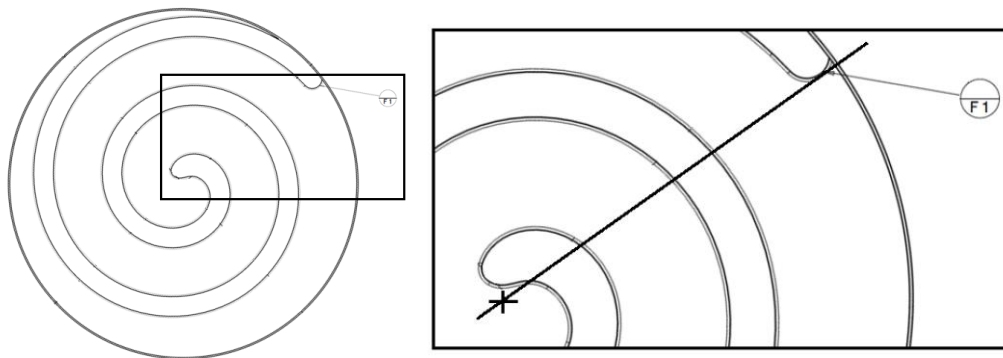


Figura 4.2 – Vista da espiral da peça

Na Figura 4.3 estão assinaladas algumas cotas teoricamente exactas. Essas cotas definem uma dimensão ou um ângulo que servem para comparar com outros elementos, i.e., há elementos a toleranciar cuja sua posição ideal é definida segundo estas cotas.

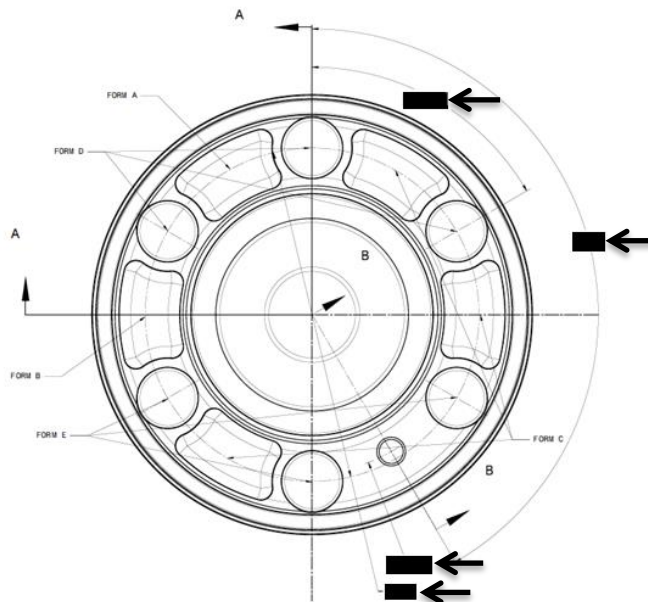


Figura 4.3 – Vista frontal da peça

Na Figura 4.4 é apresentada a vista da secção A da peça. Nessa vista são apresentadas mais algumas características e pormenores da peça que estarão melhor clarificados na Tabela 4.1. A vista em pormenor do círculo C está apresentada na Figura 4.5

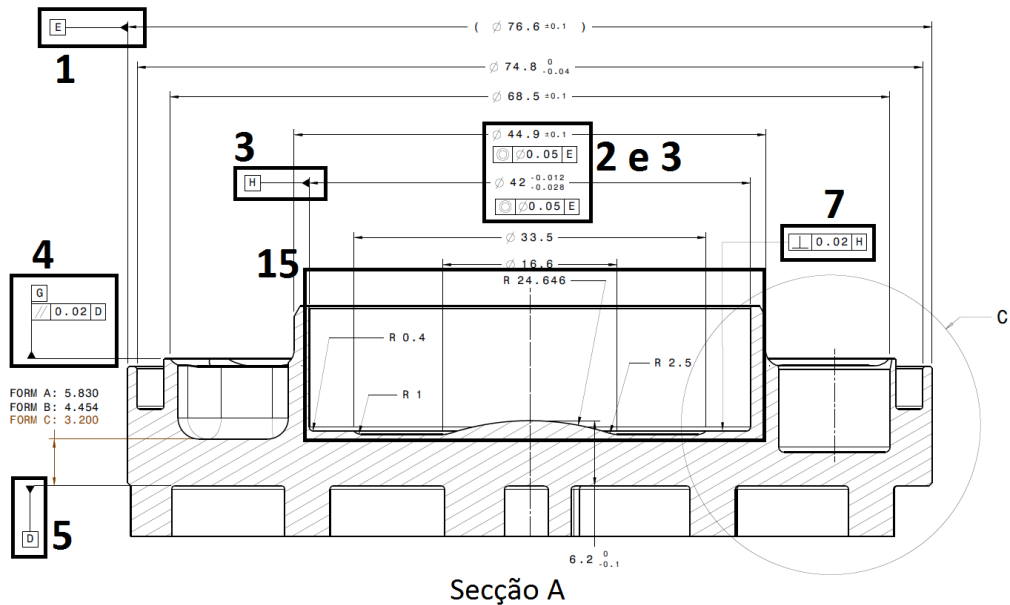
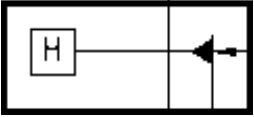
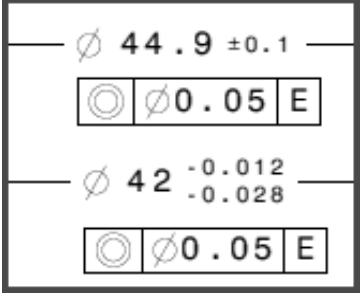
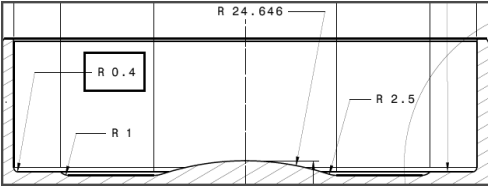
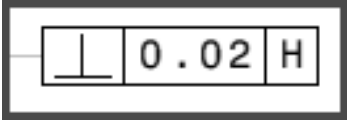


Figura 4.4 – Vista da secção A

Tabela 4.1 – Descrição das características/pormenores da Figura 4.4

| Nº | Característica | Descrição   |
|----|----------------|---|
| 1  |                | A referência E refere-se ao eixo da superfície cilíndrica à qual está associada.  |
| 5  |                | A referência D refere-se ao plano médio constituído pelos pontos localizados na base da espiral.  |
| 4  |                | A referência G refere-se a um plano e o quadro de tolerância indica-nos uma tolerância de paralelismo. Neste caso o plano médio constituído pelos pontos que constituem a referência G tem que estar contido entre dois planos paralelos distanciados de 0.02 mm, cujo plano médio desses dois planos está a uma certa distância da referência D. |

|       |   |   |
|-------|---|---|
| 3     |    | <p>Tal como se sucede em E, a referência H também se refere ao eixo de uma superfície cilíndrica.</p>   |
| 2 e 3 |    | <p>Estes dois quadros de tolerância indicam-nos uma tolerância de concentricidade. Em relação a estas duas superfícies cilíndricas, este quadro indica que os eixos destas duas superfícies têm que estar contidos numa zona de tolerância cilíndrica com 0.05 mm de diâmetro, cujo eixo coincide com o eixo de uma superfície cilíndrica (Referência E).</p>   |
| 15    |   | <p>Todas estas superfícies são superfícies de revolução, o que indica que poderão ser obtidas a partir de um processo de torneamento ou de fresagem. Mas é de reparar que o raio de dimensões mais reduzidas que se encontra nestas superfícies é de 0.4mm. Isto significa que caso a maquinação destas superfícies seja feita com uma única ferramenta/pastilha, esta terá que ter um raio de ponta de 0.4mm</p> |
| 7     |  | <p>Este quadro de tolerância refere-se a uma tolerância de perpendicularidade que nos indica que a superfície plana a toleranciar terá que estar contida entre dois planos paralelos distanciados de 0.02 mm entre si, planos esses que são perpendiculares ao eixo a que refere a referência H.</p>  |

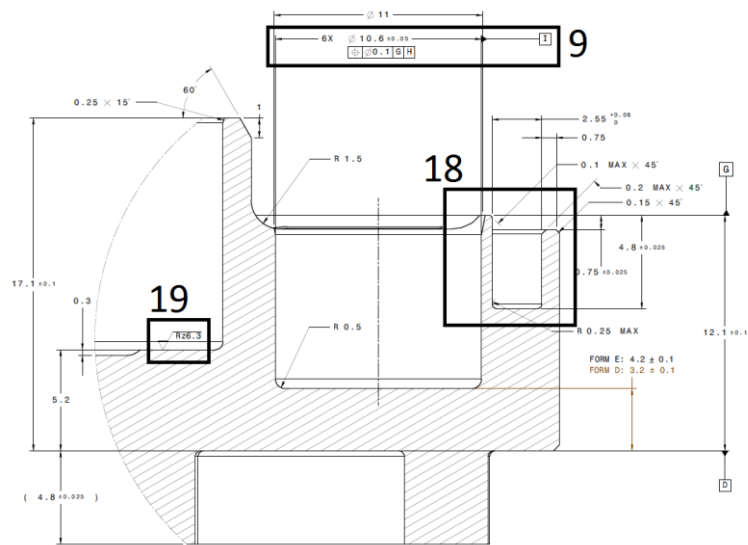


Figura 4.5 – Vista em detalhe do círculo C

Tabela 4.2 – Descrição das características/pormenores da Figura 4.5

| Pormenor | Descrição  |
|----------|--|
|          | <p>Estando indicada uma rugosidade específica nesta superfície, significa que haverá que ter algum cuidado na maquinação e haverá parâmetros que terão que ser ajustados para que seja cumprida esta rugosidade.</p>   |
|          | <p>A referência I refere-se ao eixo de uma das formas. O quadro de tolerância refere-se a uma tolerância de posição que nos indica que o eixo das formas D e F terá que estar contido numa zona de tolerância cilíndrica com 0.1 mm de diâmetro.</p>               |
|          | <p>O facto de esta parede possuir uma espessura muito fina revela que terá que haver alguma preocupação na maquinação da mesma para não se obterem fissuras na peça. A obtenção deste rasgo pode ser feita a partir de um processo de torneamento ou fresagem.</p> |

O quadro de tolerância da Figura 4.6 refere-se a uma tolerância de posição que indica que o eixo do furo terá que estar contido numa zona de tolerância cilíndrica com 0.5mm de diâmetro. A referência D refere-se a um plano, a referência E a um eixo de uma superfície cilíndrica e a referência F a um ponto. Isto significa que para a verificação da posição do eixo do furo será conveniente que a peça esteja apoiada em 3 pontos em D, centrada em E e a sua rotação ficará bloqueada quando a peça rodar até tocar no ponto F. Para a maquinação desse mesmo furo será de maior conveniência que o método de fixação da peça seja o mesmo que na sua verificação.

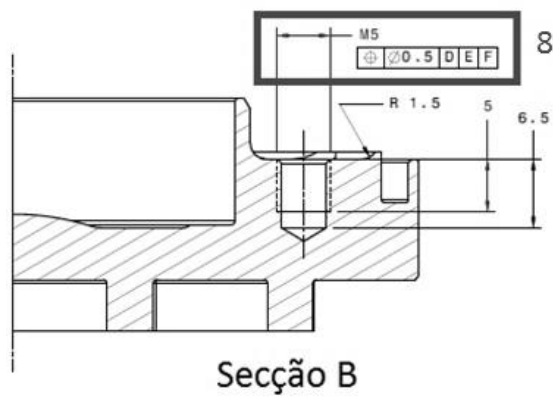


Figura 4.6 – Vista da Secção B

## 4.2 Fase de acabamento

Na Figura 4.7 é apresentada a vista da Secção A e as suas características estão descritas na Tabela 4.3.

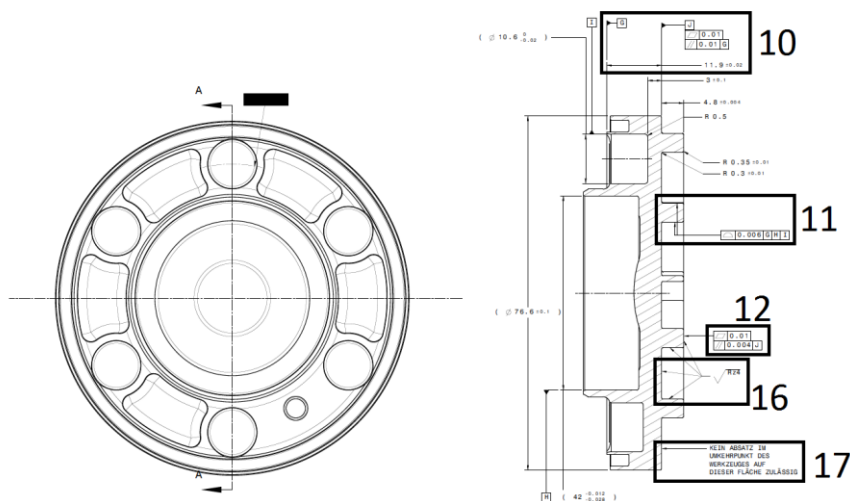
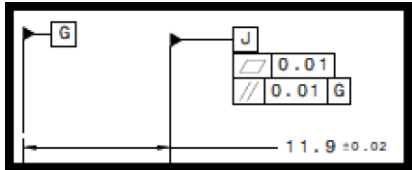

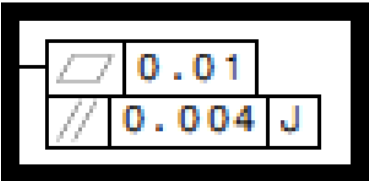
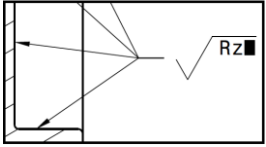
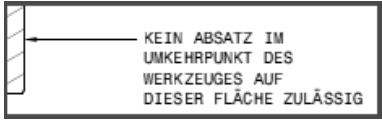


Figura 4.7 – Vista da secção A

Tabela 4.3 – Descrição das características/pormenores da Figura 4.7

| Nº | Pormenor  | Descrição   |
|----|---|---|
| 10 |    | <p>Nesta situação são apresentados dois tipos de tolerância: de planeza e de paralelismo. A tolerância de planeza indica que os pontos da superfície J têm de estar contidos entre dois planos paralelos distanciados de 0.01 mm. A tolerância de paralelismo indica que o plano médio que define a referência J terá que estar contido entre dois planos paralelos ao plano G distanciados de 0.01 mm, cujo plano médio desses dois planos paralelos se encontra a uma distância de <math>11.9 \pm 0.02</math> mm de G.</p>              |
| 11 |  | <p>O quadro de tolerância indica uma tolerância de perfil da superfície que define a parede da espiral. Neste caso a zona de tolerância é limitada por duas superfícies definidas pelo movimento de uma esfera de diâmetro 0.006 mm em que o seu centro percorre a superfície que tem a geometria correcta.</p>   |
| 12 |  | <p>Nesta situação voltam a estar representados dois tipos de tolerância: planeza e paralelismo. Quanto à tolerância de planeza, este quadro de tolerância indica que os pontos desta superfície terão que estar contidos entre dois planos paralelos distanciados de 0.01 mm. A tolerância de paralelismo indica que o plano médio dos pontos da superfície terá que estar contido entre dois planos paralelos a J, distanciados de 0.004 mm, cujo seu plano médio se encontra a uma distância de <math>4.8 \pm 0.004</math> mm de J.</p> |

|    |   |   |
|----|---|---|
| 16 |  | <p>Novamente, nesta situação em que é requerida uma rugosidade específica é necessário especial atenção aos parâmetros na maquinação desta superfície.</p>  |
| 17 |  | <p>Isto significa que durante a maquinação desta superfície a ferramenta não pode parar e portanto uma inversão do sentido da ferramenta tem que ser efectuada utilizando uma trajetória curvilínea e não rectilínea.</p> |

Na Figura 4.8 estão a ser toleranciadas os eixos das curvaturas da extremidade interior da espiral. Neste caso, o quadro de tolerância indica-nos duas tolerâncias de posição em que o eixo de cada um dos arcos de circunferência que constituem a extremidade da espiral terá de estar contidos num cilindro que possui 0.05 mm de diâmetro. A posição do eixo do cilindro que tolerância cada arco de circunferência é definida segundo cotas teoricamente exactas.

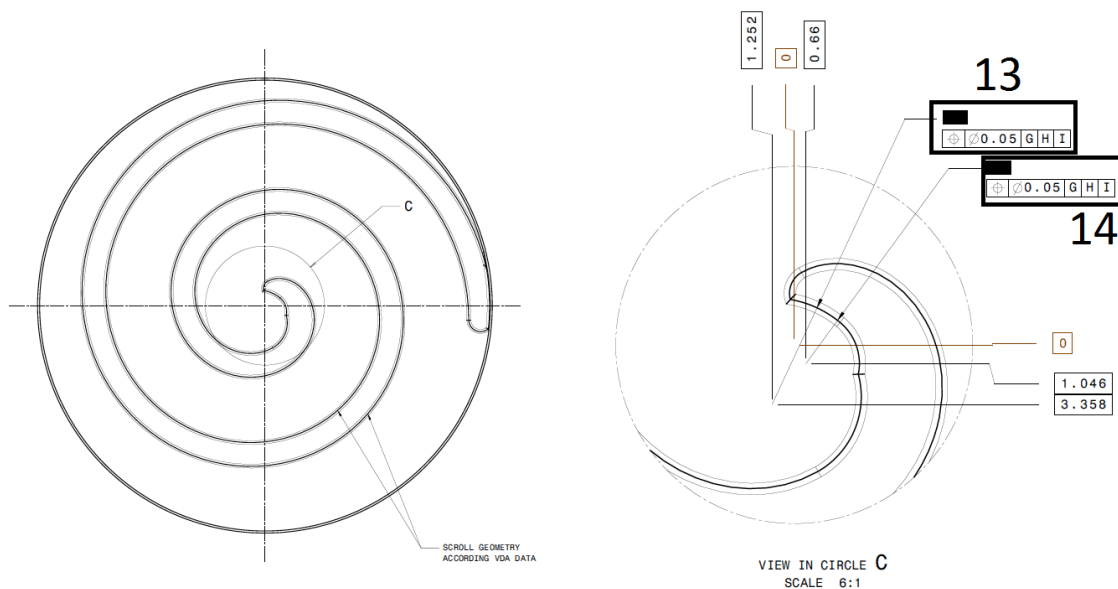


Figura 4.8 – Vista pormenorizada da extremidade da espiral



## 5 - SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES

A maquinação da peça será feita em duas etapas: uma etapa inicial de pré-maquinação e uma etapa final de acabamento que dará a configuração final à espiral da peça. Nesta primeira etapa de pré-maquinação será removida a grande maioria da sobre-espessura que provém da fundição. Nesta etapa ficarão já definidas por completo algumas superfícies funcionais e outras não funcionais que possuem tolerâncias não muito apertadas. A restante percentagem da sobre-espessura será retirada numa etapa final de acabamento, que possui tolerâncias mais apertadas, onde serão dadas as dimensões finais à peça.

Para auxiliar na escolha da sequência de operações ideal para a maquinação da peça recorre-se à *DSM*. A *DSM*, matriz de estrutura de projecto, também conhecida por Matriz de Estrutura Dependente é uma forma simples, compacta e de fácil representação de sistemas ou projectos sob a forma de uma matriz quadrada. Esta permite ao utilizador visualizar e analisar as dependências das várias entidades de cada sistema de forma a o melhorar e sintetizar.

Inicialmente procede-se à criação de uma tabela que contém todas as operações que criam ou que antecedem de referências. As operações presentes na Tabela 5.1 são apenas as operações que definem referências ou que antecedem de referências. As operações que não estão identificadas não são consideradas de importância inferior, a sua ausência só acontece devido a efeitos de simplificação na construção da matriz *DSM*, e também por não haver qualquer dependência, com o objectivo de se obter uma matriz com dimensões não muito elevadas e de mais fácil compreensão.

As operações que estão identificadas na Tabela 5.1 estão localizadas nos desenhos presentes na figuras Figura 5.1, Figura 5.2, Figura 5.3, Figura 5.4, Figura 5.5 e Figura 5.6.

Tabela 5.1 – Lista de operações principais

|                | O que define                 | Referência que define | Referências que antecedem |
|----------------|------------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Operação nº 1  | $\phi$ 76.6                  | E                     | ---                       |
| Operação nº 2  | $\phi$ 44.9                  | ---                   | E                         |
| Operação nº 3  | $\phi$ 42                    | H                     | E                         |
| Operação nº 4  | Topo das Formas              | G                     | D                         |
| Operação nº 5  | Base Espiral                 | D                     | ---                       |
| Operação nº 6  | Extremidade Espiral Exterior | F                     | ---                       |
| Operação nº 7  | Base Cúpula                  | ---                   | H                         |
| Operação nº 8  | Furo M5                      | ---                   | D, E, F                   |
| Operação nº 9  | Forma D                      | I                     | G, H                      |
| Operação nº 10 | Base Espiral                 | J                     | G                         |
| Operação nº 11 | Parede Espiral               | ---                   | G, H, I                   |
| Operação nº 12 | Topo Espiral                 | ---                   | J                         |
| Operação nº 13 | Raio na Extremidade Espiral  | ---                   | G, H, I                   |
| Operação nº 14 | Raio na Extremidade Espiral  | ---                   | G, H, I                   |

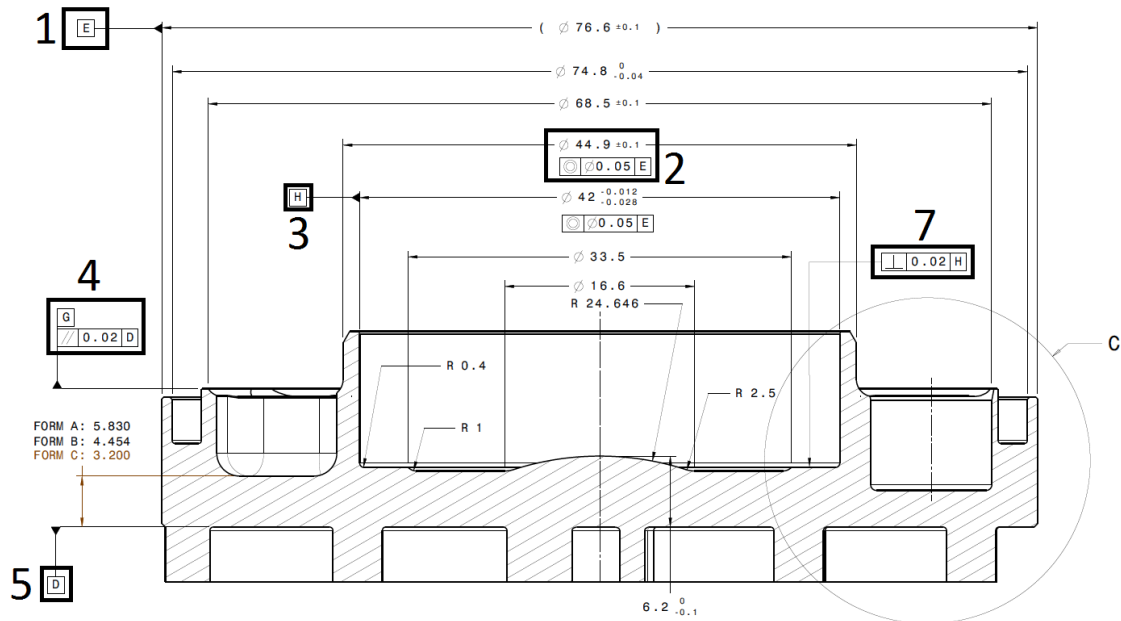


Figura 5.1 – Localização das operações 1, 2, 3, 4, 5 e 7

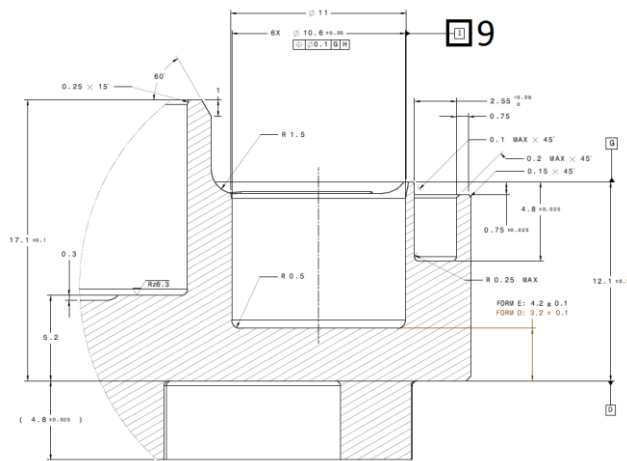


Figura 5.2 – Localização da operação 9

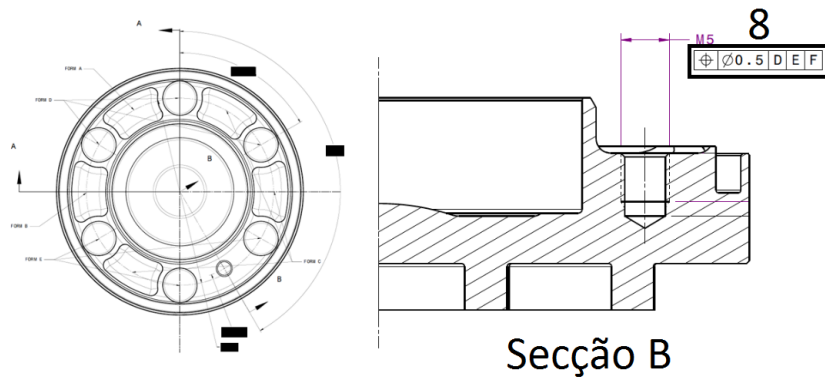


Figura 5.3 – Localização da operação 8

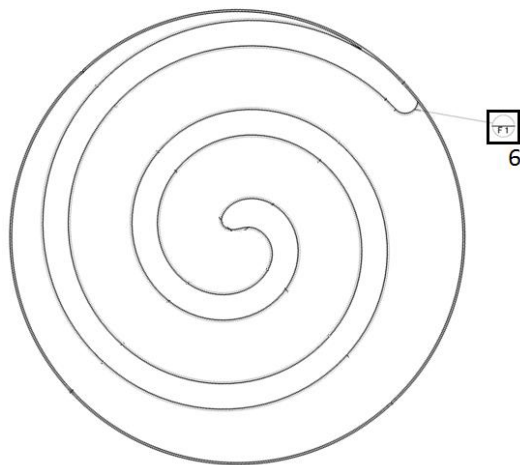


Figura 5.4 – Localização da operação 6

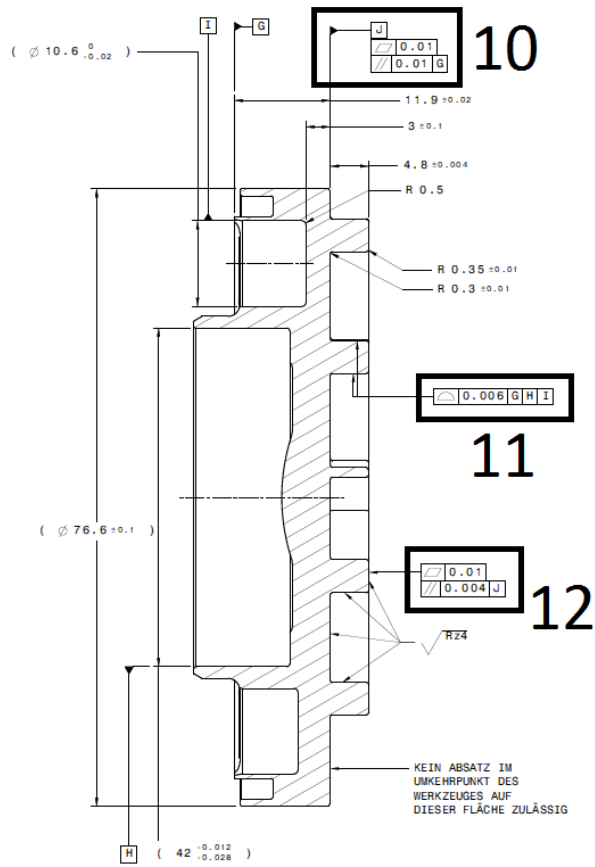


Figura 5.5 – Localização das operações 10, 11 e 12

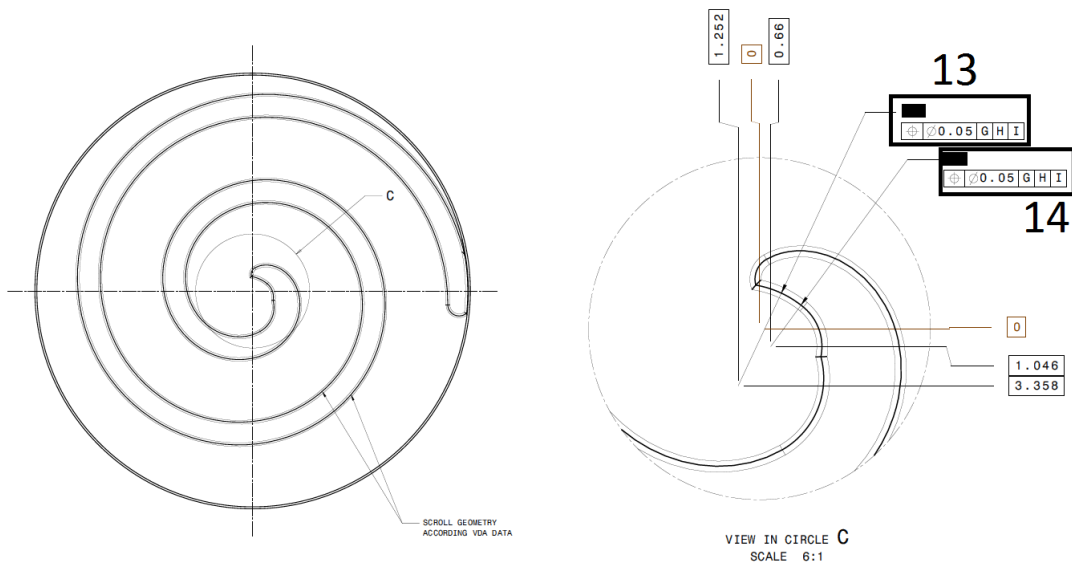


Figura 5.6 – Localização das operações 13 e 14

Para criar a *DSM* cria-se uma matriz quadrada cujo número de linhas é igual ao número de colunas que por sua vez é igual ao número de operações que se têm. De seguida, na linha de cada operação coloca-se uma cruz na coluna da operação que a antecede.

Depois de identificadas todas as operações e as respectivas antecedências, preenche-se a *DSM* que ficará como apresentada na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Matriz de Estrutura de Projecto inicial

| Operação | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|
| 1        | ■ |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |
| 2        | X | ■ |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |
| 3        | X |   | ■ |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |
| 4        |   |   |   | ■ | X |   |   |   |   |    |    |    |    |    |
| 5        |   |   |   |   | ■ |   |   |   |   |    |    |    |    |    |
| 6        |   |   |   |   |   | ■ |   |   |   |    |    |    |    |    |
| 7        |   |   | X |   |   |   | ■ |   |   |    |    |    |    |    |
| 8        | X |   |   |   | X | X |   | ■ |   |    |    |    |    |    |
| 9        |   |   | X | X |   |   |   |   | ■ |    |    |    |    |    |
| 10       |   |   |   | X |   |   |   |   |   | ■  |    |    |    |    |
| 11       |   |   | X | X |   |   |   |   | X |    | ■  |    |    |    |
| 12       |   |   |   |   |   |   |   |   |   | X  |    | ■  |    |    |
| 13       |   |   | X | X |   |   |   |   | X |    |    |    | ■  |    |
| 14       |   |   | X | X |   |   |   |   | X |    |    |    |    | ■  |

Para uma mais fácil compreensão da *DSM* elaborou-se o respectivo fluxograma (Figura 5.7). No fluxograma é de uma maior visibilidade as operações que têm precedência e torna-se mais fácil tomar uma decisão sobre a sua ordem de execução. Num primeiro patamar estão presentes as operações 5, 1 e 6 e serão essas as primeiras operações que se irão executar pois não antecedem de nenhuma operação. De seguida, as operações 2, 8, 3 e 4 já poderão ser feitas, não respectivamente por essa ordem.

Depois de executada a operação 3, a operação 7 já poderá ser realizada. E depois das operações 3 e 4 terem sido executadas, a operação 9 poderá então ser concluída finalizando assim a pré-maquinagem da peça.

A fase de acabamento pode iniciar-se pela operação 10 que, depois de finalizada, pode ser seguida pela operação 12. Por fim, as operações 11, 13 e 14 podem ser realizadas em simultâneo pois são as três relativas à configuração da espiral.

A ordem das operações a realizar na maquinação pode não coincidir na totalidade com a descrita anteriormente por haver aspectos da respectiva maquinação que, para efeitos práticos, levem à alteração dessa mesma ordem.

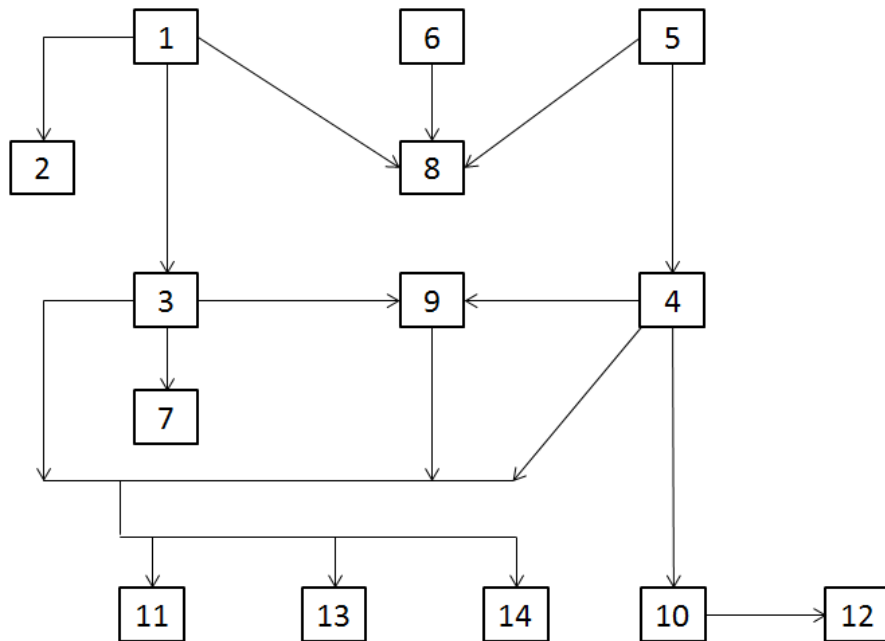


Figura 5.7 – Fluxograma da DSM

De modo a se obter uma sequência de operações sem que haja problemas com operações que tenham antecedência de outras a serem realizadas em primeiro lugar há que proceder a alterações de linhas e colunas. Para tal, efectua-se a troca de linhas e colunas até se obter uma matriz triangular inferior. Por cada linha que se troca, também terá que se efectuar essa mesma troca à coluna correspondente.

Após se terem efectuado as trocas de linhas e colunas necessárias, obtém-se a *DSM* final (Tabela 5.3) onde é apresentada a sequência ideal para se efectuar a maquinação da peça, sequência esta que requiere o número mínimo de apertos maximizando o numero de operações por aperto e consequentemente minimizando os desvios induzidos na peça.

Tabela 5.3 – Matriz de Estrutura de Projecto final

| Operação | 5 | 6 | 1 | 4 | 3 | 7 | 2 | 9 | 8 | 10 | 12 | 11 | 13 | 14 |
|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|
| 5        | ■ |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |
| 6        |   | ■ |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |
| 1        |   |   | ■ |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |
| 4        | X |   |   | ■ |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |
| 3        |   |   | X |   | ■ |   |   |   |   |    |    |    |    |    |
| 7        |   |   |   |   | X | ■ |   |   |   |    |    |    |    |    |
| 2        |   |   | X |   |   |   | ■ |   |   |    |    |    |    |    |
| 9        |   |   |   | X | X |   |   | ■ |   |    |    |    |    |    |
| 8        | X | X | X |   |   |   |   |   | ■ |    |    |    |    |    |
| 10       |   |   |   | X |   |   |   |   |   | ■  |    |    |    |    |
| 12       |   |   |   |   |   |   |   |   |   | X  | ■  |    |    |    |
| 11       |   |   |   | X | X |   |   | X |   |    |    | ■  |    |    |
| 13       |   |   |   | X | X |   |   | X |   |    |    |    | ■  |    |
| 14       |   |   |   | X | X |   |   | X |   |    |    |    |    | ■  |





## 6 - FASE DE PRÉ-MAQUINAÇÃO

Esta fase inicial da maquinação será feita em duas fases, sendo que cada uma das fases tem um aperto distinto.

Com o objectivo de se realizar a maquinação da peça com o número mínimo de apertos a máquina seleccionada para esta fase foi a *MAZAK Integrex i-200*. A numeração atribuída às operações neste capítulo, nada está relacionada com a numeração atribuída em capítulos anteriores, i.e., a 2ª Operação neste capítulo, nada tem a ver com a Operação 2 de capítulos anteriores. Todas as ferramentas seleccionadas para a fase de pré-maquinação foram escolhidas consultando os catálogos de Ferramentas para torneamento e ferramentas rotativas da *Sandvik* [7, 8].

### 6.1 1ª Fase

A primeira fase será a maquinação da parte frontal da peça. Esta fase dará origem a uma configuração inicial da espiral bem como definirá o diâmetro exterior da peça. Esta fase inicial torna-se crucial para a criação das referências D, E e F que serão referências importantes de encosto para se efectuar a maquinação do lado oposto.

Inicialmente a peça será agarrada pelo lado A e todas as operações a realizar nesta fase serão operações de fresagem. A distinção entre os lados A e B da peça está ilustrada na Figura 6.1.

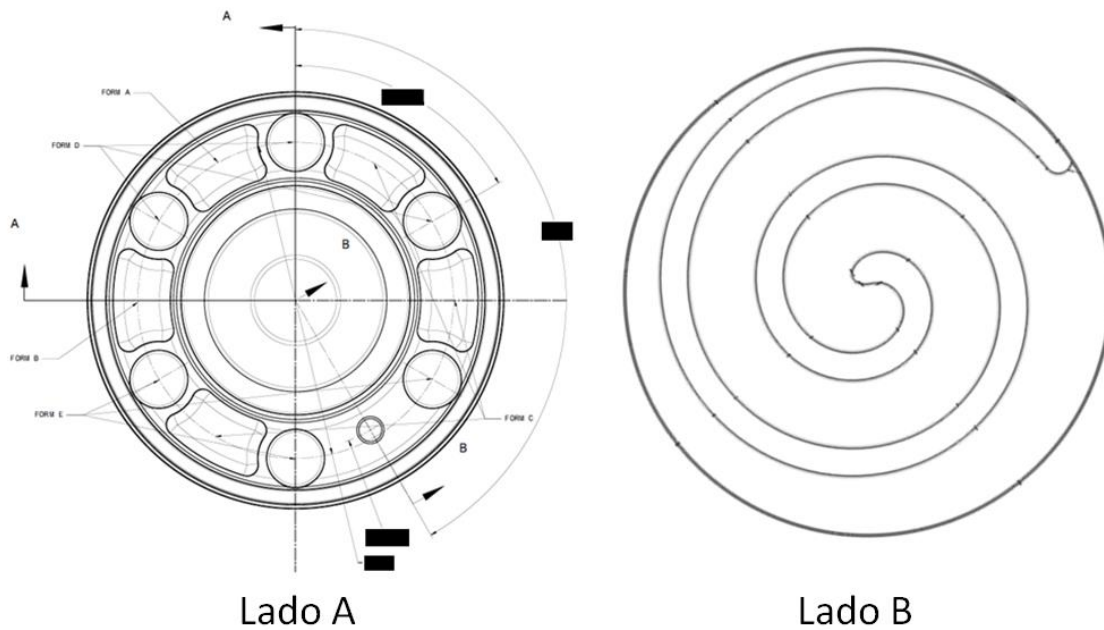


Figura 6.1 – Distinção entre ambos os lados da peça

### 6.1.1 1ª Operação

A primeira operação a realizar será a 5 (na *DSM*) que é referente à referência D. Ao maquinar a base da espiral maquina-se, ao mesmo tempo, as suas paredes e deste modo obtém-se a referência F (operação 6 na *DSM*) na mesma operação.

Para realizar esta operação o processo escolhido foi a fresagem, e para tal utilizar-se-á uma *End Mill*.

Um dos cuidados a ter na escolha da ferramenta para esta operação é que o diâmetro da mesma seja inferior à distância que separa as paredes da espiral, pois seria inconveniente estar a maquinar as duas paredes da espiral em simultâneo, além de que essa distância não é constante. Como não nos é indicada nos desenhos, estimou-se que essa distância esteja compreendida entre os 9 e 10 mm.

Como a peça provem de um processo de fundição, esta vem com uma sobre espessura, sobre espessura essa que varia consoante a zona da peça. Como a base da espiral possui cerca de 4 ou 5 mm, consultando a Tabela 6.1, verifica-se que esta possui 1 mm de sobre espessura. O mesmo sucede com as paredes da espiral, pois como esta possui cerca de 5mm de espessura então tem 1mm de sobre espessura, i.e., as paredes da espiral possuem mais 0.5mm de espessura em cada lado.

Tabela 6.1 – Valores da sobre espessura para fundição em areia (Adaptado de [9])

| Cota Base (mm) |      | Valor da sobre espessura (mm) |
|----------------|------|-------------------------------|
| Desde          | Até  | Fundição em areia             |
| -              | 10   | 1                             |
| 10             | 16   | 1.1                           |
| 16             | 25   | 1.2                           |
| 25             | 40   | 1.3                           |
| 40             | 63   | 1.4                           |
| 63             | 100  | 1.6                           |
| 100            | 160  | 1.8                           |
| 160            | 250  | 2                             |
| 250            | 400  | 2.2                           |
| 400            | 630  | 2.6                           |
| 630            | 1000 | 2.8                           |
| 1000           | 1600 | 3.2                           |

Para a maquinação desta operação optou-se então por uma *End Mill* de 4 gumes de corte com 8mm de diâmetro cujas características são apresentadas na Figura 6.2.

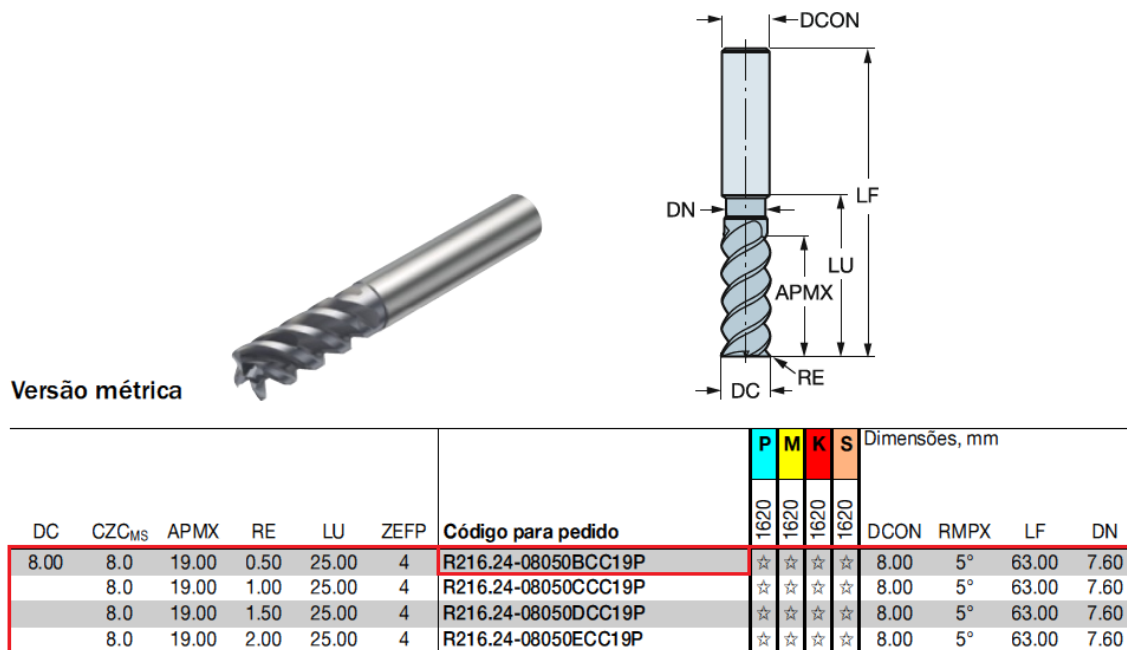
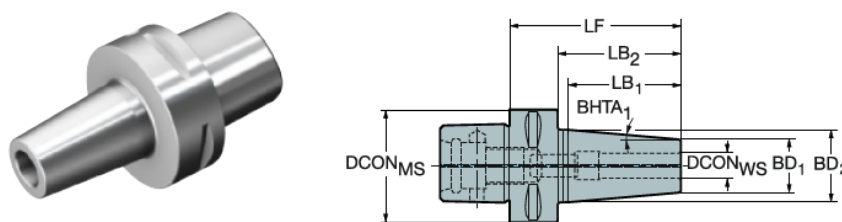


Figura 6.2 – Características da ferramenta utilizada na 1ª operação

O que diferencia todas as fresas de 8mm é o seu raio de ponta. Como essa característica não é referida nos desenhos para esta parte da peça, optou-se então pela fresa que possui o menor raio de ponta cujo código para pedido é **R216.24-08050BCC19P**.

Quanto à escolha do suporte, este terá que suportar uma ferramenta que tenha uma haste de 8 mm de diâmetro e que seja indicado para operações de fresagem. Para tal escolheu-se o suporte Coromant Capto para mandril com fixação térmica cujo código para pedido é **C4-391.19-08 075** e cujas características estão apresentadas na Figura 6.3.



#### Furo métrico

|                   |                   |      |      |      |                         | Dimensões, mm, pol. |                    |       |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|-------------------|-------------------|------|------|------|-------------------------|---------------------|--------------------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| CZC <sub>MS</sub> | CZC <sub>WS</sub> | CNSC | CXSC | DSGN | Código para pedido      | DCON <sub>MS</sub>  | DCON <sub>WS</sub> | LF    | LB <sub>1</sub> | LB <sub>2</sub> | LB <sub>3</sub> | BD <sub>1</sub> | BD <sub>2</sub> | BD <sub>3</sub> |
| 8                 | 1                 | 1    | 6    |      | <b>C4-391.19-08 075</b> | 40.0                | 8.0                | 75.0  | 44.1            | 55.0            | 75.0            | 20.0            | 27.0            | 40.0            |
|                   |                   |      |      |      |                         | 1.575               | .315               | 2.953 | 1.736           | 2.165           | 2.953           | .787            | 1.063           | 1.575           |

Figura 6.3 – Características do suporte escolhido para a ferramenta utilizada na 1ª Operação

Depois de definida a ferramenta e o suporte a utilizar, o próximo passo é ver quais os parâmetros de maquinação que melhor se adequam para se efectuar o processo.

Consultando o catálogo do fabricante e tendo em conta que a fresa irá cortar em toda a sua largura, para o material a cortar a velocidade de corte indicada é de **100m/min**. Para uma fresa de 8mm de diâmetro o avanço por dente recomendado é de **0.020mm/dente**.

Depois de realizada esta operação, ficam criadas as referências D e F.

#### 6.1.2 2ª Operação

Com esta operação desbastar-se-á toda a superfície lateral da peça de modo a se criar a referência E.

Para esta operação usar-se-á uma ferramenta semelhante à da operação anterior. A diferença estará no seu diâmetro, que será superior de modo a se obter uma velocidade de avanço maior.

Nesta operação desbastar-se-á uma altura de cerca de 12.1 mm. Como a peça tem um diâmetro de 76 mm, esta possui uma sobre espessura lateral de 1.6mm, o que faz com que a fresa desbaste uma largura de 0.8mm.

Para a realização desta operação optou-se então por uma fresa com 16mm de diâmetro cujas características são apresentadas na Figura 6.4. Como o raio de ponta é a única característica que varia em todas as ferramentas de 16mm, e como essa característica não é relevante para esta operação optou-se então pela ferramenta com o menor raio de ponta cujo código para pedido é **R216.24-16050BCC32P**.

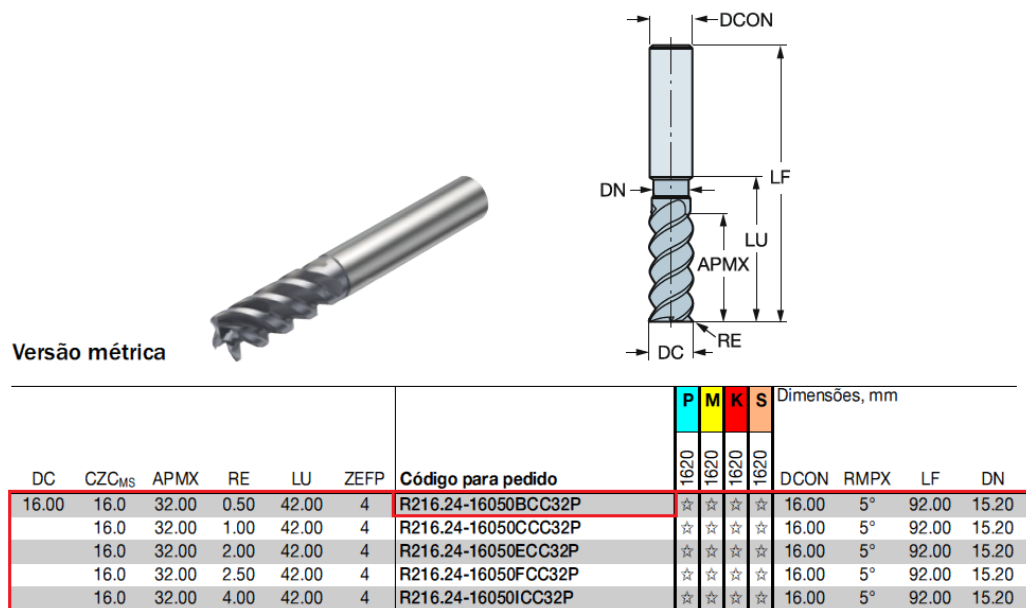
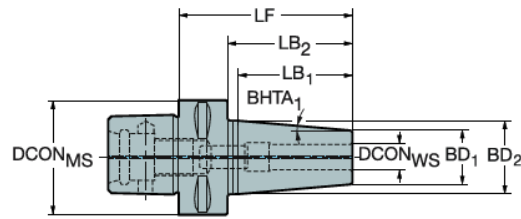


Figura 6.4 – Características da ferramenta utilizada na 2ª operação

O suporte para a ferramenta a utilizar nesta operação será semelhante ao escolhido para a operação anterior havendo apenas a alteração do diâmetro que suportará a haste da ferramenta. Para tal, optou-se por escolher o suporte cujo código para pedido é **C4-391.19-16 075** (Figura 6.5).



### Furo métrico

|                   |                   |      |      |      | Dimensões, mm, pol. |                    |                    |       |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|-------------------|-------------------|------|------|------|---------------------|--------------------|--------------------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| CZC <sub>MS</sub> | CZC <sub>WS</sub> | CNSC | CXSC | DSGN | Código para pedido  | DCON <sub>MS</sub> | DCON <sub>WS</sub> | LF    | LB <sub>1</sub> | LB <sub>2</sub> | LB <sub>3</sub> | BD <sub>1</sub> | BD <sub>2</sub> | BD <sub>3</sub> |
| 16                | 1                 | 1    | 1    | 6    | C4-391.19-16 080    | 40.0               | 16.0               | 80.0  | 44.1            | 60.0            | 80.0            | 27.0            | 34.0            | 40.0            |
|                   |                   |      |      |      |                     | 1.575              | .630               | 3.150 | 1.736           | 2.362           | 3.150           | 1.063           | 1.339           | 1.575           |

Figura 6.5 - Características do suporte escolhido para a ferramenta utilizada na 2ª Operação

Quanto aos parâmetros de corte, para a operação a realizar é-nos recomendado pelo fabricante que se opere com uma velocidade de corte de **130m/min**.

Para uma fresa com um diâmetro de 16mm, o avanço por dente recomendado é de **0.09mm/dente**.

Concluída esta operação, fica assim criada a referência E.

#### 6.1.3 3ª Operação

Esta operação consiste em maquinar o topo da espiral. As condições desta operação são bastante semelhantes às da operação anterior na medida em que os parâmetros de corte desta operação não se irão alterar. Como tal, para se evitar perdas de tempo em trocas de ferramenta, utilizar-se-á a mesma ferramenta e o mesmo suporte que na operação anterior.

### 6.2 2ª Fase

Esta segunda fase de pré-maquinação consiste na maquinação do Lado A da peça (Figura 6.1), para tal a peça terá que ser fixada pelo Lado B.

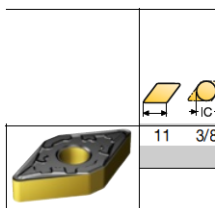
Nesta fase realizar-se-ão todas as operações que irão dar forma a todos os detalhes do lado A da peça, ficando apenas a faltar a fase de acabamento. Esta fase torna-se crucial para a realização das referências G, H e I.

### 6.2.1 4ª Operação

Para a realização desta operação utilizar-se-á um processo de torneamento. O sistema a utilizar para esta operação será o T-Max P por ser um sistema otimizado para torneamento externo com pastilhas negativas com formato básico mas que também pode ser aplicado em operações de perfilamento e facejamento.

O formato de pastilha escolhido para esta operação foi Rombico de 55° por permitir profundidades de corte deste 0 até 5 mm. A sobre espessura para esta peça é no máximo de 1.6mm logo as operações realizadas com este formato de pastilha poderão ser feitas com apenas uma passagem.

A pastilha então escolhida para a realização desta operação é a apresentada na Figura 6.6 por ser uma pastilha indicada para a maquinação de ferro fundido. Outra razão para a escolha desta pastilha recai sobre o facto da mesma ser indicada para operações de acabamento.



|    |     | P                |      |      |      |      |      |      |      |      |      | M    |      |      |     |      | K    |      |      | S    |      |      |             |      |      |      |      |      |             |
|----|-----|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|------|------|------|-------------|
|    |     | 1515             | 1525 | 4205 | 4235 | 4315 | 4325 | 5015 | GC30 | 1115 | 1125 | 2015 | 2025 | 2035 | 235 | GC15 | 3005 | 3205 | 3210 | 3215 | GC30 | HT3A | 1105        | 1115 | 1125 | GC15 | HT3A | S05F | CÓDIGO ANSI |
| 11 | 3/8 | DNMG 11 04 04-KF |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      | DNMG 331-KF |      |      |      |      |      |             |
|    |     | DNMG 11 04 08-KF |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      | DNMG 332-KF |      |      |      |      |      |             |

Figura 6.6 – Características da ferramenta utilizada na 4ª operação

A pastilha então escolhida para esta operação de facejamento possui o código ISO **DNMG 11 04 08-KF**.

Esta operação consiste basicamente em 3 facejamentos. Uma esquematização do caminho descrito pela ferramenta pode ser visualizada na Figura 6.7 (caminho indicado a vermelho).

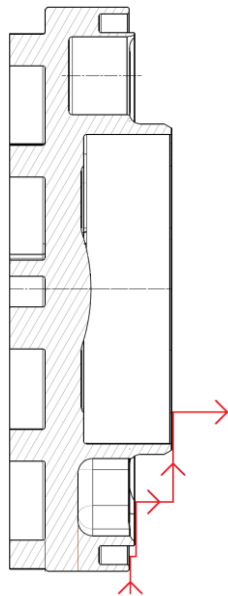
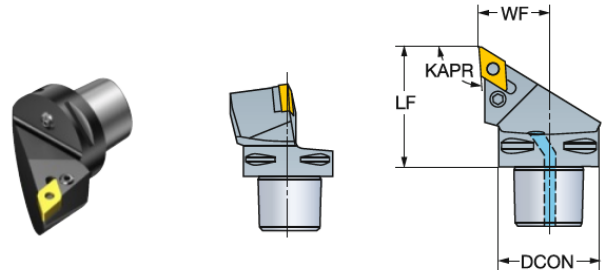


Figura 6.7 – Exemplificação do caminho descrito pela ferramenta na 4ª Operação

Quanto à fixação da pastilha de corte, o recomendado pelo fabricante é o Coro-mant Capto. Este é um tipo de acoplamento com refrigeração interna e cuja fixação da pastilha é por alavanca. As características do acoplamento para a ferramenta utilizada nesta operação podem ser vistas na Figura 6.8.

Das várias configurações apresentadas, a escolhida para esta operação foi a fixação cujo código para pedido é **C4-PDJNR/L-27050-11** por apresentar um meio-termo entre uma configuração compacta, mas robusta o suficiente.





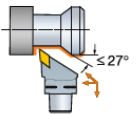
|  |  | CZC <sub>MS</sub> | OHX  | CN5C | Código para pedido  | Dimensões, mm, pol.        |       |       |       |              |     |       |       |
|---|---|-------------------|------|------|---------------------|----------------------------|-------|-------|-------|--------------|-----|-------|-------|
|   |   |                   |      |      |                     | DCON                       | LF    | WF    | HF    | CP<br>BarPSI | Nm  | Kg    |       |
|  | 11  | 3/8               | C3   | 45.0 | 1                   | C3-PDJNR/L-22045-11        | 32    | 45.0  | 22.0  | 0.0          | 10  | 1.2   | 0.13  |
|   |   |                   |      |      |                     |                            | 1.260 | 1.772 | .866  | .000         | 145 |       | .277  |
|   |   |                   | C4   | 50.0 | 1                   | <b>C4-PDJNR/L-27050-11</b> | 40    | 50.0  | 27.0  | 0.0          | 10  | 1.2   | 0.49  |
|   |   |                   |      |      |                     |                            | 1.575 | 1.969 | 1.063 | .000         | 145 |       | 1.078 |
|   |   |                   | C5   | 60.0 | 1                   | C5-PDJNR/L-35060-11        | 50    | 60.0  | 35.0  | 0.0          | 10  | 1.2   | 0.55  |
|   |   |                   |      |      |                     |                            | 1.969 | 2.362 | 1.378 | .000         | 145 |       | 1.210 |
|   |   | C6                | 65.0 | 1    | C6-PDJNR/L-45065-11 | 63                         | 65.0  | 45.0  | 0.0   | 10           | 1.2 | 1.10  |       |
|   |   |                   |      |      |                     | 2.480                      | 2.559 | 1.772 | .000  | 145          |     | 2.420 |       |

Figura 6.8 - Características do acoplamento da ferramenta para a 4ª Operação



Para o material escolhido para a ferramenta, o avanço por rotação ( $f_n$ ) e velocidade de corte ( $V_c$ ) correspondentes são os apresentados na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 – Parâmetros de corte recomendados para o Ferro Fundido

| Parâmetro     | Mínimo | Recomendado | Máximo |
|---------------|--------|-------------|--------|
| $f_n$ (mm/r)  | 0.2    | 0.4         | 0.6    |
| $V_c$ (m/min) | 240    | 200         | 170    |

Quanto à pastilha escolhida, os valores recomendados da profundidade de corte ( $a_p$ ) e avanço por rotação ( $f_n$ ) correspondentes são apresentados na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 – Parâmetros de corte recomendados para a ferramenta utilizada na 4ª Operação

| Parâmetro    | Mínimo | Recomendado | Máximo |
|--------------|--------|-------------|--------|
| $a_p$ (mm)   | 0.15   | 0.50        | 2.00   |
| $f_n$ (mm/r) | 0.10   | 0.20        | 0.30   |

Atendendo aos valores recomendados para o avanço, e atendendo também à relação entre a velocidade de corte e o avanço, conclui-se que para esta operação são recomendados os valores da velocidade de corte apresentados na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 – Valores da velocidade de corte recomendados para a 4ª Operação

| Parâmetro     | Mínimo | Recomendado | Máximo |
|---------------|--------|-------------|--------|
| $V_c$ (m/min) | 265    | 240         | 220    |

Concluída esta operação fica assim criada a referência G

### 6.2.2 5ª Operação

Com esta operação ir-se-á maquinar a peça de modo a obter a superfície indicada a vermelho na Figura 6.9

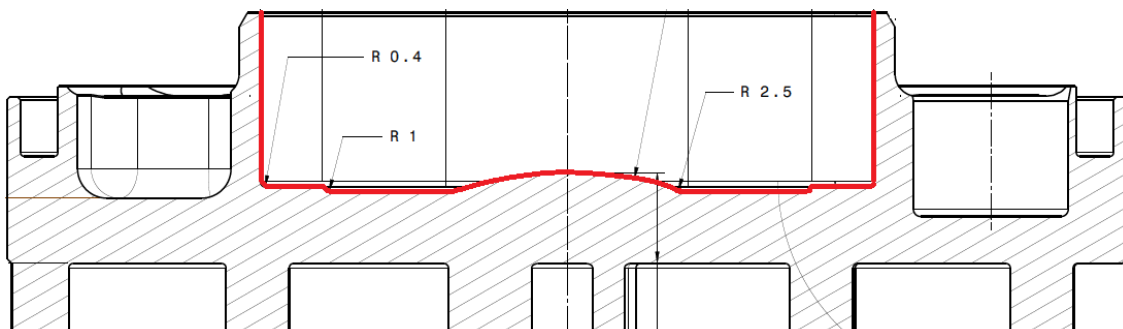


Figura 6.9 – Superfície a maquinar na 5ª operação

Para se obter esta superfície o processo escolhido foi o torneamento interno.

Como a maquinação será feita com uma única ferramenta, esta terá que possuir um raio de ponta de 0.4mm, pois o raio de menores dimensões apresentado na Figura 6.9 é de 0.4mm.

O sistema escolhido para efectuar esta operação foi o CoroTurn 107 que é um sistema recomendado para torneamento interno e externo de pastilhas positivas com formato básico que combina baixas forças de corte e boa resistência de aresta.

O formato de pastilha escolhido para esta operação foi o mesmo da operação anterior (Rombica de 55º) pelas mesmas razões.

Consultando o catálogo do fabricante, a pastilha escolhida para se efectuar a maquinação foi a apresentada na Figura 6.10. Entre os tamanhos de pastilha 07 e 11, optou-se pela de dimensões menores, pois isso permite ter acoplamentos de dimensões menores, o que se torna conveniente num torneamento interno.

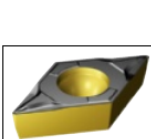
|   |    | P    |                  |      |      |      |      |      |      |      |      | M    |      |      |     |      | K    |      |      |      | N    |      | S    |      |     |      |      |      |      |      |      |      |                 |
|---|----|------|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----------------|
|   |    | 1515 | 1525             | 4205 | 4235 | 4315 | 4325 | 5015 | GC30 | 1115 | 1125 | 2015 | 2025 | 2035 | 235 | GC15 | 3005 | 3205 | 3210 | 3215 | GC30 | GC30 | HT3A | 1125 | HT0 | HT3A | 1105 | 1115 | 1125 | GC15 | HT3A | S05F | CÓDIGO ANSI     |
|  | 07 | 1/4  | DCMT 07 02 04-KM |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     | ☆    |      |      |      | ☆    |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      | DCMT 2(1.5)1-KM |
|   |    |      | DCMT 07 02 08-KM |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      | ☆    |      |      |      | ☆    |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      | DCMT 2(1.5)2-KM |
|   | 11 | 3/8  | DCMT 11 T3 04-KM |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      | ☆    |      |      |      | ☆    |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      | DCMT 3(2.5)1-KM |
|   |    |      | DCMT 11 T3 08-KM |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      | ☆    |      |      |      | ☆    |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |                 |

Figura 6.10 – Características da ferramenta utilizada na 5ª Operação

A pastilha então escolhida para esta operação de torneamento interno possui o código ISO **DCMT 07 02 04-KM** pois esta possui um raio de ponta de 0.4mm. Esta pastilha está incluída no capítulo de pastilhas utilizadas para maquinação média, o que não invalida o facto de poder ser utilizada numa operação de acabamento sendo que o contrário é que não seria possível.

Uma esquematização do trajeto percorrido pela ferramenta nesta operação pode ser visualizada na Figura 6.11. É de notar que no percurso da ferramenta, a saída da mesma terá que ser tangente à cúpula no seu ponto mais alto.

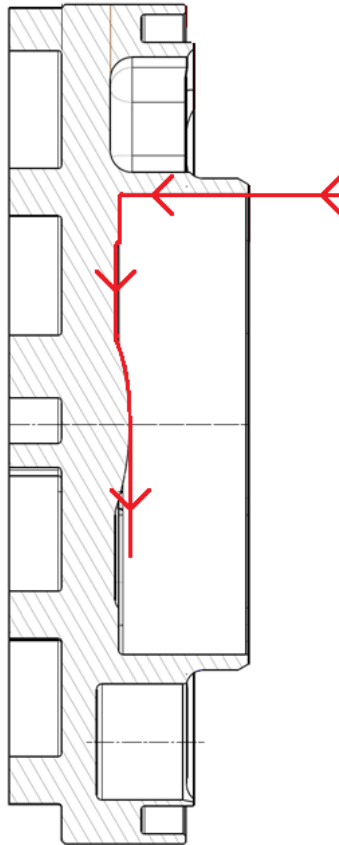


Figura 6.11 - Exemplificação do caminho descrito pela ferramenta na 5ª Operação

A fixação para a pastilha recomendada pelo fabricante é a Barra de Mandrilar CoroTurn 107. Esta fixação possui refrigeração interna e a fixação da pastilha é feita por parafuso. As características da fixação da pastilha podem ser visualizadas na Figura 6.12. Das configurações apresentadas, a escolhida foi a fixação cujo código para pedido é **A12M-SDQCR/L07** por ser o tamanho da fixação intermédio para o tamanho de pastilha escolhido.

Quanto aos parâmetros da pastilha escolhida, os valores recomendados para a profundidade de corte ( $a_p$ ) e avanço por rotação ( $f_n$ ) correspondentes são apresentados na Tabela 6.5.

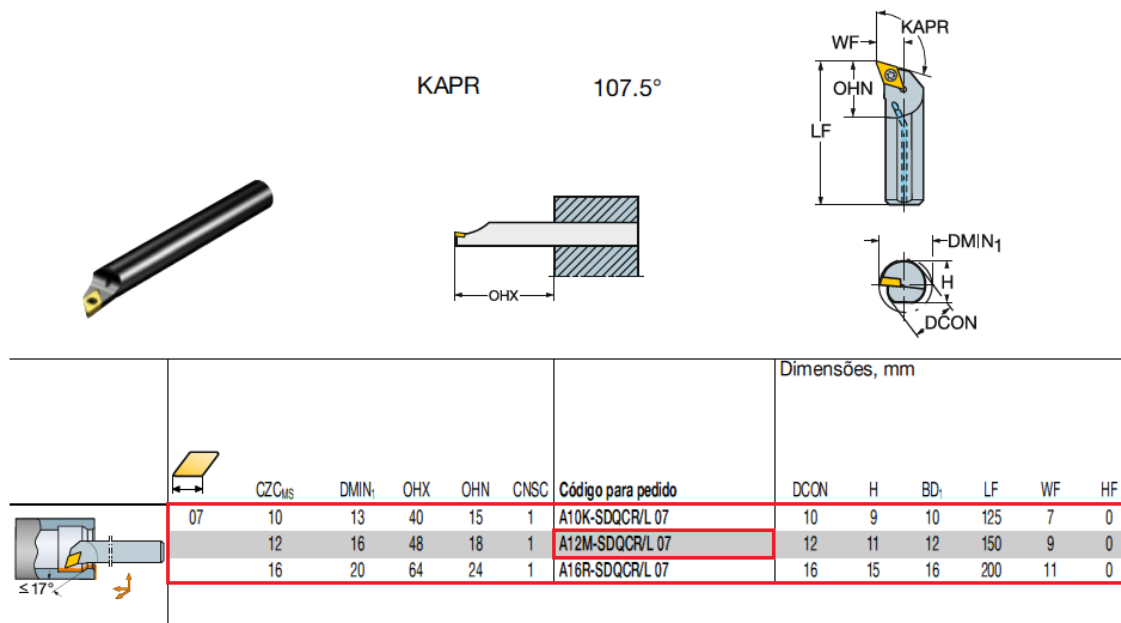


Figura 6.12 - Características do acoplamento da ferramenta para a 5ª Operação

Tabela 6.5 – Parâmetros de corte recomendados para a ferramenta utilizada na 5ª Operação

| Parâmetro    | Mínimo | Recomendado | Máximo |
|--------------|--------|-------------|--------|
| $a_p$ (mm)   | 0.19   | 0.6         | 2.25   |
| $f_n$ (mm/r) | 0.06   | 0.11        | 0.17   |

Os parâmetros de corte recomendados associados ao material da pastilha escolhida são os mesmos indicados na operação anterior (Tabela 6.2). Para tal, efectua-se a relação entre a velocidade de corte e o avanço recomendado para a pastilha escolhida, cujos valores são apresentados na Tabela 6.6.

Tabela 6.6 - Valores da velocidade de corte recomendados para a 5ª Operação

| Parâmetro     | Mínimo | Recomendado | Máximo |
|---------------|--------|-------------|--------|
| $V_c$ (m/min) |        | 265         | 240    |

Depois de concluída a 4ª operação, fica assim criada a referência H.

Para a superfície ilustrada na Figura 6.13 é requerida uma rugosidade superficial específica. Isto indica-nos que há que ter algum cuidado na escolha dos parâmetros de corte de modo a cumprir este requisito. Como o foco da presente dissertação não é a escolha dos parâmetros ideais de maquinação para este projecto, esse tema não irá ser abordado.

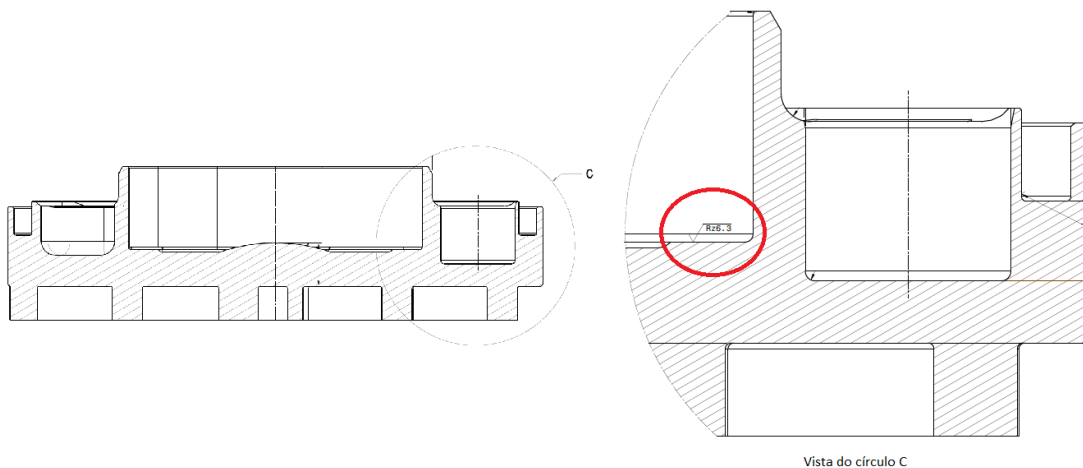


Figura 6.13 – Indicação da rugosidade superficial requerida

### 6.2.3 6ª Operação

Esta operação visa a obtenção do rasgo representado na Figura 6.14. Devido ao aspecto um quão único deste rasgo o mais apropriado é uma ferramenta feita à medida.

Este rasgo pode ser obtido através de um processo de fresagem ou através de um processo de torneamento. A fresagem torna-se mais desvantajosa pois para tal era necessário ter uma ferramenta com 2.55mm de diâmetro, a qual teria um diâmetro muito reduzido. Optou-se então pelo torneamento cujas características da pastilha de corte são ilustradas na Figura 6.15.

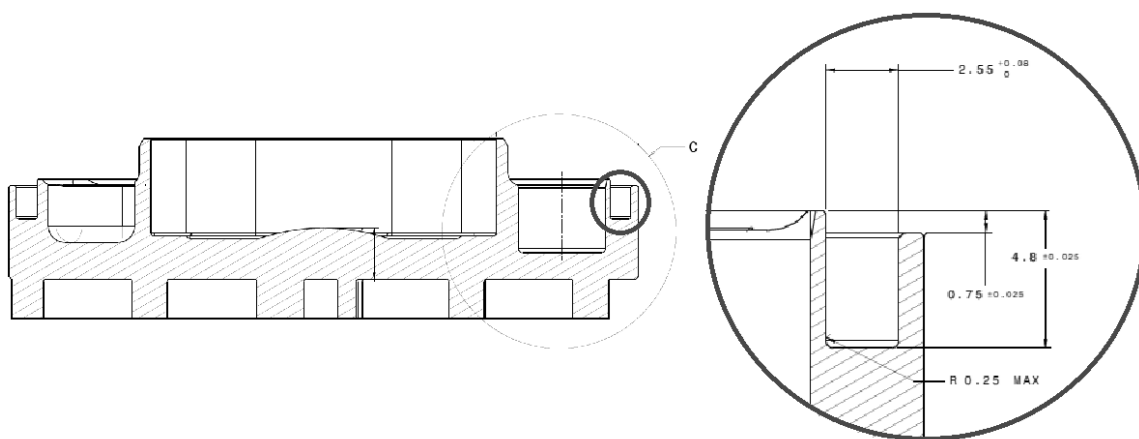


Figura 6.14 – Rasgo a obter na 6ª Operação

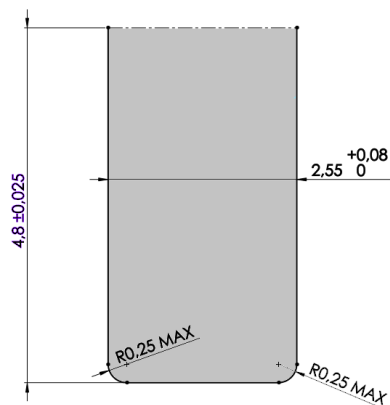


Figura 6.15 – Características da ferramenta a utilizar na 6ª Operação

Na Figura 6.15 apenas está representada a parte da partilha que efectuará o corte, estando omissa a parte da mesma que está ligada ao acoplamento.

#### 6.2.4 7ª Operação

Nesta operação obter-se-á a superfície apresentada a vermelho na Figura 6.16. Esta operação poderia ser realizada utilizando um processo de torneamento, pois a superfície revoluciona em torno do eixo central da peça, ou um processo de fresagem. O processo de torneamento torna-se desvantajoso para esta operação pois para se efectuar a maquinação da parte mais interior da superfície seria necessário um tipo de suporte para a pastilha, que seria distinto do suporte necessário para maquinar a parte mais exterior da superfície. Para esta operação optou-se então por um processo de fresagem.

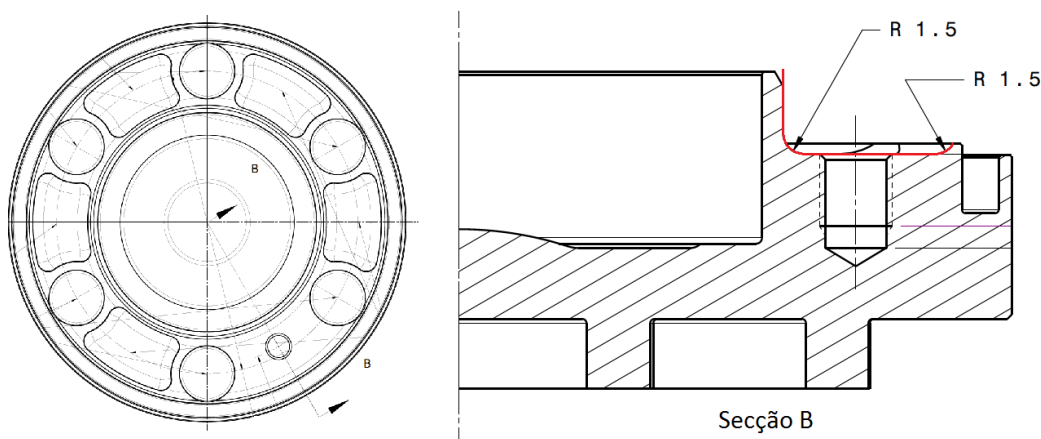


Figura 6.16 – Superfície a maquinar na 7ª Operação.

As únicas dimensões que são conhecidas acerca desta superfície são os raios, que são de 1.5mm. Como a largura da superfície é desconhecida, fica inválida a hipótese de se poder efectuar esta operação com uma ferramenta que realize uma só passagem.

Feita uma proporcionalidade relativamente a outras dimensões apresentadas nos desenhos, a superfície possui cerca de 9+2x1.5 mm de largura. Para esta operação utilizar-se-á uma fresa de 8mm de diâmetro e que possui um raio de ponta de 1.5mm (Figura 6.17).

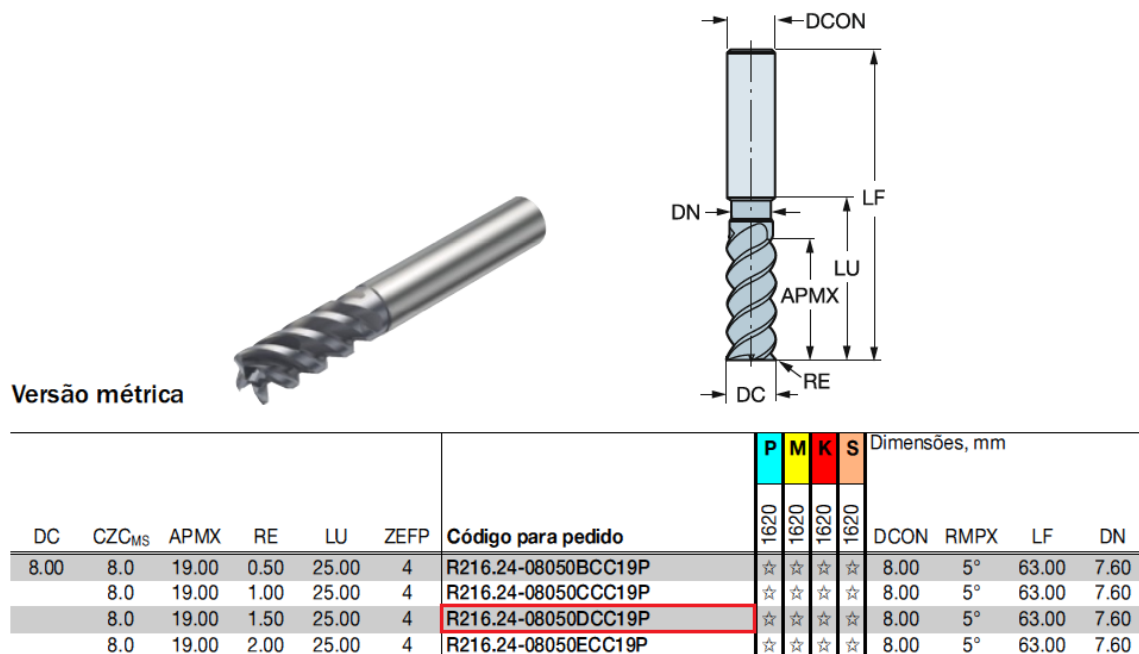


Figura 6.17 – Características da ferramenta utilizada na 7ª operação

Para efectuar esta operação, optou-se pela ferramenta cujo código para pedido é **R216.24-08050DCC19P**.

O suporte escolhido para a ferramenta que irá efectuar esta operação é idêntico ao escolhido na 1ª operação pois ambas as operações são semelhantes e a ferramenta possui um diâmetro de haste idêntico. O código para pedido do mesmo é **C4-391.19-08 075**.

Como a ferramenta possui um diâmetro inferior à largura da superfície a maquinar, esta terá que efectuar duas passagens como ilustrado na Figura 6.18.

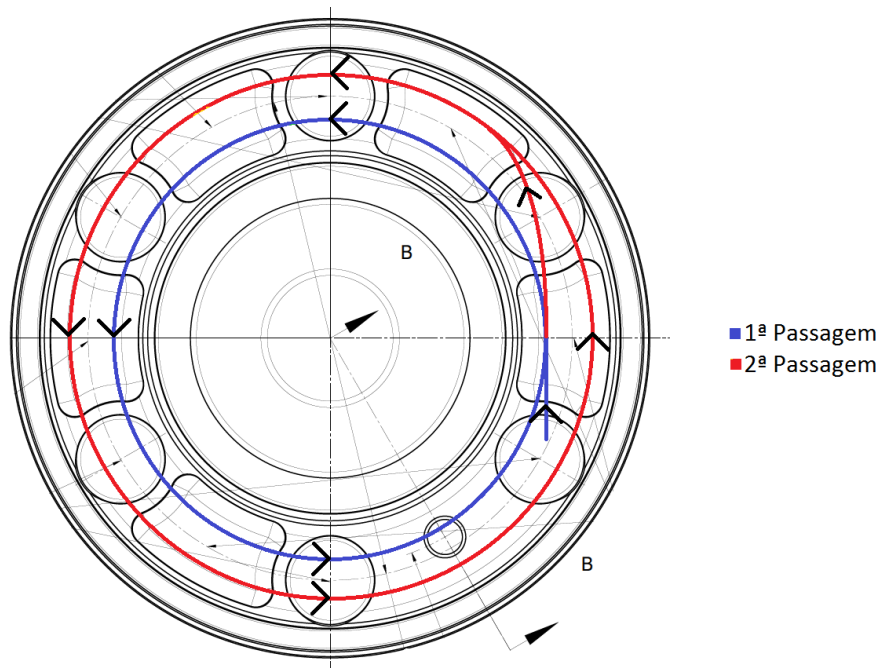


Figura 6.18 – Exemplificação do caminho descrito pela ferramenta na 7ª Operação.

A diferença entre as duas passagens reflecte-se essencialmente na quantidade de material a remover. Assim os parâmetros de corte devem ser seleccionados para a situação menos favorável, neste caso a primeira passagem. Os valores recomendados pelo fabricante para a velocidade de corte e avanço por dente são apresentados na Tabela 6.7

Tabela 6.7 – Valores da velocidade de corte e avanço recomendados para a 7ª operação

|            | Velocidade de corte (m/min) | Avanço (mm/dente) |
|------------|-----------------------------|-------------------|
| Parâmetros | <b>100</b>                  | <b>0.020</b>      |

### 6.2.5 8ª Operação

Esta operação consiste em maquinar a peça de modo a se obterem as formas D e E. Para a realização das formas D e E (Figura 6.19) o processo escolhido foi a fresagem. Na escolha da ferramenta um dos cuidados a ter é o facto de esta ter que possuir um raio de ponta de 0.5 mm e de permitir profundidades de corte superiores a 9.1 mm ( $=12.2-3.1$ ). A dimensão das paredes da peça na zona à volta das formas não ultrapassa os 10 mm logo terá uma sobre espessura de 1mm (Tabela 6.1), pode-se considerar que cada forma virá da fundição com um diâmetro interno de 9.6 mm.



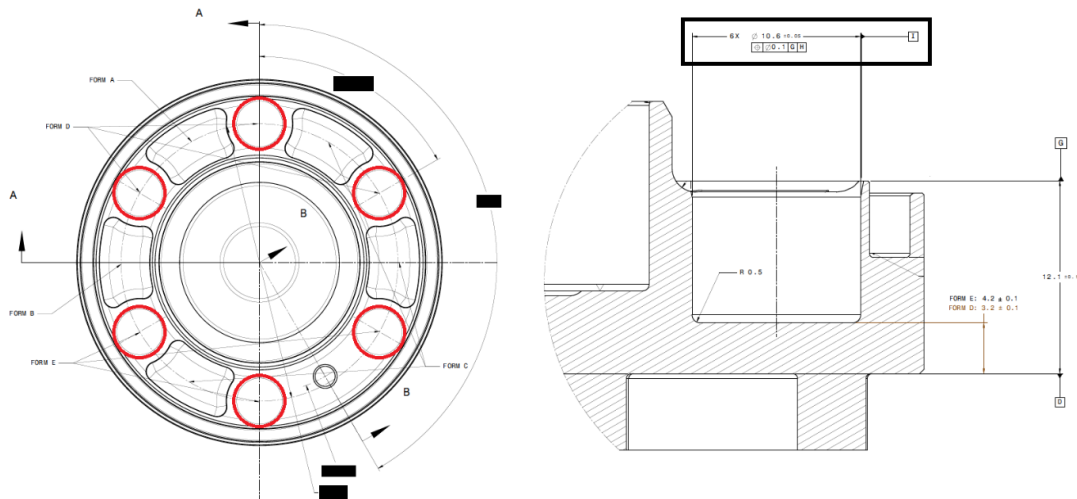


Figura 6.19 – Identificação e caracterização das formas D e E

A ferramenta escolhida para esta operação foi a mesma da escolhida para a 1ª Operação (Figura 6.2). Esta possui um diâmetro de 8mm e um raio de ponta de 0.5mm. Permite também fresar superfícies até uma profundidade de 19mm, o que é suficiente para os 9.1mm de profundidade máxima que se obtêm nas formas. O código para pedido da ferramenta a utilizar na 8ª Operação é **R216.24-08050BCC19P** e os valores recomendados para a velocidade de corte e avanço por dente são, respectivamente, **100m/min** e **0.020mm/dente**. Como a ferramenta escolhida é idêntica à escolhida na 1ª operação, então o suporte da mesma também será idêntico.

Concluída esta operação fica assim definida a referência I.

### 6.2.6 9ª Operação

Esta operação vista a obtenção das formas A, B e C (a sombreado na Figura 6.20). Destas formas não é conhecida a sua configuração (contorno) nem o raio que a sua base faz com as suas paredes (Figura 6.21). Para a sua maquinação, a característica mais relevante para a escolha da ferramenta é o seu raio de ponta, que terá que ser idêntico ao raio que as paredes das formas fazem com a sua base. Esta medida é-nos desconhecida, mas efectuando uma proporcionalidade da mesma com outras medidas conhecidas nos desenhos, estima-se que esta seja cerca de 2mm. Isto significa que a ferramenta seleccionada para efectuar esta operação terá que possuir um raio de ponta de 2mm.

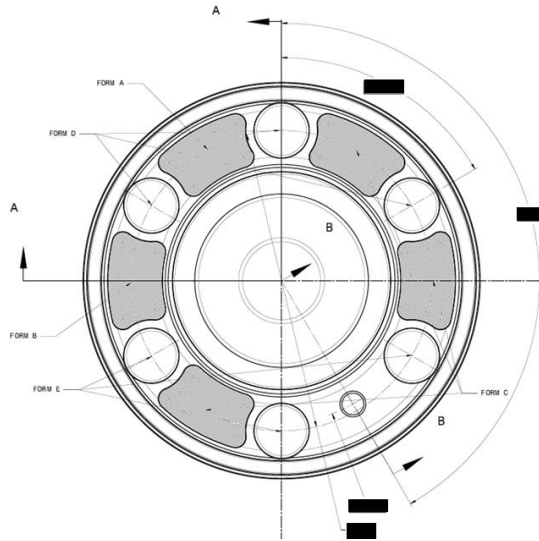


Figura 6.20 – Identificação das formas A, B e C (a sombreado)

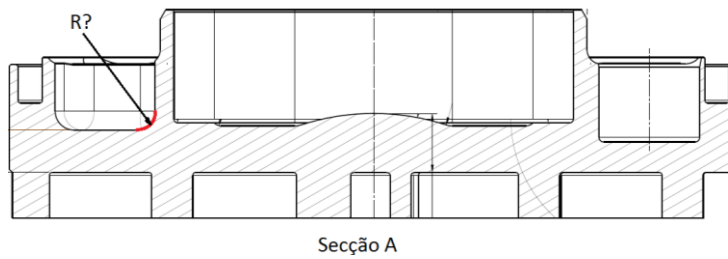


Figura 6.21 – Identificação do raio desconhecido nas formas A, B e C.

Para esta operação escolher-se-á uma ferramenta semelhante à escolhida para a 8ª Operação, alterando apenas o seu raio de ponta que é de 2 mm (Figura 6.22).

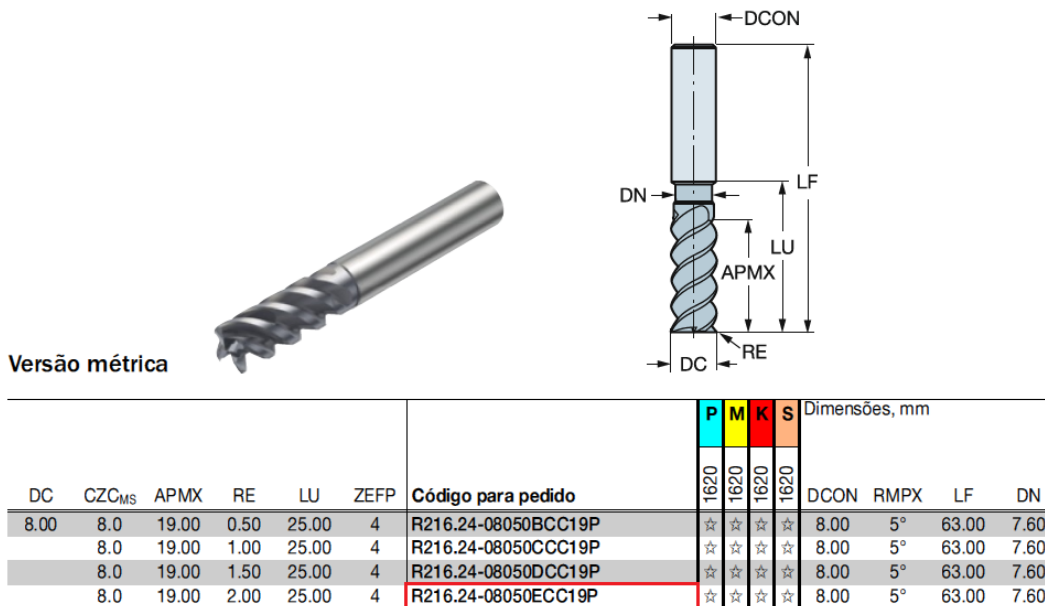


Figura 6.22 – Características da ferramenta a utilizar na 9ª Operação

Escolhe-se então a ferramenta cujo código para pedido é **R216.24-08050ECC19P.O** suporte escolhido para esta ferramenta também será idêntico ao escolhido para a 1ª, 7ª e 8ª Operações cujo código para pedido é **C4-391.19-08 075**

Os valores recomendados para a velocidade de corte e avanço por dente são, respectivamente, **100m/min** e **0.020mm/dente**.

Depois de elaborado o subcapítulo 6.2.6 referente à 9ª operação é que se obteve o *feedback* do proprietário dos desenhos, o qual confirmou que o raio que as paredes das formas fazem com a sua base é de 2mm.

### 6.2.7 10ª Operação

Nesta operação obter-se-á 3 chanfros, como mostra a Figura 6.23. Para tal utilizar-se-á uma ferramenta própria para chanfrar. Essa mesma ferramenta é bastante semelhante a uma fresa, tendo a particularidade de ter um ângulo de ponta igual ao ângulo que se pretende chanfrar na peça. O processo a utilizar para realizar esta operação é bastante idêntico a um processo de fresagem variando apenas na ferramenta utilizada.

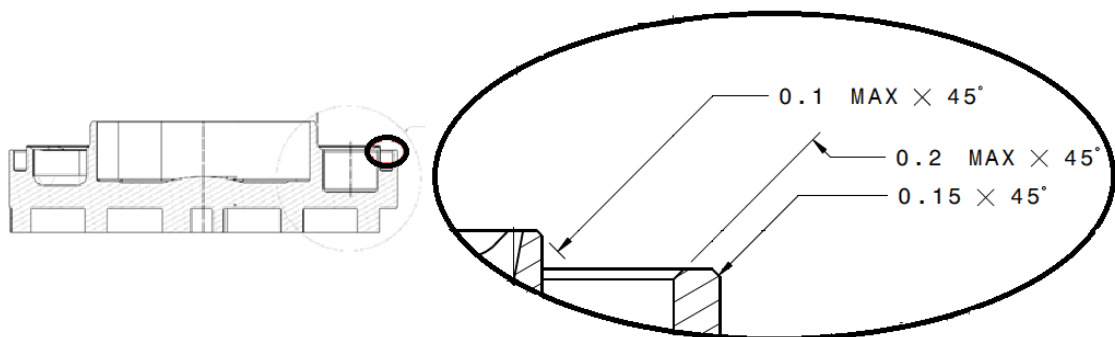


Figura 6.23 – Chanfros a realizar na 10ª Operação

Como os chanfros a obter na peça são de 45º, então um dos requisitos da ferramenta a escolher é que a mesma possua esse ângulo de ponta.

Como o rasgo efectuado na 6ª Operação possui dimensões muito reduzidas não há a necessidade de se ter que escolher uma ferramenta de dimensões muito superiores.

A ferramenta ilustrada na Figura 6.24 possui um diâmetro de 6mm e o rasgo possui as dimensões nominais. Como os chanfros 1 e 2 são ambos de 45º, há a possibilidade de serem efectuados em simultâneo com recurso à mesma ferramenta.

Para tal determinou-se a posição do ponto mais baixo da ferramenta, e este situa-se a 1.61mm da superfície exterior da peça e a 1.76mm da superfície que define a referência G. As medidas indicadas são para a obtenção do tamanho máximo do chanfro.

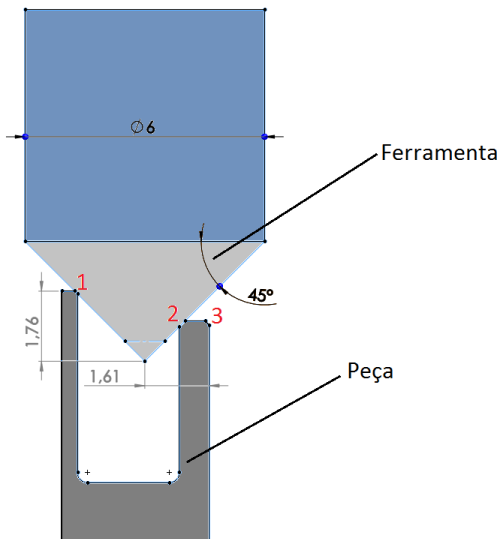
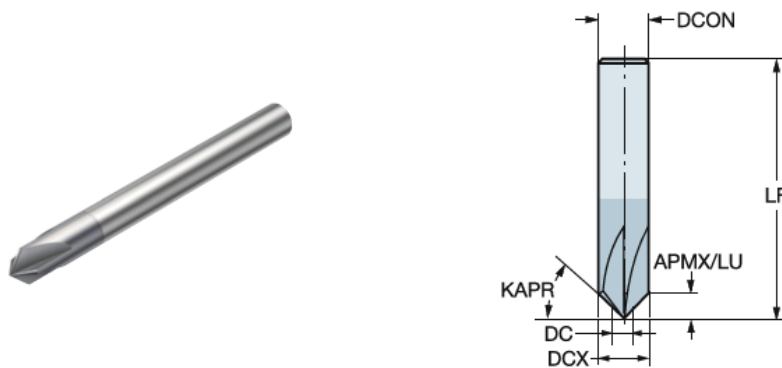


Figura 6.24 – Ilustração da ferramenta e da peça na 10ª Operação

Para se efectuar esta operação optou-se então por uma fresa de topo CoroMill Plura inteira de metal duro para chanframento com 4 gumes de corte cujas características são apresentadas na Figura 6.25.



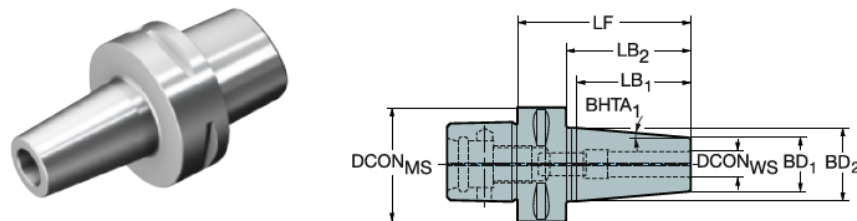
| KAPR | DC   | DCX  | CZC <sub>MS</sub> | APMX | LU   | ZEFP | Código para pedido | P    | M    | K    | N    | S    | H    | Dimensões, mm |       |
|------|------|------|-------------------|------|------|------|--------------------|------|------|------|------|------|------|---------------|-------|
|      |      |      |                   |      |      |      |                    | 1620 | 1620 | 1620 | 1620 | 1620 | 1620 | DCON          | LF    |
| 45°  | 1.00 | 6.0  | 6.0               | 2.50 | 2.50 | 4    | 1C050-0100-045-XA  | ☆    | ☆    | ☆    | ☆    | ☆    | ☆    | 6.00          | 56.50 |
| 45°  | 1.50 | 10.0 | 10.0              | 4.25 | 4.25 | 4    | 1C050-0150-045-XA  | ☆    | ☆    | ☆    | ☆    | ☆    | ☆    | 10.00         | 99.20 |
| 60°  |      | 10.0 | 10.0              | 7.35 | 7.35 | 4    | 1C050-0150-060-XA  | ☆    | ☆    | ☆    | ☆    | ☆    | ☆    | 10.00         | 98.70 |
| 45°  | 2.00 | 8.0  | 8.0               | 3.00 | 3.00 | 5    | 1C050-0200-045-XA  | ☆    | ☆    | ☆    | ☆    | ☆    | ☆    | 8.00          | 79.00 |
| 45°  | 3.00 | 12.0 | 12.0              | 4.50 | 4.50 | 6    | 1C050-0300-045-XA  | ☆    | ☆    | ☆    | ☆    | ☆    | ☆    | 12.00         | 81.50 |

Figura 6.25 - Características da ferramenta utilizada na 10ª operação

A ferramenta escolhida possui um diâmetro de 6mm e um ângulo de ponta de 45°, como pretendido, cujo código para pedido é **1C050-0100-045-XA**.

Como a operação para realizar os chanfros é também uma operação de fresagem o tipo de suporte a utilizar será semelhante ao escolhido para as operações de fresagem anteriores.

Para tal seleccionou-se o suporte cujo código para pedido é **C4-391.19-06 075** (Figura 6.26).



#### Furo métrico

|                   |                   |      |      |      |                    | Dimensões, mm, pol. |                    |       |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|-------------------|-------------------|------|------|------|--------------------|---------------------|--------------------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| CZC <sub>MS</sub> | CZC <sub>WS</sub> | CNSC | CXSC | DSGN | Código para pedido | DCON <sub>MS</sub>  | DCON <sub>WS</sub> | LF    | LB <sub>1</sub> | LB <sub>2</sub> | LB <sub>3</sub> | BD <sub>1</sub> | BD <sub>2</sub> | BD <sub>3</sub> |
| C4                | 6                 | 1    | 1    | 6    | C4-391.19-06 075   | 40.0                | 6.0                | 75.0  | 44.1            | 55.0            | 75.0            | 20.0            | 27.0            | 40.0            |
|                   |                   |      |      |      |                    | 1.575               | .236               | 2.953 | 1.736           | 2.165           | 2.953           | .787            | 1.063           | 1.575           |

Figura 6.26 – Suporte escolhido para a ferramenta utilizada na 10ª Operação.

Quanto aos parâmetros de corte, a velocidade de corte e avanço por dente recomendados são, respectivamente **240 m/min** e **0.055 mm/dente**.

#### 6.2.8 11ª Operação

Nesta operação ir-se-á maquinar a peça de modo a se obter o chanfro representado na Figura 6.27.

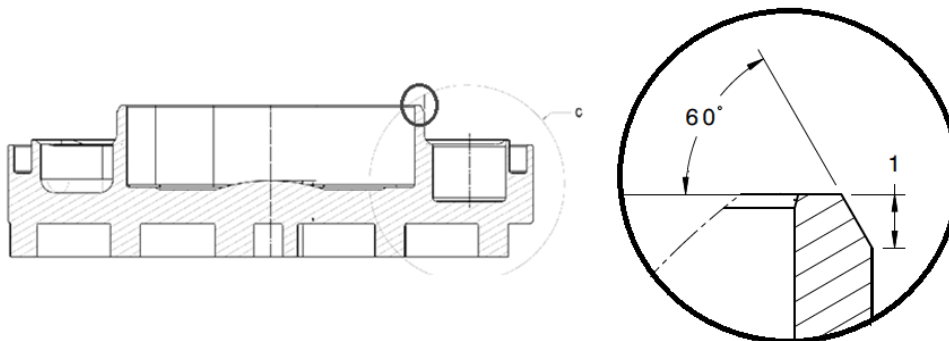


Figura 6.27 – Chanfro a realizar na 11ª Operação

A ferramenta a utilizar é bastante semelhante à da utilizada na operação anterior, variando apenas o seu diâmetro e o ângulo de ponta.

As características da ferramenta escolhida para efectuar esta operação estão apresentadas na Figura 6.28. Esta possui um diâmetro de 10mm e um ângulo de ponta de 60º. O código para pedido da mesma é **1C050-0150-060-XA**.

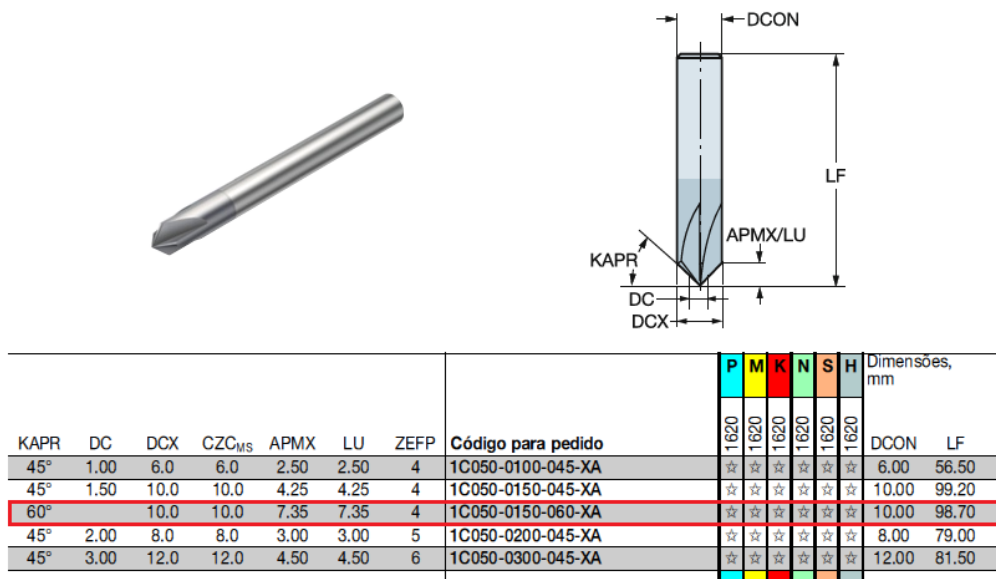
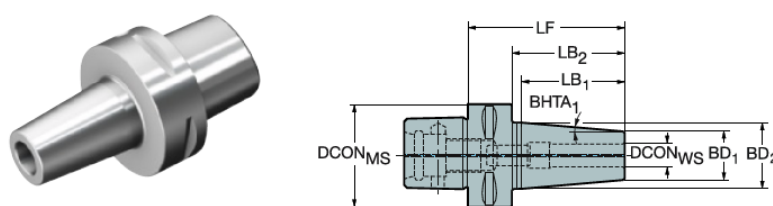


Figura 6.28 - Características da ferramenta utilizada na 11ª operação

O suporte escolhido para a ferramenta que irá efectuar esta operação tem o código para pedido **C4-391.19-10 075** e as suas características estão apresentadas na Figura 6.29.



#### Furo métrico

| CZC <sub>MS</sub> | CZC <sub>WS</sub> | CNSC | CXSC | DSGN | Código para pedido | Dimensões, mm, pol. |                    |       |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|-------------------|-------------------|------|------|------|--------------------|---------------------|--------------------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 10                | 1                 | 1    | 6    |      | C4-391.19-10 075   | DCON <sub>MS</sub>  | DCON <sub>WS</sub> | LF    | LB <sub>1</sub> | LB <sub>2</sub> | LB <sub>3</sub> | BD <sub>1</sub> | BD <sub>2</sub> | BD <sub>3</sub> |
|                   |                   |      |      |      |                    | 40.0                | 10.0               | 75.0  | 50.5            | 55.0            | 75.0            | 24.0            | 32.0            | 40.0            |
|                   |                   |      |      |      |                    | 1.575               | .394               | 2.953 | 1.988           | 2.165           | 2.953           | .945            | 1.260           | 1.575           |

Figura 6.29 - Suporte escolhido para a ferramenta utilizada na 11ª Operação.

Os valores da velocidade de corte e avanço por dente recomendados pelo fabricante são, respectivamente, **130 m/min** e **0.055 mm/dente**.

### 6.2.9 12ª Operação

Esta operação tem o objectivo de se obter o chanfro apresentado na Figura 6.30. Este pode ser obtido de duas formas, através de um processo de torneamento ou de fresagem. No entanto, ao contrario da 10ª e 11ª Operações, a utilização de um processo de fresagem seria inconveniente pois seria necessário uma fresa de 75º o que não é comum.

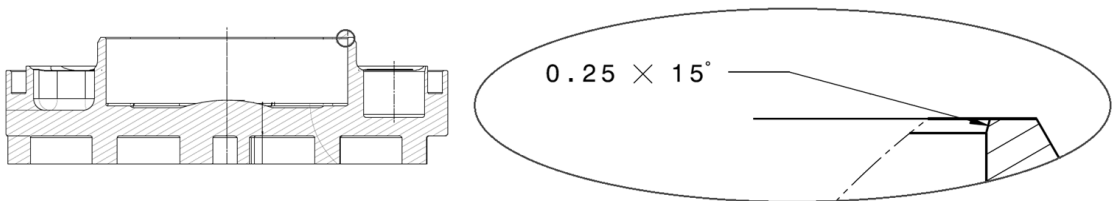


Figura 6.30 – Chanfro a realizar na 12ª Operação

Consultados os catálogos de ferramentas e fixações para torneamento não foi encontrado nenhum conjunto que permitisse que o chanfro fosse feito apenas com o encosto da ferramenta na peça, e.i., o ângulo do gume de corte teria que fazer 15º com o eixo de rotação da peça. Para tal, a ferramenta a utilizar para realizar esta operação pode ser idêntica à utilizada na 5ª operação desde que a ferramenta percorra o caminho ilustrado na Figura 6.31.

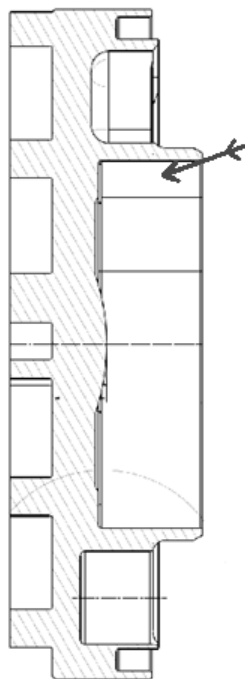


Figura 6.31 - Caminho descrito pela ferramenta na 12ª Operação

### 6.2.10 13ª Operação

Esta operação consiste na obtenção de um furo roscado M5. Esta operação será dividida em duas fases, uma fase inicial de furação e uma fase final de rosqueamento.

O primeiro passo será escolher a ferramenta que irá efectuar a rosca, pois são as características da mesma que irão definir o diâmetro da broca a utilizar no processo de furação.

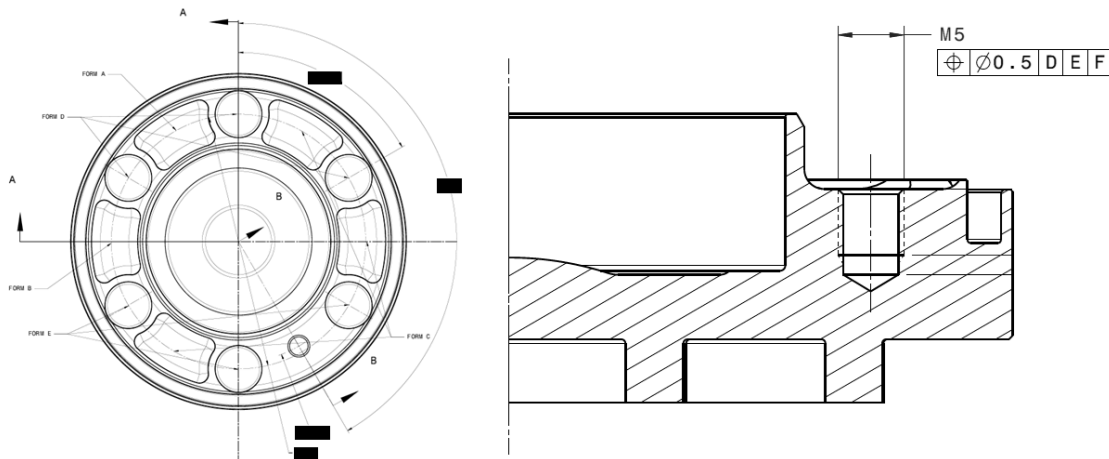


Figura 6.32 – Furo roscado a obter na 13ª Operação

#### 6.2.10.1 Ferramenta de rosqueamento

Para a maquinação da rosca foi seleccionada a CoroTap 300 por ser, segundo o fabricante, a melhor opção para furos cegos. A ferramenta seleccionada (Figura 6.33) permite rosca profundidades até 16mm e possui um passo de rosca de 0.8mm.

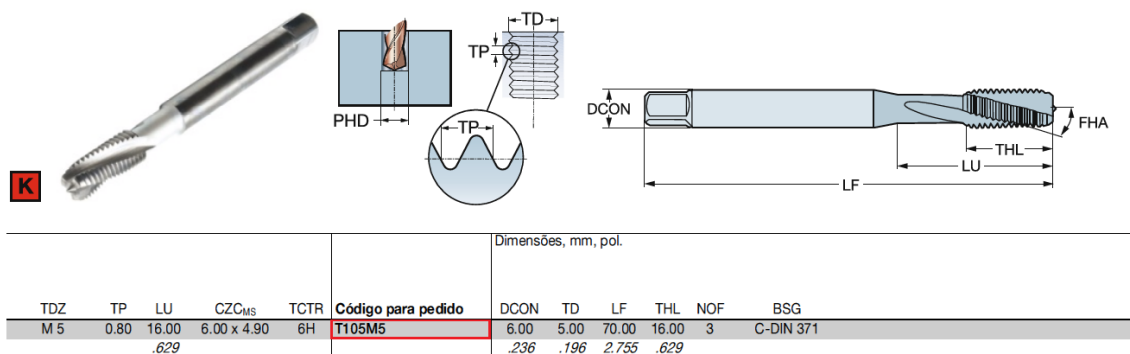


Figura 6.33 – Ferramenta utilizada para efectuar o rosqueamento



Para a maquinação da rosca escolheu-se a ferramenta cujo código para pedido é **T105M5**.

O suporte escolhido (Figura 6.34) é indicado para efectuar rosqueamento com macho e suporta ferramentas que efectuem um tamanho de rosca máximo até M5. O código para pedido do suporte é **970-C3-11-078**.

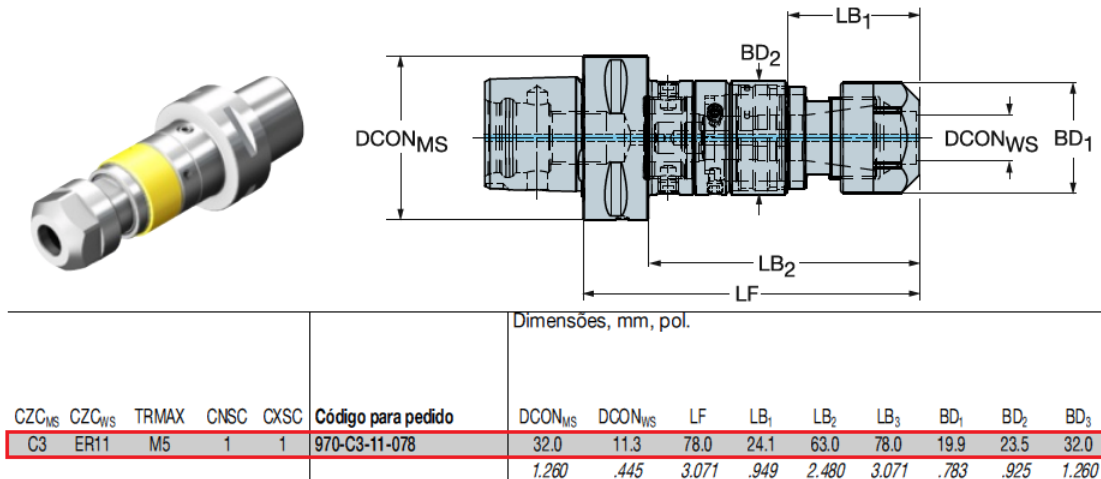


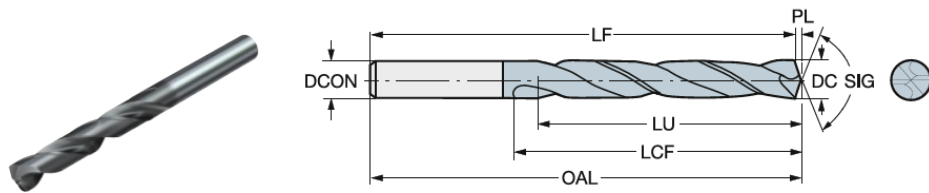
Figura 6.34 - Suporte escolhido para o macho utilizado na 13ª Operação.

Para o rosqueamento, o fabricante recomenda uma velocidade de corte de **15m/min**.

Antes do macho efectuar a maquinação da rosca há que haver um processo de furação. Atendendo às características da rosca (Anexo 1), resulta que para uma rosca M5 há que haver um pré-furo de 4.2mm. Isto indica-nos que a broca a utilizar no processo de furação terá que possuir um diâmetro de 4.2mm.

### 6.2.10.2 Ferramenta de furação

Das várias ferramentas apresentadas, uma das que se adequa a esta operação é a broca CoroDrill 460. Um dos requisitos é o facto do diâmetro da broca ter que ser 4.20mm. Das várias brocas com 4.20mm (Figura 6.35), a medida mais relevante que distingue umas das outras é a profundidade máxima que permite furar. Como o furo a efectuar não possui mais de 10mm de profundidade seleccionou-se a broca de menores dimensões.



| DC   | DC*  | LU    | LU*  | ULDR | CZC <sub>MS</sub> | Código para pedido  | P    | M    | K    | N    | S    | H    | Dimensões, mm, pol. |       |       |       |       |       |      |      |      |
|------|------|-------|------|------|-------------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
|      |      |       |      |      |                   |                     | GC34 | GC34 | GC34 | GC34 | GC34 | GC34 | DCON                | DCON* | OAL   | OAL*  | LCF   | LCF*  | PL   | PL*  | SIG  |
| 4.20 | .165 | 13.40 | .528 | 3    | 6                 | 460.1-0420-013A0-XM | ☆    | ☆    | ☆    | ☆    | ☆    | ☆    | 6.00                | .236  | 66.00 | 2.598 | 24.00 | .944  | 0.76 | .030 | 140° |
| 4.20 | .165 | 21.80 | .858 | 5    | 6                 | 460.1-0420-021A0-XM | ☆    | ☆    | ☆    | ☆    | ☆    | ☆    | 6.00                | .236  | 74.00 | 2.913 | 36.00 | 1.417 | 0.76 | .030 | 140° |

Figura 6.35 . Ferramenta utilizada para efectuar a furação

O código para pedido da ferramenta seleccionada efectuar o processo de furação é **460.1-0420-013A1-XM**. O suporte escolhido para a ferramenta de furação é idêntico ao seleccionado para a 10ª Operação pois ambas as ferramentas possuem uma haste de 6 mm de diâmetro. Embora este tipo de suporte tenha sido escolhido também para operações de fresagem/chanfragem, também é indicado para operações de furação.

Na Tabela 6.8 são apresentados os valores da velocidade de corte e do avanço recomendados pelo fabricante.

Tabela 6.8 - Valores da velocidade de corte e avanço recomendados para o processo de furação

|                             | Mínimo | Início | Máximo |
|-----------------------------|--------|--------|--------|
| Velocidade de corte (m/min) | 88     | 110    | 132    |
| Avanço (mm/r)               | 0.160  | 0.200  | 0.240  |

### 6.3 Síntese de ferramentas

Na Tabela 6.9 estão apresentadas as ferramentas escolhidas que irão efectuar a pré maquinação da peça.

Tabela 6.9 – Lista de ferramentas a utilizar na pré-maquinação

| Operação | Tipo de Operação                   | Suporte             | Ferramenta          |
|----------|------------------------------------|---------------------|---------------------|
| 1ª       | Fresagem                           | C4-391.19-08 075    | R216.24-08050BCC19P |
| 2ª       | Fresagem                           | C4-391.19-16 075    | R216.24-16050BCC32P |
| 3ª       | Fresagem                           | C4-391.19-16 075    | R216.24-16050BCC32P |
| 4ª       | Torneamento Externo                | C4-PDJNR/L-27050-11 | DNMG 11 04 08-KF    |
| 5ª       | Torneamento Interno                | A12M-5DQCR/L07      | DCMT 07 02 04-KM    |
| 6ª       | Torneamento<br>(Sangramento Axial) | -----               | -----               |
| 7ª       | Fresagem                           | C4-391.19-08 075    | R216.24-08050DCC19D |
| 8ª       | Fresagem                           | C4-391.19-08 075    | R216.24-08050BCC19D |
| 9ª       | Fresagem                           | C4-391.19-08 075    | R216.24-08050ECC19D |
| 10ª      | Fresagem<br>(Chanfragem)           | C4-391.19-06 075    | 1C050-0100-045-XA   |
| 11ª      | Fresagem<br>(Chanfragem)           | C4-391.19-10 075    | 1C050-0150-060-XA   |
| 12ª      | Torneamento                        | A12M-5DQCR/L07      | DCMT 07 02 04-KM    |
| 13ª      | Furação                            | C4-391.19-06 075    | 460.1-0420-013A0-XM |
|          | Rosqueamento                       | 970-C3-11-078       | T105M5              |

## 6.4 Síntese de Parâmetros de corte

Na Tabela 6.10 são apresentados os parâmetros de corte recomendados pelo fabricante para as operações de pré-maquinagem.

Tabela 6.10 – Listagem dos parâmetros recomendados a utilizar nas operações de pré maquinagem

| Operação | Avanço<br>$f_n$ (mm/r) |       |        | Profundidade de<br>Corte<br>$a_p$ (mm) |      |      | Velocidade de Corte<br>$V_c$ (m/min) |      |        | Avanço<br>$f_z$<br>(mm/dente) |   |
|----------|------------------------|-------|--------|--|------|------|--------------------------------------|------|--------|-------------------------------|---|
|          | Min.                   | Rec.  | Max.   | Min.                                   | Rec. | Max. | Recomendado                          |      |        | Recomen-<br>dado              |   |
| 1ª       | /                      |       |        | /                                      |      |      | 100                                  |      |        | 0.020                         |   |
| 2ª       | /                      |       |        | /                                      |      |      | 130                                  |      |        | 0.09                          |   |
| 3ª       | /                      |       |        | /                                      |      |      | 130                                  |      |        | 0.09                          |   |
| 4ª       | 0.10                   | 0.20  | 0.30   | 0.15                                   | 0.50 | 2.00 | Min.                                 | Rec. | Max.   | /                             |   |
|          |                        |       |        |  |      |      | 265                                  | 240  | 220    |                               |   |
| 5ª       | 0.06                   | 0.11  | 0.17   | 0.19                                   | 0.6  | 2.25 | Min.                                 | Rec. | Max.   | /                             |   |
|          |                        |       |        |  |      |      | 265                                  | 240  |        |                               |   |
| 6ª       | ?                      | ?     | ?      | ?                                      | ?    | ?    | Min.                                 | Rec. | Max.   | /                             |   |
|          |                        |       |        |  |      |      | ?                                    | ?    | ?      |                               |   |
| 7ª       | /                      |       |        | /                                      |      |      | 100                                  |      |        | 0.020                         |   |
| 8ª       | /                      |       |        | /                                      |      |      | 100                                  |      |        | 0.020                         |   |
| 9ª       | /                      |       |        | /                                      |      |      | 100                                  |      |        | 0.020                         |   |
| 10ª      | /                      |       |        | /                                      |      |      | 240                                  |      |        | 0.055                         |   |
| 11ª      | /                      |       |        | /                                      |      |      | 130                                  |      |        | 0.055                         |   |
| 12ª      | 0.06                   | 0.11  | 0.17   | 0.19                                   | 0.6  | 2.25 | Min.                                 | Rec. | Max.   | /                             |   |
|          |                        |       |        |  |      |      | 265                                  | 240  |        |                               |   |
| 13ª      | Furação                | Min.  | Início | Max.                                   | /    |      |                                      | Min. | Início | Max.                          | / |
|          |                        | 0.160 | 0.200  | 0.240                                  |      |      |                                      | 88   | 110    | 132                           |   |
|          | Rosqueamento           | 0.8   |        |  | /    |      |                                      | 15   |        |                               | / |

## 7 - FASE DE ACABAMENTO

Esta será a última fase da maquinação e que dará à espiral da peça a sua configuração final. Nesta fase será necessária a utilização de uma máquina de grande precisão por haver tolerâncias associadas a espiral na ordem das unidades de micrómetro. Para tal a máquina seccionada foi a KERN Micro pois permite desvios de posição de  $\pm 0.5$   $\mu\text{m}$ . A peça será fixada pelo lado A (Figura 6.1) de modo a maquinar a espiral cujas tolerâncias associadas estão identificadas na Figura 7.1.

Para esta fase não haverá uma escolha de ferramentas para a operação como no capítulo anterior, ao invés, serão apresentadas varias alternativas para se efectuar a maquinação desta fase de acabamento.

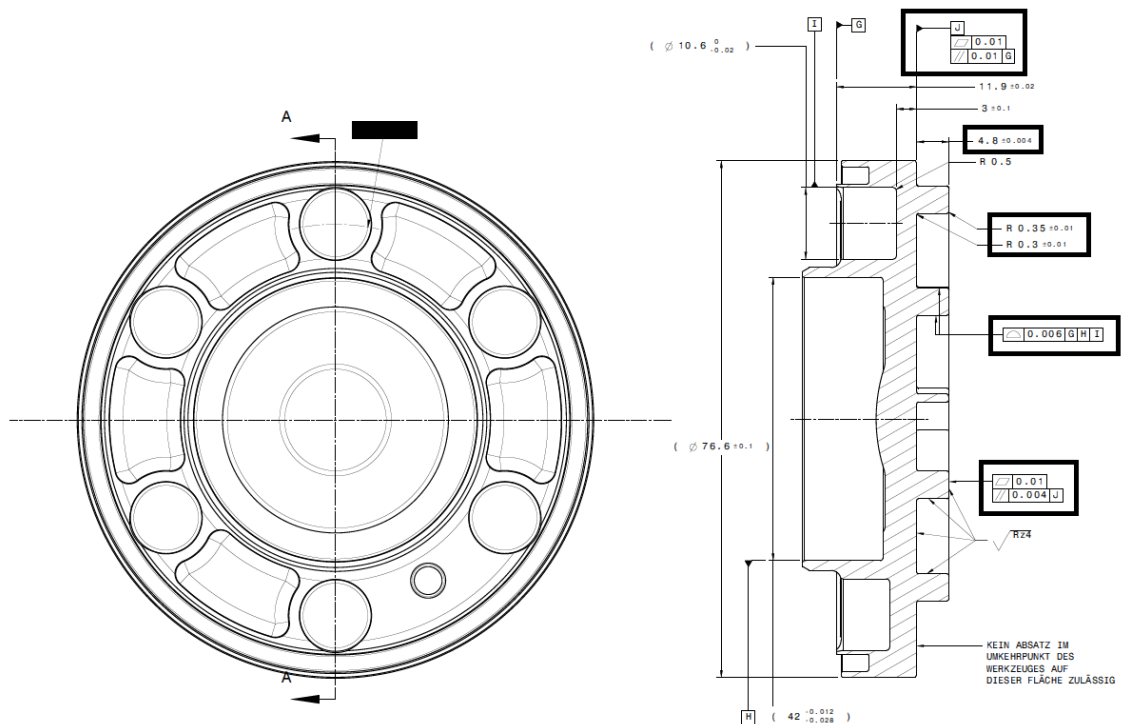


Figura 7.1 – Tolerâncias a cumprir associadas à espiral

## 7.1 1ª Alternativa

Esta alternativa consiste em maquinar praticamente toda a base, topo e paredes da espiral com uma única ferramenta e de uma única vez efectuando uma passagem de cada lado da espiral. Essa ferramenta será especial pois possuirá medidas únicas (Figura 7.2). A ferramenta a utilizar terá que ter desvios dimensionais de pelo menos metade das superfícies a maquinar para compensar eventuais desvios posicionais da máquina. Por exemplo, a diferença de cotas entra a base e o topo da espiral é de  $4.8 \pm 0.004\text{mm}$ . Isto significa que a diferença de cotas entre as superfícies da ferramenta que irão efectuar a maquinação terá que ser de  $4.8 \pm 0.002\text{mm}$ . O mesmo se sucede nos raios ( $0.30$  e  $0.35$  mm) que a ferramenta possuirá, pois na peça, estes apresentam um desvio máximo de  $0.02\text{mm}$ , logo a parte da ferramenta que irá maquinar essas características terá que ter um desvio máximo de metade, ou seja,  $0.01$  mm ( $\pm 0.005$  mm).

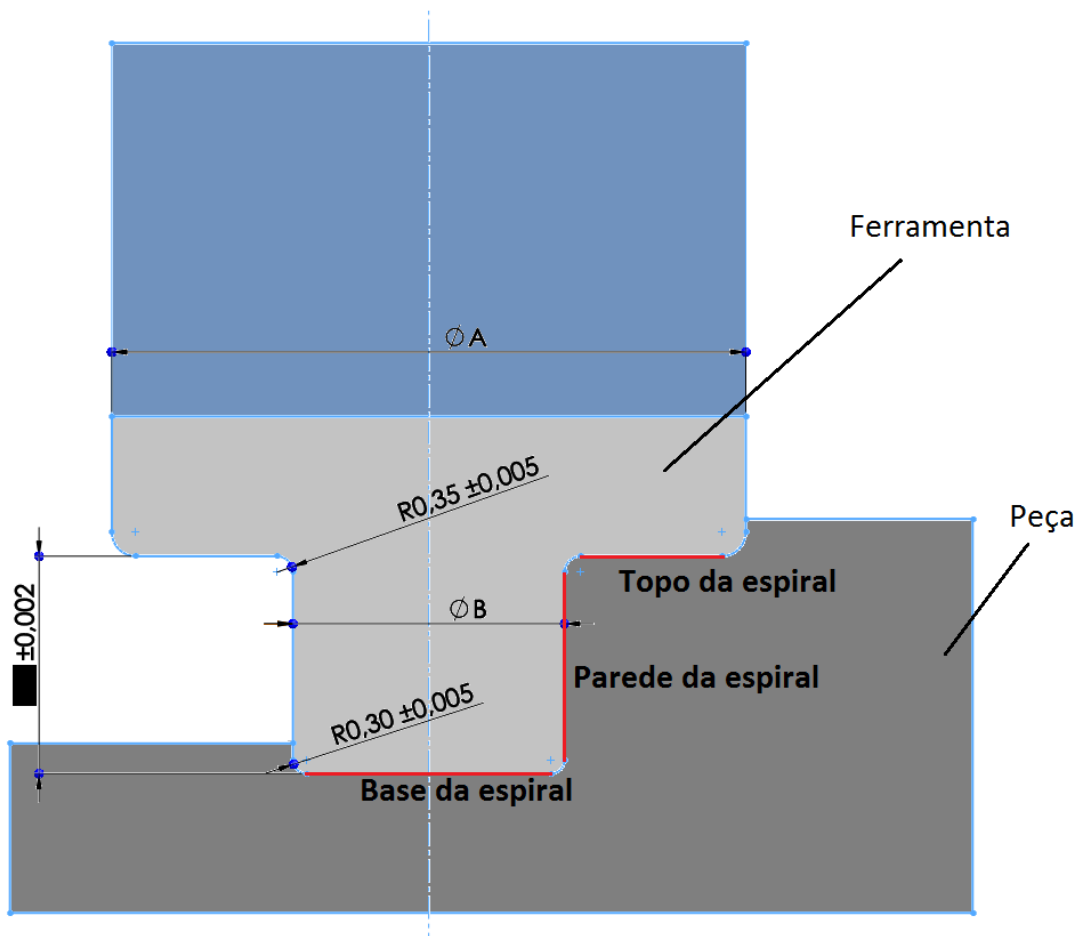


Figura 7.2 – Características da ferramenta a utilizar na fase de acabamento

Em relação ao maior diâmetro da ferramenta ( $\varnothing A$ ) este tem que ser tal de modo a que a parte da ferramenta que maquina o topo da espiral, machine pelo menos metade da espessura da espiral de modo a que o restante material seja removido quando a ferramenta efectuar a maquinação do lado oposto da espiral. Por exemplo, se a espiral possuir 6mm de espessura, então  $\frac{\varnothing A - \varnothing B}{2} \geq 3 \text{ mm}$ .

Uma situação semelhante se sucede com o menor diâmetro da ferramenta ( $\varnothing B$ ). Este terá que ter pelo menos metade da menor distância entre duas paredes da espiral de modo a que quando a ferramenta estiver a efectuar a maquinação do lado contrário da espiral, a sua base seja maquinada por completo.

Um dos requisitos da fase de acabamento é que não haja uma paragem da ferramenta durante a maquinação da base da espiral. Então para que toda a base seja maquinada sem que isso se suceda uma das hipóteses é que o caminho percorrido pela ferramenta seja o exemplificado na Figura 7.3. Na extremidade exterior da espiral, o percurso da ferramenta é apresentado em duas cores distintas (azul e vermelho) para uma mais fácil compreensão do trajecto percorrido pela ferramenta nessa zona.

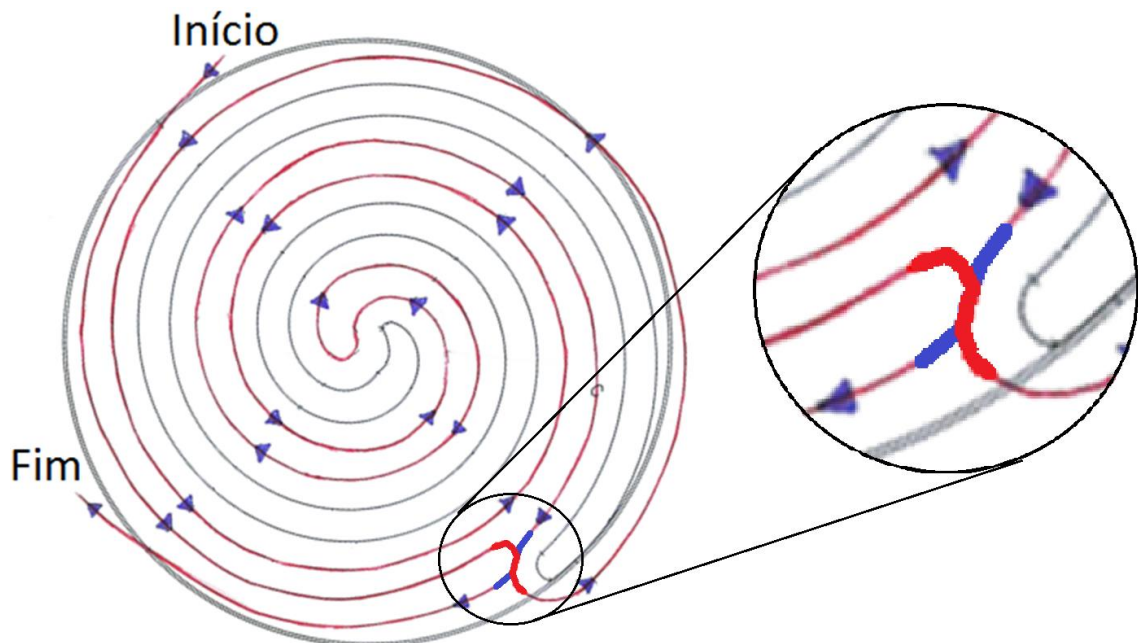


Figura 7.3 – Exemplificação do caminho a descrever pela ferramenta

Para finalizar a fase de acabamento fica a faltar apenas a maquinação da extremidade da espiral (Figura 7.4). Como o menor diâmetro da ferramenta utilizada anteriormente é muito provavelmente superior ao raio da extremidade da espiral, esta não pode ser usada para maquinar a extremidade da espiral. Para tal, a ferramenta a utilizar será bastante semelhante à utilizada anteriormente, mas o seu menor diâmetro será no máximo igual ao valor do menor raio presente na espiral, o que permite maquinar a extremidade da espiral.

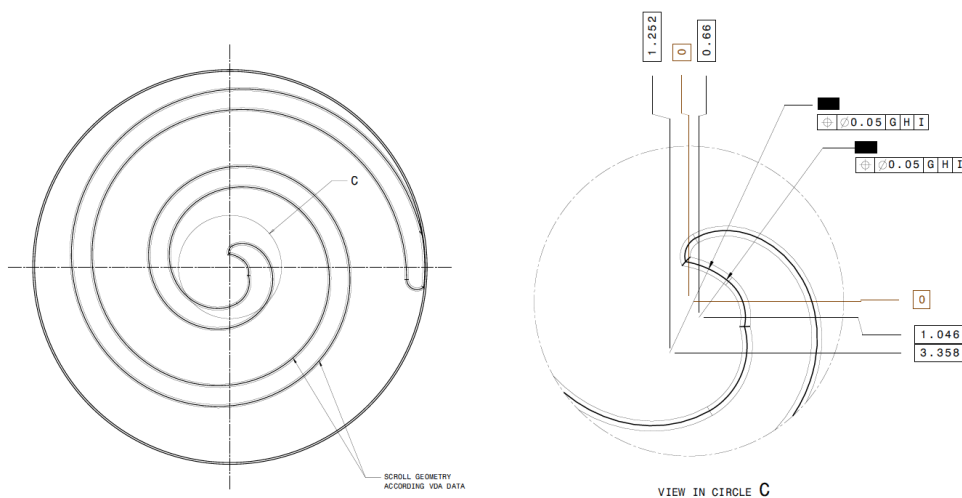


Figura 7.4 – Extremidade da espiral

Mais uma vez é requerida uma rugosidade específica numa parte da peça. Como referido no capítulo anterior, a escolha dos parâmetros não se encontra nos objectivos da presente dissertação e portanto esse tema não será abordado.

## 7.2 2ª Alternativa

Esta alternativa está dividida em duas fases, uma fase inicial de fresagem e uma fase final de rectificação.

Numa primeira fase de fresagem, a ferramenta a utilizar será bastante semelhante à indicada na 1ª Alternativa variando apenas os diâmetros pois estes serão menores. Um dos requisitos que a ferramenta terá de cumprir é o facto do menor diâmetro ( $\varnothing B$ ) ser menor ou igual a duas vezes o menor raio da extremidade da espiral, pois deste modo toda a totalidade do perfil da espiral poderá ser realizada numa só operação de fresagem.



Como para esta alternativa  $\frac{\phi A - \phi B}{2}$  é inferior a metade da largura da espiral e como  $\phi B$  é inferior a metade da menor distância entre as paredes da espiral, depois de efectuada a operação de fresagem há um excedente de material que não foi removido (Figura 7.5). Para a remoção do mesmo optou-se por um processo de rectificação.

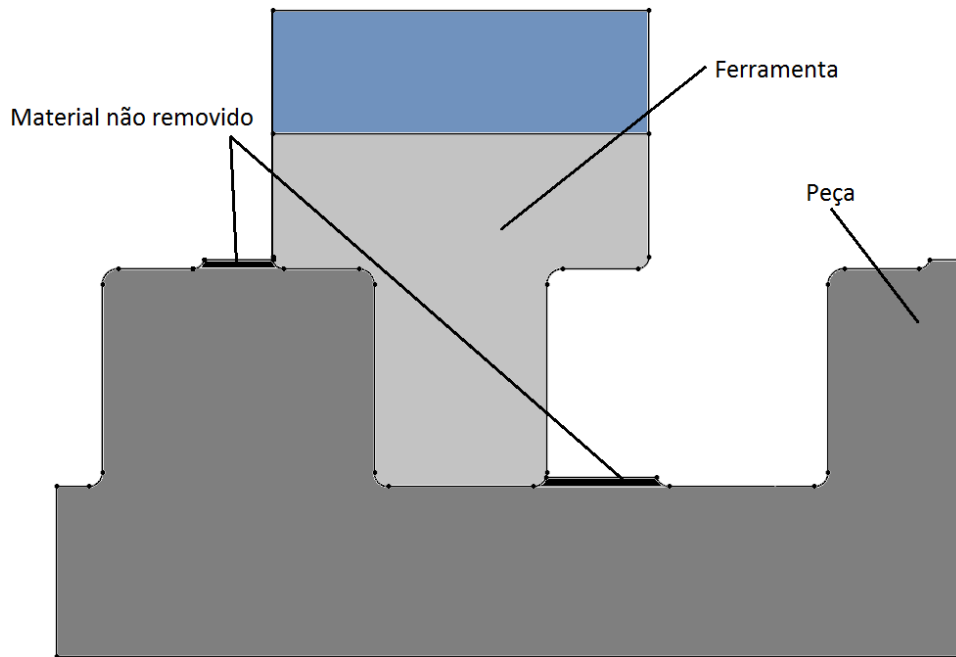


Figura 7.5 – Ilustração da operação de fresagem

A rectificação é um processo que permite dar às superfícies um excelente acabamento bem como proporcionar-lhes baixos desvios geométricos. Nesse aspecto torna-se bastante conveniente a utilização da rectificação pois ambas as superfícies têm tolerâncias associadas bastante apertadas. Por outro lado, tem o inconveniente de haver uma troca de ferramenta e isso faz com que o topo e a base tenham ambos uma parte maquinada através de fresagem e outra através de rectificação. O facto de haver uma troca de ferramenta também pode fazer com que haja desvios no posicionamento da mó no processo de rectificação.



## 8 - CONCLUSÕES E PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

O desenvolvimento do trabalho conducente a esta dissertação iniciou-se com a análise dos desenhos. Esta revelou de imediato que a maquinação da peça iria estar dividida em duas fases, sendo a fase final a mais crítica dado as tolerâncias serem muito mais apertadas, o que condiciona o tipo de equipamentos a utilizar. De seguida estabeleceu-se a sequência de operações, que constitui a etapa mais importante deste trabalho de investigação. Aqui, a utilização das tolerâncias revela-se de extrema importância, porque delas depende o estabelecimento de uma possível sequência de operações, recorrendo a métodos auxiliares (*DSM*). No entanto, verificaram-se algumas incoerências nos desenhos e, inclusivamente, a omissão de algumas cotas, o que dificultou a sua análise e, conseqüentemente o correcto estabelecimento de uma sequência de operações que permita que todos os requisitos de projecto sejam cumpridos. Dado ser esta uma realidade a nível industrial, demonstra-se desde logo a necessidade da existência de uma metodologia como a proposta nesta dissertação.

Com base no trabalho efectuado foi proposta uma metodologia sob a forma de fluxogramas, de fácil leitura e aplicação na indústria para uma vasta gama de componentes. Também na criação dos fluxogramas surgiram dificuldades, nomeadamente a incorporação de todos os aspectos que de algum modo foram decisivos em certas tomadas de decisão. O método apresentado na presente dissertação foi desenvolvido em articulação com uma empresa, na qual se validou a metodologia proposta.

Assim, considera-se que o objectivo deste trabalho, o desenvolvimento de uma metodologia para planeamento de trabalho para maquinação de peças geométrica-

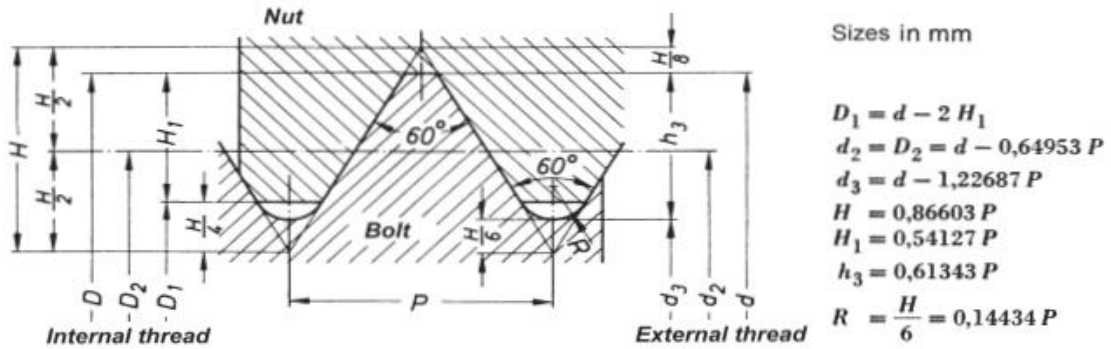
mente complexas e com tolerâncias rigorosas, foi cumprido. Na metodologia proposta as tolerâncias apresentam-se como um factor determinante.

A realização da presente dissertação permitiu ter uma visão diferente ao abordar um tema deste género e permitiu também chegar à conclusão do quão importante é o toleranciamento para o estabelecimento da sequência de maquinação de uma peça.

Dando continuidade ao trabalho já realizado, apresenta-se como proposta de trabalho futuro, a aplicação desta metodologia a trabalhos em curso, ou seja, para verificar e aferir possíveis erros que estejam a ocorrer em peças já em fase de produção, no sentido de os corrigir atempadamente. Seria também bastante importante a incorporação de *feedback* de empresas de modo a contribuir para uma melhoria da metodologia.

# ANEXOS

Anexo 1 – Norma DIN 13 para furos roscados [10]



| Nominal value of thread<br>$d = D$ |       |       | Pitch<br>P | Flank- $\varnothing$<br>$d_s = D_s$ | Root- $\varnothing$ |        | Depth of thread |       | Radius<br>R |
|------------------------------------|-------|-------|------------|-------------------------------------|---------------------|--------|-----------------|-------|-------------|
| Row 1                              | Row 2 | Row 3 |            |                                     | $d_1$               | $D_1$  | $h_1$           | $H_1$ |             |
| M 1                                |       |       | 0,25       | 0,838                               | 0,693               | 0,729  | 0,153           | 0,135 | 0,036       |
|                                    | M 1,1 |       | 0,25       | 0,938                               | 0,793               | 0,829  | 0,153           | 0,135 | 0,036       |
| M 1,2                              |       |       | 0,25       | 1,038                               | 0,893               | 0,929  | 0,153           | 0,135 | 0,036       |
|                                    | M 1,4 |       | 0,3        | 1,205                               | 1,032               | 1,075  | 0,184           | 0,162 | 0,043       |
| M 1,6                              |       |       | 0,35       | 1,373                               | 1,170               | 1,221  | 0,215           | 0,189 | 0,051       |
|                                    | M 1,8 |       | 0,35       | 1,573                               | 1,371               | 1,421  | 0,215           | 0,189 | 0,051       |
| M 2                                |       |       | 0,4        | 1,740                               | 1,509               | 1,567  | 0,245           | 0,217 | 0,058       |
|                                    | M 2,2 |       | 0,45       | 1,908                               | 1,648               | 1,713  | 0,276           | 0,244 | 0,065       |
| M 2,5                              |       |       | 0,45       | 2,208                               | 1,948               | 2,013  | 0,276           | 0,244 | 0,065       |
| M 3                                |       |       | 0,5        | 2,675                               | 2,387               | 2,459  | 0,307           | 0,271 | 0,072       |
|                                    | M 3,5 |       | 0,6        | 3,110                               | 2,764               | 2,850  | 0,368           | 0,325 | 0,087       |
| M 4                                |       |       | 0,7        | 3,545                               | 3,141               | 3,242  | 0,429           | 0,379 | 0,101       |
|                                    | M 4,5 |       | 0,75       | 4,013                               | 3,580               | 3,688  | 0,460           | 0,406 | 0,108       |
| M 5                                |       |       | 0,8        | 4,480                               | 4,019               | 4,134  | 0,491           | 0,433 | 0,115       |
| M 6                                |       |       | 1          | 5,350                               | 4,773               | 4,917  | 0,613           | 0,541 | 0,144       |
|                                    | M 7   |       | 1          | 6,350                               | 5,773               | 5,917  | 0,613           | 0,541 | 0,144       |
| M 8                                |       |       | 1,25       | 7,188                               | 6,466               | 6,647  | 0,767           | 0,677 | 0,180       |
|                                    |       | M 9   | 1,25       | 8,188                               | 7,466               | 7,647  | 0,767           | 0,677 | 0,180       |
| M 10                               |       |       | 1,5        | 9,026                               | 8,160               | 8,376  | 0,920           | 0,812 | 0,217       |
|                                    |       | M 11  | 1,5        | 10,026                              | 9,160               | 9,376  | 0,920           | 0,812 | 0,217       |
| M 12                               |       |       | 1,75       | 10,863                              | 9,853               | 10,106 | 1,074           | 0,947 | 0,253       |
|                                    | M 14  |       | 2          | 12,701                              | 11,546              | 11,835 | 1,227           | 1,083 | 0,289       |
| M 16                               |       |       | 2          | 14,701                              | 13,546              | 13,835 | 1,227           | 1,083 | 0,289       |
|                                    | M 18  |       | 2,5        | 16,376                              | 14,933              | 15,294 | 1,534           | 1,353 | 0,361       |
| M 20                               |       |       | 2,5        | 18,376                              | 16,933              | 17,294 | 1,534           | 1,353 | 0,361       |
|                                    | M 22  |       | 2,5        | 20,376                              | 18,933              | 19,294 | 1,534           | 1,353 | 0,361       |
| M 24                               |       |       | 3          | 22,051                              | 20,319              | 20,752 | 1,840           | 1,624 | 0,433       |
|                                    | M 27  |       | 3          | 25,051                              | 23,319              | 23,752 | 1,840           | 1,624 | 0,433       |
| M 30                               |       |       | 3,5        | 27,727                              | 25,706              | 26,211 | 2,147           | 1,894 | 0,505       |
|                                    | M 33  |       | 3,5        | 30,727                              | 28,706              | 29,211 | 2,147           | 1,894 | 0,505       |
| M 36                               |       |       | 4          | 33,402                              | 31,093              | 31,670 | 2,454           | 2,165 | 0,577       |
|                                    | M 39  |       | 4          | 36,402                              | 34,093              | 34,670 | 2,454           | 2,165 | 0,577       |
| M 42                               |       |       | 4,5        | 39,077                              | 36,479              | 37,129 | 2,760           | 2,436 | 0,650       |
|                                    | M 45  |       | 4,5        | 42,077                              | 39,479              | 40,129 | 2,760           | 2,436 | 0,650       |
| M 48                               |       |       | 5          | 44,752                              | 41,866              | 42,587 | 3,067           | 2,706 | 0,722       |
|                                    | M 52  |       | 5          | 48,752                              | 45,866              | 46,587 | 3,067           | 2,706 | 0,722       |
| M 56                               |       |       | 5,5        | 52,428                              | 49,252              | 50,046 | 3,374           | 2,977 | 0,794       |
|                                    | M 60  |       | 5,5        | 56,428                              | 53,252              | 54,046 | 3,374           | 2,977 | 0,794       |
| M 64                               |       |       | 6          | 60,103                              | 56,639              | 57,505 | 3,681           | 3,248 | 0,866       |
|                                    | M 68  |       | 6          | 64,103                              | 60,639              | 61,505 | 3,681           | 3,248 | 0,866       |

**Anexo 2 – Rugosidades, desvios dimensionais e geométricos obtidos em diferentes processos tecnológicos [11]**

| Dimensões                    | Função das superfícies   | sem contacto       | contacto fixo  | centragem contacto móvel guiamento | estanquidade trajectória precisa |      | Tolerâncias Geométricas (µm) |   |   |   |            |     |       |      |      |       |
|------------------------------|--------------------------|--------------------|----------------|------------------------------------|----------------------------------|------|------------------------------|---|---|---|------------|-----|-------|------|------|-------|
|                              | Natureza das superfícies | bruta              | precisão média | boa precisão                       | precisão elevada                 |      |                              |   |   |   |            |     |       |      |      |       |
| Qualidade IT                 | 16-15-14-13-12           | 11-10-9            | 8-7-6          |                                    | 5-4-3-2-1-0-01                   |      |                              |   |   |   |            |     |       |      |      |       |
| Rugosidade                   | Aspecto                  | mate               | semi mate      |                                    | brilhante                        |      |                              |   |   |   | espelhado  |     |       |      |      |       |
|                              | Símbolos antigos         | ~                  | ▽              | ▽▽                                 |                                  | ▽▽▽  |                              |   |   |   |            |     |       |      |      |       |
|                              | Qualidade                | grosseira          |                | média                              |                                  | fina |                              |   |   |   | Muito fina |     |       |      |      |       |
|                              | Nº classe (ISO 1302)     | N11                | N10            | N9                                 | N8                               | N7   |                              |   |   |   | N6         | N5  | N4    | N3   | N2   | N1    |
|                              | Rt (µm)                  | 120                | 55             | 27                                 | 12                               | 5.7  |                              |   |   |   | 2.8        | 1.4 | 0.6   | 0.25 | 0.1  | 0.05  |
|                              | Ra (µm)                  | 25                 | 12.5           | 6.3                                | 3.2                              | 1.6  |                              |   |   |   | 0.8        | 0.4 | 0.2   | 0.1  | 0.05 | 0.025 |
|                              |                          |                    |                |                                    |                                  |      |                              |   |   |   |            | //  | ⊥     | ⊙    | ∠    |       |
| Fundição em areia            | ■                        | ■                  | ■              | ■                                  | ■                                | ■    | ■                            | ■ | ■ | ■ | ■          | ■   |       |      |      |       |
| Fundição em cera perdida     |                          |                    |                | ■                                  | ■                                | ■    | ■                            | ■ | ■ | ■ | ■          | ■   |       |      |      |       |
| Fundição em coquilha         |                          |                    | ■              | ■                                  | ■                                | ■    | ■                            | ■ | ■ | ■ | ■          | ■   |       |      |      |       |
| Fundição injectada           |                          |                    | ■              | ■                                  | ■                                | ■    | ■                            | ■ | ■ | ■ | ■          | ■   |       |      |      |       |
| Estampagem a quente          |                          | ■                  | ■              | ■                                  | ■                                | ■    | ■                            | ■ | ■ | ■ | ■          | ■   |       |      |      |       |
| Extrusão a quente            |                          | ■                  | ■              | ■                                  | ■                                | ■    | ■                            | ■ | ■ | ■ | ■          | ■   |       |      |      |       |
| Extrusão a frio              |                          |                    | ■              | ■                                  | ■                                | ■    | ■                            | ■ | ■ | ■ | ■          | ■   |       |      |      |       |
| Oxicorte                     | ■                        | ■                  | ■              | ■                                  | ■                                | ■    | ■                            | ■ | ■ | ■ | ■          | ■   |       |      |      |       |
| Sinterização                 |                          |                    |                |                                    |                                  |      |                              |   |   |   |            |     | 20    |      | 20   |       |
| Fresagem com aço rápido      |                          | ■                  | ■              | ■                                  | ■                                | ■    | ■                            | ■ | ■ | ■ | ■          | ■   | 50-10 | 30   | 5-20 | 10    |
| Fres. c/ ferr. de carbonetos |                          |                    |                |                                    |                                  |      |                              |   |   |   |            |     | 20-10 | 20   |      | 10    |
| Torneamento pesado           | ■                        | ■                  | ■              | ■                                  | ■                                | ■    | ■                            | ■ | ■ | ■ | ■          | ■   |       |      |      |       |
| Torneamento fino             |                          |                    |                | ■                                  | ■                                | ■    | ■                            | ■ | ■ | ■ | ■          | ■   | 20-10 | 20   | 5-10 | 10    |
| Torn. com ferr. diamantada   |                          |                    |                |                                    |                                  |      |                              |   | ■ | ■ | ■          | ■   | 10    | 20   | 10   | 10    |
| Corte por arrombamento       |                          |                    | ■              | ■                                  | ■                                | ■    | ■                            | ■ | ■ | ■ | ■          | ■   | 200   | 100  | 100  | 100   |
| Mandrilamento                |                          |                    |                | ■                                  | ■                                | ■    | ■                            | ■ | ■ | ■ | ■          | ■   | 5     | 10   | 10   | 10    |
| Brochagem                    |                          |                    |                | ■                                  | ■                                | ■    | ■                            | ■ | ■ | ■ | ■          | ■   | 2     |      | 2    |       |
| Rectificação de produção     |                          |                    |                |                                    |                                  |      |                              |   |   |   |            |     |       |      |      |       |
| Rectificação de precisão     |                          |                    |                |                                    |                                  |      |                              |   |   |   |            |     | 1     | 1    | 2    | 2     |
| Honing                       |                          |                    |                |                                    |                                  |      |                              |   |   |   |            |     | 0.5   | 1    | 2    | 2     |
| Lapping                      |                          |                    |                |                                    |                                  |      |                              |   |   |   |            |     |       |      |      |       |
| Polimento mecânico           |                          |                    |                |                                    |                                  |      |                              |   |   |   |            |     |       |      |      |       |
| Polimento electroliítico     |                          |                    |                |                                    |                                  |      |                              |   |   |   |            |     |       |      |      |       |
| Super acabamento             |                          |                    |                |                                    |                                  |      |                              |   |   |   |            |     | 0.5   | 1    | 5    | 2     |
| Maquinagem electroliítica    |                          |                    |                |                                    |                                  |      |                              |   |   |   |            |     |       |      |      |       |
|                              |                          | Valores económicos |                |                                    |                                  |      | Valores possíveis            |   |   |   |            |     |       |      |      |       |

## BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Bagge, "An approach for systematic process planning of gear transmission parts," 2009.
- [2] "Características e Propriedades do ferro fundido, aço carbono, aço inoxidável e alumínio." [Online]. Available: <http://pt.scribd.com/doc/73676565/Caracteristicas-e-Propriedades-do-ferro-fundido-aco-carbono-aco-inoxidavel-e-aluminio#scribd>. [Accessed: 01-Sep-2015].
- [3] "Properties of Gray Cast Iron." [Online]. Available: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=ec56a89f37f74e2f867a64b0f87f1e9d&ckck=1>. [Accessed: 20-Jul-2015].
- [4] "MAZAK Integrex i-200." [Online]. Available: <https://www.mazakeu.com/machines/integrex-i-200/>. [Accessed: 05-Sep-2015].
- [5] "KERN Micro." [Online]. Available: <http://www.kern-microtechnik.com/en/machine-tool-manufacture/products/kern-micro/>. [Accessed: 03-Sep-2015].
- [6] A. Mourão, *Tolerâncias Geométricas - Interpretação, princípios e métodos de verificação*. Brochura da disciplina de Toleranciamento de Sistemas Mecânicos, FCT-UNL, 2004.
- [7] Sandvik, "Ferramentas para Torneamento," 2015. [Online]. Available: [http://sandvik.ecbook.se/SE/pt/Turning\\_Tools\\_2015/](http://sandvik.ecbook.se/SE/pt/Turning_Tools_2015/). [Accessed: 01-Aug-2015].
- [8] Sandvik, "Ferramentas Rotativas," 2015. [Online]. Available: [http://sandvik.ecbook.se/SE/pt/Rotating\\_Tools\\_2015/](http://sandvik.ecbook.se/SE/pt/Rotating_Tools_2015/). [Accessed: 01-Aug-2015].
- [9] J.-P. Cordebois, *Fabrication par Usinage*, 2<sup>a</sup> Edição. Paris: DUNOD, 2003.
- [10] "Metric ISO-thread DIN 13 - Nominal Values." [Online]. Available: [http://www.scholz-mechanik.de/servicedocs/GB233\\_Machine\\_Elements.pdf](http://www.scholz-mechanik.de/servicedocs/GB233_Machine_Elements.pdf). [Accessed: 01-Sep-2015].
- [11] A. Mourão, *Noções de acabamentos superficiais e de tolerâncias dimensionais*. Brochura da disciplina de Toleranciamento de Sistemas Mecânicos, FCT-UNL, 2010.