



**Instituto Politécnico de Coimbra**

**Instituto Superior de Engenharia de Coimbra**

# **Processo Produtivo de Matrizes Para Extrusão de Ligas de Alumínio**

Relatório de Estágio Para Obtenção do Grau De Mestre Em  
Engenharia Mecânica

Luís Carlos Esteves Da Silva

COIMBRA, Maio 2018





**Instituto Politécnico de Coimbra**

**Instituto Superior de Engenharia de Coimbra**

# **Processo Produtivo de Matrizes Para Extrusão de Ligas de Alumínio**

Relatório de Estágio Para Obtenção do Grau De Mestre Em  
Engenharia Mecânica Especialização em Construção e Manutenção  
de Equipamentos Mecânicos

*Autor:*

*Luis Carlos Esteves da Silva*

*Orientador:*

*Doutor Luís Filipe Pires Borrego, Professor Coordenador, ISEC*

*Supervisor:*

*José Fernando Macedo Pereira, ALUPORT*

COIMBRA, Maio 2018



## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a ALUPORT e a todos os seus colaboradores, pela disponibilidade demonstrada na inclusão nos seus processos de fabrico e todos os ensinamentos, a nível pessoal, profissional e técnico.

Ao Sr. José Fernando Macedo Pereira, Diretor geral da ALUPORT, pela oportunidade de realizar este estágio na ALUPORT.

Ao Prof. Doutor Luís Borrego pela disponibilidade e orientação efetuado na realização deste trabalho.

Aos meus pais, por todo o apoio que sempre me prestaram e sacrifício que por mim fizeram.

À minha namorada que me apoiou na elaboração deste trabalho.



# Resumo

No âmbito do Mestrado em Engenharia Mecânica, na área de especialização em Construção e Manutenção de Equipamentos Mecânicos do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, realizou-se um estágio na ALUPOINT. Esta dedica-se ao desenvolvimento e produção de projetos, nomeadamente de matrizes e acessórios para empresas extrusoras de ligas de alumínio. A ALUPOINT é ainda detentora de mais três empresas, a TORMACO, HAERTHA e TRATADIE.

O estágio tem como objetivo incorporar o aluno nos processos de produção da empresa com a inclusão, do mesmo, em alguns deles, possibilitando o contacto com diversos tipos de equipamentos mecânicos e processos tecnológicos, sendo possível aplicar conhecimento adquiridos durante o percurso académico e desenvolver as suas capacidades e adquirir novas competências.

As tarefas realizadas durante o estágio incidiram principalmente em:

- Maquinação com recurso a máquinas CNC.
- Formação no software CAD/CAM Mastercam 2017.
- Participação em análises metalográficas e medição de microdurezas na HAERTHA, empresa de tratamentos térmicos.

**Palavras chave:** Matrizes, Maquinação com máquinas CNC, Mastercam, Metalografia.



# Abstract

Within the Master in Mechanical Engineering, specializing in construction and maintenance of mechanical equipment of Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, an internship was carried out at ALUPORT. This company is dedicated to the development and production of projects, more specifically, dies and accessories for aluminium extrusion companies. ALUPORT also owns three other companies, namely TORMACO, HAERTHA and TRATADIE.

The internship aimed to incorporate the student into the company's production processes with his inclusion in some of the company processes, making possible the contact with several types of mechanical equipment and technological processes, applying the knowledge acquired during the academic course and develop new skills.

The tasks performed during the internship were mainly in:

- Machining using CNC machines.
- Training in CAD/CAM Mastercam 2017 software
- Participation in metallographic analysis and microhardness at HAERTHA, a thermal treatment company.

**Keywords:** Dies, Machining with CNC machines, Mastercam, Metallography.



# Índice

<b>Índice de Figuras</b>	<b>xiii</b>
<b>Índice de Tabelas</b>	<b>xv</b>
<b>Abreviaturas</b>	<b>xvi</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Plano De Trabalho	1
1.2 Estrutura do Relatório	2
<b>2 Matrizes de Extrusão de Ligas de Alumínio</b>	<b>4</b>
2.1 Extrusão de Ligas de Alumínio	4
2.2 Introdução as Matrizes	5
2.2.1 Matrizes Solidas	6
2.2.2 Matrizes Semi-Tubulares (Semihollow)	6
2.2.3 Matrizes Tubulares	7
2.2.4 Placa de Alimentação (Feeder Plate)	7
2.2.5 Acessórios Para a Extrusão de Ligas de Alumínio	8
2.2.6 <i>Bearing</i>	8
<b>3 ALUPOINT</b>	<b>10</b>
<b>4 Fluxo de Produção da ALUPOINT</b>	<b>12</b>
<b>5 Tarefas Realizadas ao Longo do Estágio</b>	<b>24</b>
5.1 Acolhimento e Formação de Âmbito Geral	24
5.2 Trabalho com CNC	25
5.3 Formação Mastercam 2017	33
5.3.1 Realização de um programa, no Mastercam 2017	39
5.4 Análise metalográfica e Medição de Microdureza	41

5.4.1	Introdução	41
5.4.2	Etapas de Preparação para Análise Metalográfica	44
<b>6</b>	<b>Conclusões</b>	<b>53</b>
	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>54</b>
	<b>Anexos</b>	<b>55</b>
<b>1.</b>	<b>Ficha de Identificação de Equipamento N°159</b>	<b>55</b>
<b>2.</b>	<b>Funções específicas de emergência 2016</b>	<b>57</b>
<b>3.</b>	<b>Elaboração do Provete</b>	<b>60</b>
<b>4.</b>	<b>Corte</b>	<b>61</b>
<b>5.</b>	<b>Montagem</b>	<b>62</b>
<b>6.</b>	<b>Polimento e Desbaste</b>	<b>63</b>
<b>7.</b>	<b>Ataque Químico</b>	<b>64</b>
<b>8.</b>	<b>Observação Metalográfica</b>	<b>65</b>
<b>9.</b>	<b>Análise de Microdureza</b>	<b>66</b>
<b>10.</b>	<b>Ficha de Programas para Matrizes Tubulares</b>	<b>68</b>
<b>11.</b>	<b>Desenho de uma Matriz</b>	<b>69</b>

## Índice de Figuras

Figura 1 - Elementos Principais no Processo de extrusão de Alumínio .....	5
Figura 2 - Exemplo de um perfil que pode ser obtido com uma matriz solida.....	6
Figura 3 - Imagem do lado esquerdo uma matriz solida de quatro cavidades e a imagem do lado direito um perfil típico de uma matriz Semi-tubulare.....	6
Figura 4 - Representação esquemática de uma matriz tubular em corte e seu funcionamento .	7
Figura 5 - Representação esquemática de dois tipos de placa de alimentação (Feeder Plate) .	7
Figura 6 - Um conjunto de ferramentas normalmente utilizado numa matriz.....	8
Figura 7 - Matriz tubular vista em corte .....	9
Figura 8 - Perfil de alumínio danificado .....	9
Figura 9 - Mapa com a representação dos países para os quais a ALUPOINT exporta .....	10
Figura 10 - Interior das instalações da HAERTHA .....	11
Figura 11 - Etapas do processo produtivo de uma matriz .....	12
Figura 12 - Processo de desenho de um projecto, no estirador .....	13
Figura 13 - Local onde é cortado o material.....	14
Figura 14 - Discos de aço cortados na serra .....	14
Figura 15 - Torno CNC Cyclone .....	15
Figura 16 - Interior do torno .....	15
Figura 17- Macho desbastado, lado de entrada do alumínio .....	16
Figura 18 - Placa desbastada.....	16
Figura 19 - Fresadora convencional com a cabeça rodada .....	17
Figura 20 - Espaço onde é realizada a fresagem convencional .....	17
Figura 21 - Eléctrodos de grafite utilizados electroerosão por penetração.....	17
Figura 22 - Princípio de funcionamento da electroerosão por penetração .....	17
Figura 23 - Espaço onde é realizado a furação, marcações e roscagem dos furos .....	18
Figura 24 - Macho a ser rectificad.....	19
Figura 25 - Placa depois de ser rectificad, com referencia dos pontos a rectificar .....	19
Figura 26 - Placa na electroerosão de fio.....	20
Figura 27 - Perfil em que está destacado os locais onde é necessário cuore .....	20
Figura 28 - Exemplo de um perfil que pode ser obtido por uma matriz tubular .....	20
Figura 29 - Exemplo de um perfil que pode ser obtido por uma matriz tubular .....	21
Figura 30 - Processo de electroerosão por penetração do castelo de um macho .....	21
Figura 31 - Exemplo de um castelo onde é destacado os rasgos executados nele .....	21
Figura 32 - Rectificadora com mó de diamante.....	22
Figura 33 - Bancada onde os bearings são limados .....	22
Figura 34 - Matrizes montadas, prontas a embalar e enviar para o cliente .....	22
Figura 35 - Painel de controlo de uma fresadora CNC, "FANUC g-tech 31i".....	26
Figura 36 - Ciclo de furação "G83" .....	29

Figura 37 - Linha graminhada no macho para destroce, e a indicação do "top" pela letra "T" .....	30
Figura 38 - Coordenadas de trabalho "FANUC g-tech 31i".....	31
Figura 39 - Esquema de medição do comprimento das ferramentas .....	31
Figura 40 - Painel de offset da máquina FANUC g-tech 31i .....	32
Figura 41 - Ficha de programas para maquinar, programas bocas lado de alimentação .....	32
Figura 42 - Estratégia de corte Dynamic Motion .....	34
Figura 43 - Comparação entre o corte tradicional e o Radial Chip Thinning .....	35
Figura 44 - Radial Chip Thinning com estratégias tradicionais .....	36
Figura 45 - Comparação entre uma geometria que pode ser maquinada com estratégias 2D, e outra que necessita de outro tipo de estratégia para a maquinar. ....	36
Figura 46 - Painel de Estratégias de maquinação 2D disponíveis no Mastercam 2017 .....	37
Figura 47 - Três paços na maquinação de uma superfície curva .....	38
Figura 48 - Painel de estratégias de maquinação 3D disponíveis no Mastercam 2017 .....	38
Figura 49 - Geometria a maquinar. ....	39
Figura 50 - Lista de estratégias de maquinação utilizadas para maquinar a geometria .....	39
Figura 51 - Painel onde se activa a opção "Rest material" .....	40
Figura 52 - Ilustração esquemática do processo de nitruração .....	41
Figura 53 - Microestrutura da camada nitrurada de um aço carbono, e seu perfil de dureza. ....	42
Figura 54 - Configuração da camada nitrurada. ....	42
Figura 55 - Fluxograma simplificado de análise metalográfica. ....	43
Figura 56 - Indentação ampliada. ....	43
Figura 57 - Representação esquemática do indentador e da imagem da indentação deixada no material. ....	43
Figura 58 - Esquema da imagem obtida do microdurómetro .....	44
Figura 59 - Cut-off presente no laboratório de metalografia da HAERTHA (C250S hitech). ....	45
Figura 60 - Prensa para provetes (EP15 hitech) .....	46
Figura 61 - Estrutura diamante monocristalino vs estrutura diamante policristalino. ....	46
Figura 62 - "Forcipol 200 1V" .....	47
Figura 63 - (a) Esquema de secção de um limite de grão (b) fotografia da uma superfície polida e atacada.....	49
Figura 64 - Indentações realizadas para medir a dureza da camada de nitruração (Ampliada 200x) .....	50
Figura 65 - Nitruração, material 1.2344, provete 1 (ampliação 200x).....	50
Figura 66 - Perfil de microdurezas da nitruração, provete 1 .....	51
Figura 67 - Nitruração, material 1.2344, provete 2 (ampliação 200x) .....	51
Figura 68 - Perfil de microdurezas da nitruração, provete 2 .....	52

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Cronograma do Plano de Estagio	2
Tabela 2 - Instruções De Segurança - CNC	24
Tabela 3 - Endereços utilizados para armazenar variáveis e parâmetros	27
Tabela 4 - Códigos "G" Mais utilizados nos programas executados na ALUपोर्ट	27
Tabela 5 - Códigos "M" Mais utilizados nos programas executados na ALUपोर्ट	28
Tabela 6 - Calculo Fz, com Hm=0.06; Dc=16	35
Tabela 7 - Tabela de perfil de dureza da nitruração, provete 1	50
Tabela 8 - Tabela de perfil de dureza da nitruração, provete 2	51

## **Abreviaturas**

CNC- Computer Numeric Control

CAD- Computer-aided design

CAM- Computer-aided manufacturing

ISO- International Organization for Standardization

OHSAS- Occupational Health and Safety Assessment Services

TT- Tratamento Térmico

RPM- Rotações por minuto

2D,3D – Duas e três dimensões respectivamente

CW – Sentido horário

CCW – Sentido anti-horário

## **Letras e símbolos**

$F_z$  Avanço por dente (mm/dente)

$V_c$  Velocidade de corte (m/min)

$V_f$  Velocidade de corte (mm/min)

$A_e$  Incremento lateral (mm)

$A_p$  Profundidade de corte (mm)

$H_m$  Espessura de corte (mm)

$D_c$  Diâmetro de corte (mm)

$Z_n$  Número de dentes (mm)

$n$  Rotação do eixo árvore (rpm)

# 1 Introdução

No âmbito do Mestrado em Engenharia Mecânica, com especialização em Construção e Manutenção de Equipamentos Mecânicos, do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, em que o ciclo de estudo conducente ao grau de Mestre integra duas fases, um curso de especialização constituído por um conjunto organizado de unidades curriculares, e pela escolha do aluno de uma das três opções seguintes: uma dissertação de natureza científica, um trabalho de projeto original ou um estágio de natureza profissional, objeto de relatório final.

O estágio de natureza profissional permite um intercâmbio entre as escolas e as empresas tendo inúmeras vantagens para empresa e estagiário, nomeadamente, o desenvolvimento das empresas, um melhor ajustamento do que é a oferta e procura de emprego, o desenvolvimento e consolidação das competências técnicas e sociais do estagiário e o aumento da competitividade da empresa com a implementação de jovens finalistas com novas ideias e conhecimentos.

Tendo em conta as vantagens de um estágio de natureza profissional, na realização da segunda fase do ciclo de estudo, optou-se pela realização de um estágio nas instalações da empresa ALUPORT tendo como objetivo a integração nas atividades da mesma, proporcionando o desenvolvimento de competências técnicas e profissionais.

A ALUPORT é uma organização que se dedica ao desenvolvimento de projetos de produção de matrizes e acessórios para empresas extrusoras de ligas de alumínio e á produção dos mesmos. Com grande importância no mercado nacional, é uma empresa que exporta para mais de dez países, entre eles França, Reino Unido, Brasil, Argentina, Israel, Espanha...

A produção de matrizes para extrusão de ligas de alumínio, não é o tipo de produção em serie, mas sim, quase de protótipo, sendo um processo complexo que necessita de elevado Know-how, adquirido ao longo de vários anos de experiência. Existindo a possibilidade de repetir a produção de matrizes a pedido do cliente.

## 1.1 Plano De Trabalho

De acordo com a disponibilidade, necessidades da empresa ALUPORT e interesses do estagiário, foram definidas as seguintes fases para o plano de estágio, tendo em conta um volume total de 1560 horas de trabalho:

**Fase 1:** Acolhimento e formação de âmbito geral.

**Fase 2:** Formação em equipamentos específicos.

**Fase 3:** Participação nos processos de fabrico.

**Fase 4:** Elaboração do relatório final.

O cronograma presente na Tabela 1, mostra-nos a distribuição temporal das fases constituintes do plano de estágio.

**Tabela 1 - Cronograma do Plano de Estagio**

Mês	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
Nºhoras	72	176	176	210	210	210	210	210	86
Fase 1	■								
Fase 2		■	■			■	■		
Fase 3			■	■	■		■	■	
Fase 4				■	■	■	■	■	■

## 1.2 Estrutura do Relatório

O presente relatório encontra-se dividido em 6 capítulos diferentes.

O atual capítulo (Capítulo 1) pretende apresentar o fundamento deste trabalho, apresentando genericamente o plano de trabalho realizado e ainda a estrutura do presente relatório de estágio.

No capítulo 2 faz-se uma breve introdução do processo de extrusão de ligas de alumínio, com a explicação do que são matrizes de extrusão de ligas de alumínio e ainda a descrição de alguns acessórios importantes para o mesmo. Fazendo assim o enquadramento destes produtos.

No capítulo 3 é feita apresentação da ALUPORT, explicando a sua História e produtos produzidos por ela. É ainda feita, do mesmo modo, a apresentação de uma das empresas pertencentes à ALUPORT, a HAERTHA.

No capítulo 4 descrevem-se os processos de fabrico e o fluxo de produção da ALUPORT.

No capítulo 5 são descritas as principais tarefas realizadas ao longo do estágio, bem como alguns fundamentos teóricos importantes para a sua realização.

No capítulo 6 são apresentadas as conclusões gerais do trabalho realizado, bem como algumas sugestões de possíveis melhoramentos.

É importante referir, que a descrição de todo o processo de fabrico, bem como alguns parâmetros dele, não são do conhecimento geral, sendo todo o processo descrito apenas com a profundidade necessária para a compreensão deste trabalho.

## 2 Matrizes de Extrusão de Ligas de Alumínio

### 2.1 Extrusão de Ligas de Alumínio

Na indústria existem inúmeros processos de transformação sendo os processos de fabrico que envolvem alteração de forma da matéria-prima os mais significativos, que podem ser descritos através de três grupos de processos.

- Processos de Enformação são processos através dos quais a forma final é obtida por deformação plástica ou fusão e solidificação num molde.
- Processo de corte em que a forma final é obtida através de remoção de material
- Processos de ligação são processos em que a forma final é obtida através da adição de material.

Os processos de enformação, podem ser divididos em dois grupos, os de deformação plástica onde o material é trabalhado no estado solido, atingindo a forma final pela deformação plástica e a fundição onde o material no estado de fusão é inserido num molde.

Os processos de deformação plástica podem ser:

- Forjamento
- Laminagem
- Trefilagem
- Extrusão

A extrusão é um processo mecânico de produção de forma continua em que o material é submetido a pressões elevadas, sendo forçado a passar por uma matriz de modo a adquirir assim a forma pré-determinada pelo perfil da matriz, projetado para a peça. Os produtos extrudidos têm secção transversal contante com dimensões bastante precisas.

Os principais fatores que influenciam a qualidade e a produtividade na extrusão de Ligas de alumínio são:

- Temperatura
- **Matriz**
- Liga de alumínio
- Velocidade de extrusão
- Arrefecimento
- Alinhamento
- Processo/ Pessoas

## 2.2 Introdução as Matrizes

Existem três tipos básicos de matrizes de extrusão, matrizes sólidas, matrizes semi-tubulares (Semihollow) e matrizes tubulares.

As matrizes de extrusão são essencialmente discos de aço circulares que podem conter um ou mais orifícios do perfil desejado, normalmente são construídas de aço ligado, ou de aço ferramenta e tratadas termicamente para a condição desejada.

Numa operação de extrusão geralmente, a matriz é inserida na prensa de extrusão juntamente com vários acessórios de suporte, também construídos de aço endurecido, nomeadamente, *backer*, *bolster* e placa de alimentação, estes proporcionam suporte para a matriz durante o processo de extrusão e contribuem para melhorar o controlo de tolerâncias e velocidade de extrusão.

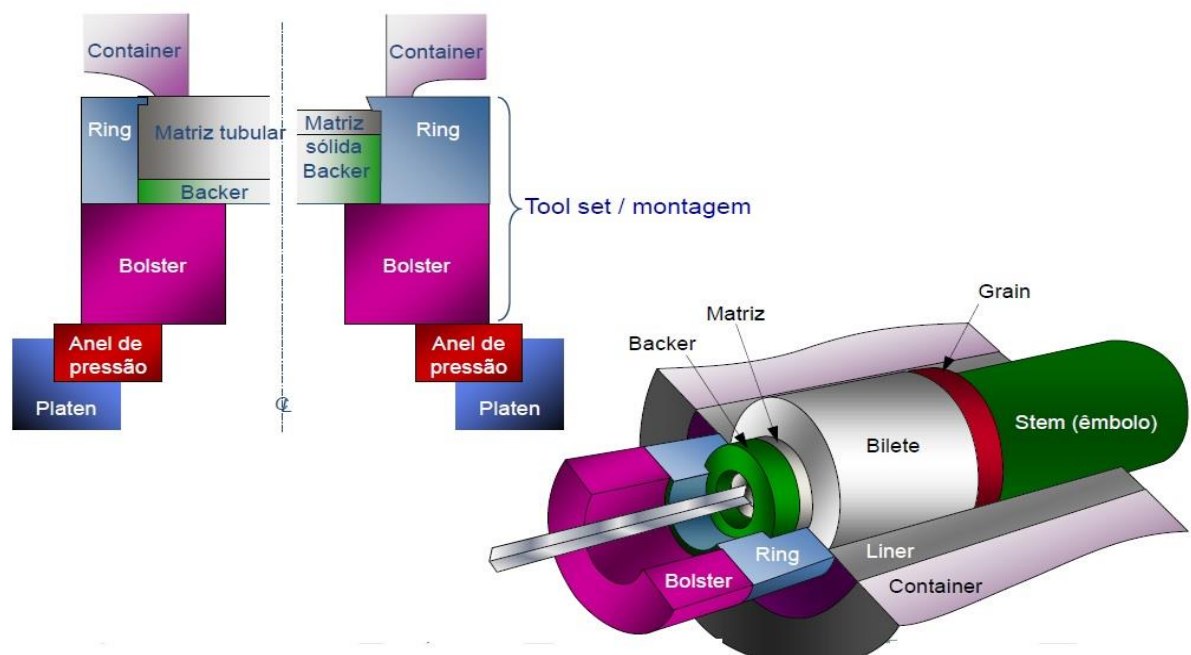


Figura 1 - Elementos Principais no Processo de extrusão de ligas de Alumínio

### 2.2.1 Matrizes Solidas

As Matrizes Solidas são usadas para fabricar todo o tipo de perfis que não contenham secções ocas como o perfil ilustrado Figura 2 . A abertura de uma matriz solida, tem a mesma geometria que o perfil que se queira extrudir. Com recurso a uma matriz solida é possível obter inúmeros perfis de geometrias diferentes



Figura 2 - Exemplo de um perfil que pode ser obtido com uma matriz solida

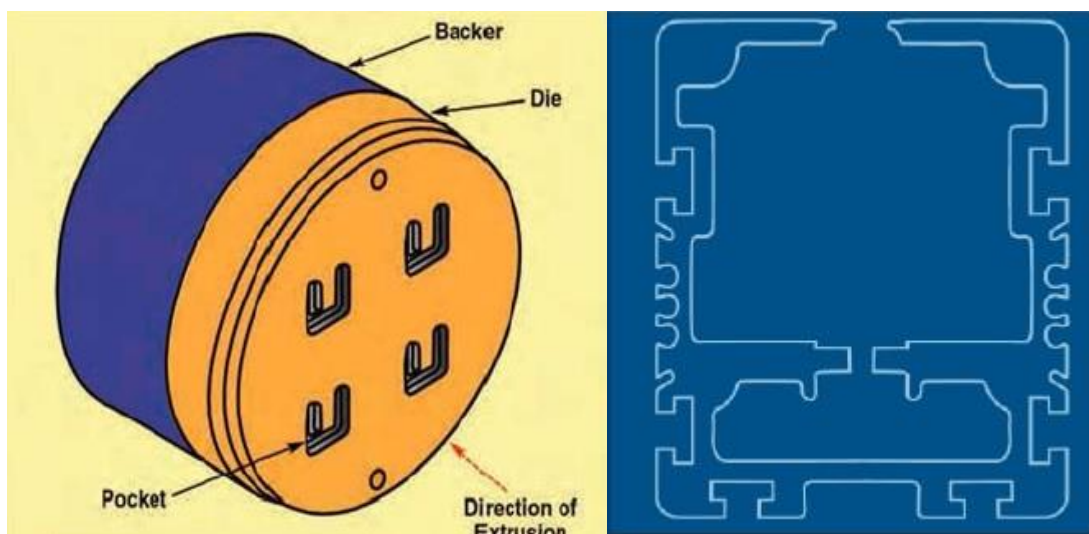


Figura 3 - Imagem do lado esquerdo uma matriz solida de quatro cavidades e a imagem do lado direito um perfil típico de uma matriz Semi-tubulare

### 2.2.2 Matrizes Semi-Tubulares (Semihollow)

As matrizes semi-tubulares servem para obter perfis que, pela sua geometria seriam extrudidos por uma matriz solida, mas devido á sua complexidade, necessita de uma matriz mais forte.

Na Figura 3 é possível observar um perfil típico que precisa de uma matriz semi-tubulare.

Este tipo de matrizes são tipos de híbridos de matrizes tubulares e sólidas.

### 2.2.3 Matrizes Tubulares

As matrizes tubulares são usadas para produzir perfis que tenham uma ou mais secções ocas totalmente fechadas, sendo que para tal ser possível a matriz tem de ser constituída por dois componentes: uma placa e um macho, como é possível verificar na Figura 4, assim sendo o macho confere as características internas do perfil na zona oca, enquanto que a placa confere as características externas do perfil.

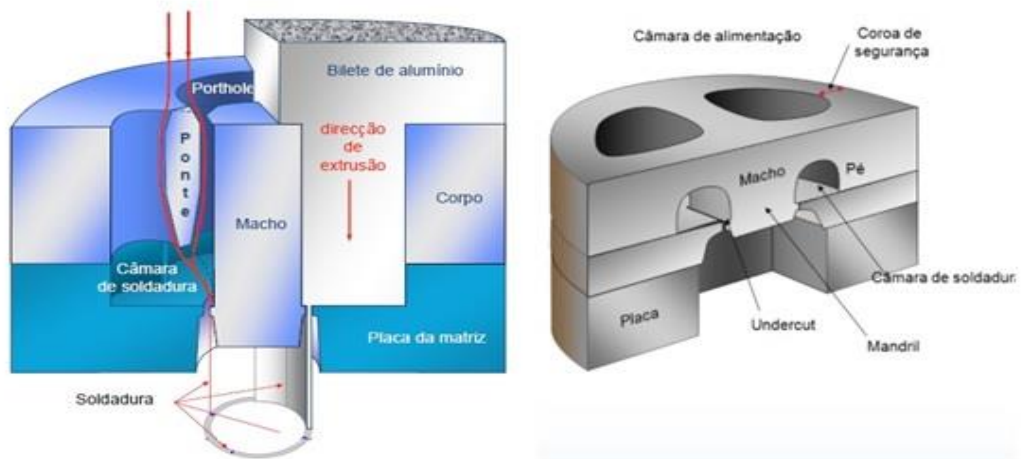


Figura 4 - Representação esquemática de uma matriz tubular em corte e seu funcionamento

### 2.2.4 Placa de Alimentação (Feeder Plate)

As placas de alimentação podem ser utilizadas de diferentes maneiras consoante, as necessidades e respectiva construção da matriz, podendo ser a placa utilizada para controlar um perfil, que requer tolerâncias dimensionais especiais como é possível verificar na Figura 5 /1, também podendo ser utilizada com o intuito de espalhar a liga do alumínio para uma zona necessária quando o círculo de um perfil é maior que o diâmetro do tarugo, como se pode verificar na Figura 5 /2.

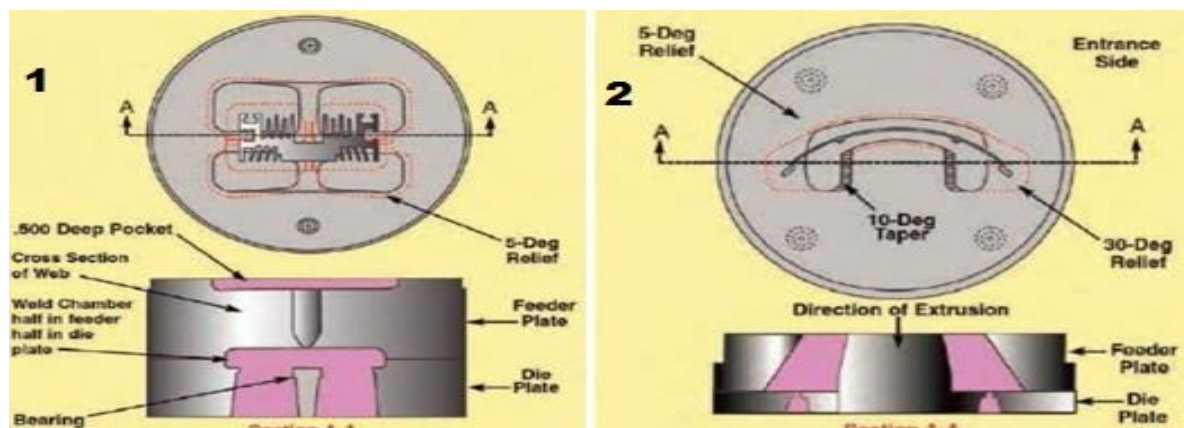


Figura 5 - Representação esquemática de dois tipos de placa de alimentação (Feeder Plate)

## 2.2.5 Acessórios Para a Extrusão de Ligas de Alumínio

- O *Ring* é acessório necessário nas prensas de extrusão de ligas de alumínio, pois é ele que incorpora as matrizes para a extrusão, delimitando as dimensões exteriores da matriz, nomeadamente o seu diâmetro e comprimento. Uma prensa pode utilizar diferentes tipos de rings consoante o tipo de matriz pretendida.
- O *bolster* é um acessório utilizado na extrusão tendo como função, fornecer apoio á matriz. Em casos de perfis complexos pode ser necessário o dimensionamento de uma ferramenta deste tipo para fornecer suporte na zona mais frágil.
- O *backer* é um acessório de encosto e enchimento necessário para que o conjunto da matriz tenha o comprimento do porta-ferramentas da prensa do cliente, sendo que no caso de perfis mais complexos o *backer* suporta e reforça a matriz. Assim sendo uma matriz pode ter, ou não, *backer*.

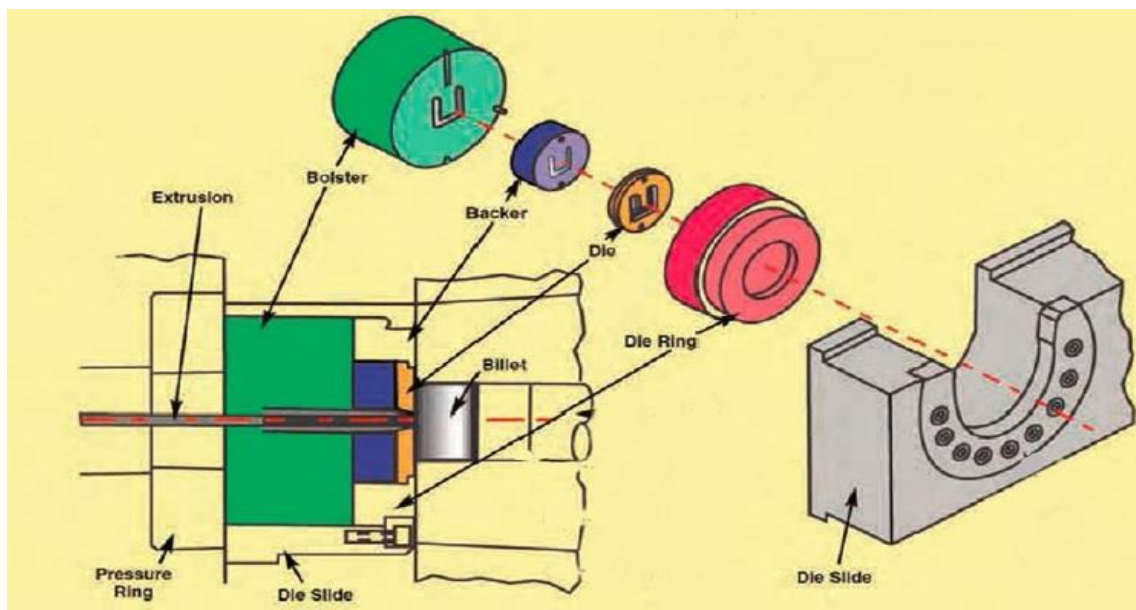
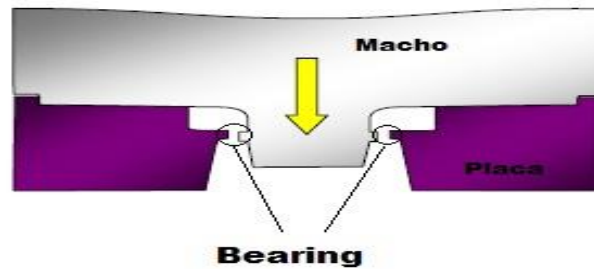


Figura 6 - Um conjunto de ferramentas normalmente utilizado numa matriz

## 2.2.6 Bearing

*Bearing* é uma parte muito importante no funcionamento de uma matriz, sendo ele que delimita a geometria do perfil, mas que também permite controlar a velocidade de extrusão. Raramente uma matriz é desenvolvida com a altura do *bearing* constante, devido à necessidade de controlar a velocidade de saída da liga de alumínio, para que ela seja contante em todos os pontos do perfil.

Na Figura 7 pode-se observar um esquema de uma matriz tubular, em que é destacado o *bearing* da placa e do macho. Sendo o *bearing* que delimita a geometria do perfil todas as placas, solidas ou tubulares, e todos os machos, têm de o ter.



**Figura 7 - Matriz tubular vista em corte**

A altura do *bearing* é influenciada por diversos factores, nomeadamente, pela geometria do perfil, pelo posicionamento em relação ao centro da matriz, e no caso das matrizes tubular também o posicionamento das bocas de alimentação do macho,

- No caso da geometria, os pontos em que a perda de carga seja mais elevada, necessitam de ser compensados com a altura do *bearing*. Nestes pontos a altura será mais baixa em relação às zonas em que a perda de carga não seja tão elevada.
- No caso do posicionamento do *bearing*, as zonas mais próximas do centro da matriz necessitam de ser maiores para compensar a maior velocidade da liga de alumínio no centro da peça.
- Nas matrizes tubulares a entrada da liga de alumínio é feita pelas bocas de alimentação do macho, com a liga de alumínio a juntar-se na câmara de soldadura (verificar na Figura 4). Nas zonas onde se encontram as bocas de alimentação o *bearing* necessita de ser maior, para compensar a maior energia da liga de alumínio nesses pontos do perfil.

O controlo da velocidade é feito com recurso à perda de carga provocada na liga de alumínio devido ao atrito no *bearing*, assim sendo quanto maior for a altura do *bearing* maior será a

perda de carga e conseqüentemente a sua velocidade diminuirá nesse ponto.



**Figura 8 - Perfil de uma liga de alumínio danificado**

Na Figura 8 é possível verificar um perfil de uma liga de alumínio que não foi extrudido correctamente devido ao *bearing* não estar bem dimensionado, fazendo com que a liga saísse mais rápido num lado do que no outro, o que provocou o empeno do perfil à saída.



- **HAERTHA**

A empresa HAERTHA foi fundada em 2006, com a necessidade de encurtar o tempo do processo produtivo da ALUPOINT, sendo possível diminuir o processo produtivo em dois dias com o seu surgimento, o que, permiti-o uma melhor resposta as necessidades dos clientes.

A capacidade produtiva instalada na HAERTHA, deve-se ao facto de estar localizada numa zona de excelência de produção de ferramentas, cunhos e cortantes e a grande procura de serviços de tratamentos térmicos por parte dessas indústrias, permite-lhe conquistar uma fatia do mercado nacional no que se refere a este tipo de prestação de serviços.

Tendo como objectivo a melhoria da qualidade dos seus processos e dos serviços já existentes, a estratégia passa pelo investimento em equipamentos tecnologicamente evoluídos e pela implementação de um sistema de gestão da qualidade segundo a norma ISO 9001:2008.

A HAERTHA é especializada em tratamentos térmicos de aços, nomeadamente a têmpera, redução de tensões, revenido, recozimento e nitruração. E para tal ser possível conta com dois fornos de têmpera com arrefecimento a gás com capacidades de 1000 e 2000 Kg, dois fornos onde é possível revenir, recozer, reduzir tensões, nitrurar e oxidar com capacidade de 2000 Kg cada e ainda duas mufas. A empresa ainda despõe de um laboratório de metalografia onde se realiza o controlo da produção.



**Figura 10 - Interior das instalações da HAERTHA**

## 4 Fluxo de Produção da ALUPORT

A produção de uma matriz é um processo complexo, por isso é necessário dispor de uma estrutura bem organizada, em que cada colaborador tenha bem definido qual o seu papel na estrutura. A ALUPORT com mais de 38 anos a produzir matrizes para extrusão de ligas de alumínio, é uma empresa que tem implementado um processo de produção bem definido, que lhe garante qualidade e rentabilidade dos seus produtos.

Na Figura 11 é possível verificar um gráfico onde está representado as etapas do processo produtivo de uma matriz na ALUPORT, quando esta é encomendada pelo cliente.

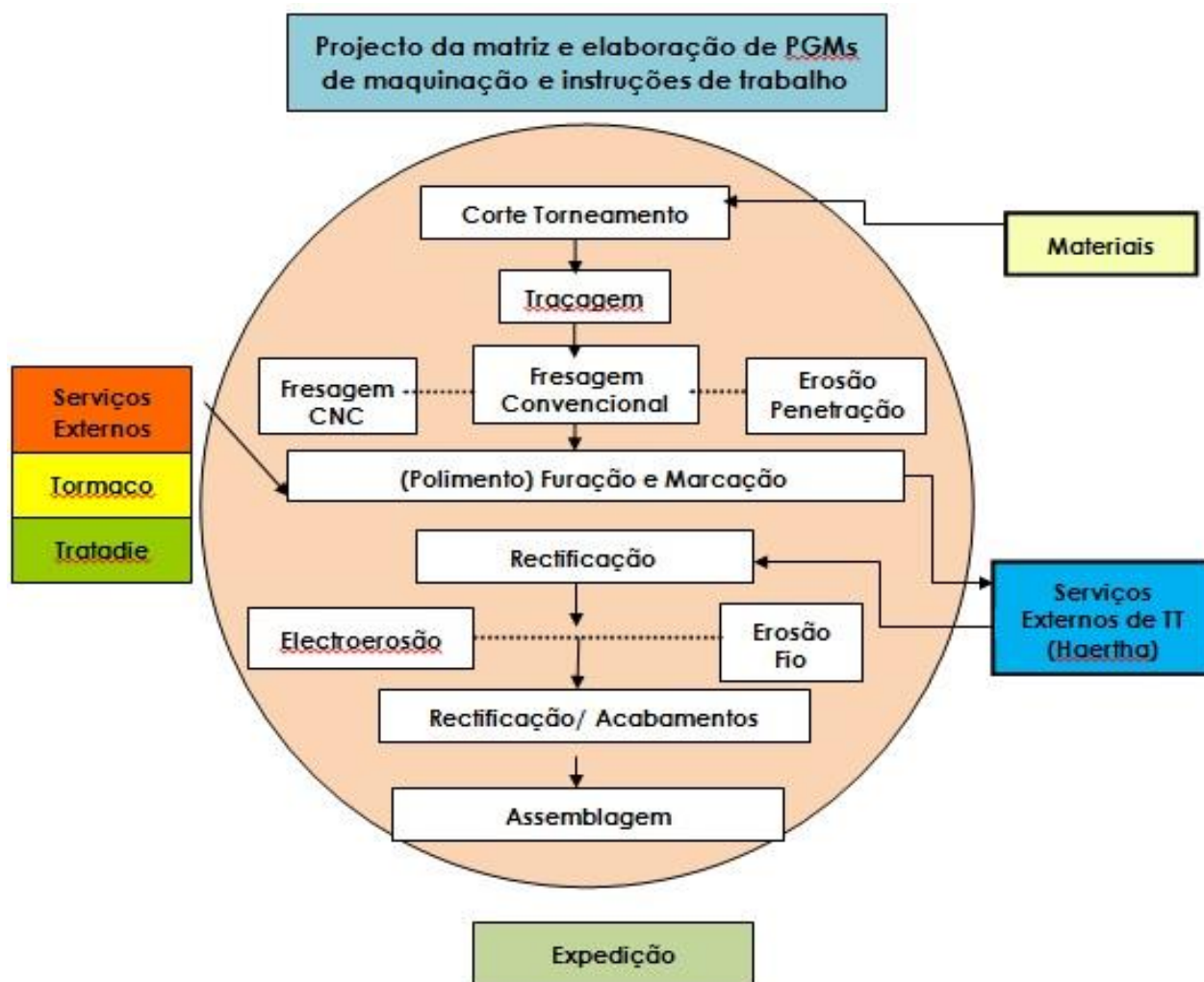
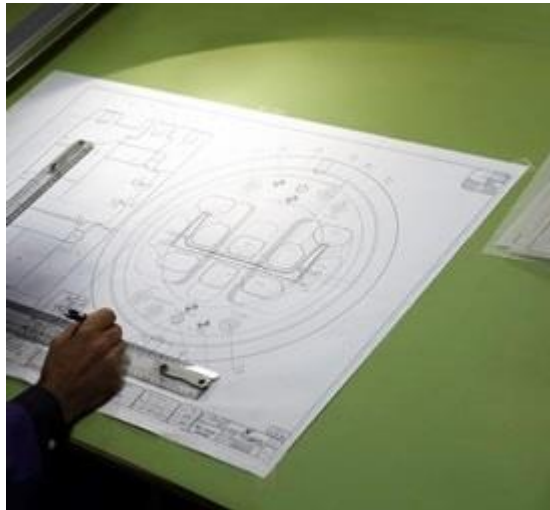


Figura 11 - Etapas do processo produtivo de uma matriz

Todo o processo de fabrico de uma matriz é iniciado com o projeto da mesma, tendo como princípio de projeto, a extrusão de um novo perfil para ligas de alumínio solicitado pelo cliente. O projeto de uma nova matriz é complexo, sendo uma das etapas mais importantes, no processo produtivo, da produção de uma matriz e a até mesmo na qualidade do produto extrudido por ela.

Devido à complexidade do processo, é necessário um elevado conhecimento e experiência no fabrico de matrizes de extrusão de ligas de alumínio.

No início o projeto era desenhado no estirador e posteriormente o modelo desenhado em AutoCAD. Atualmente a maioria dos projetos são desenhados de raiz em AutoCAD, facilitando a sua conceção e diminuindo o tempo do projeto da matriz. Há ainda correções ou matrizes com perfis mais complexos que são executados no estirador.



**Figura 12 - Processo de desenho de um projecto, no estirador**

No final do projeto estar concluído e aprovado pelo cliente, procedesse a elaboração dos programas de maquinação CNC.

Os programas CNC são criados com o apoio dos softwares CAD/CAM MastercamX4 e G.CAM. Nesta etapa do processo de produção, todos os programas necessários para posteriormente serem executados pelos operadores das máquinas são criados.

De modo a que a ocorrência de erros na programação, possível causador de uma peça não conforme, ou mesmo a danificação de equipamento, seja reduzida. Cada programador está encarregue de elaborar apenas um tipo de tarefas, de modo a permanecerem focados para evitar a ocorrência de erros em que o programador se confunde devido ao excesso de tarefas diversificadas.

Em seguida é imitada uma ficha de fabrico que acompanha cada componente de uma matriz, nomeadamente, machos, placa, *backer*, placa de alimentação..., durante todo o processo de

fabrico das mesmas. A ficha de fabrico contém uma referência ou número de fabrico, diferente em cada matriz.

A ficha de fabrico além de conter a referência de fabrico, também contém parâmetros que são preenchidos a cada etapa de produção de modo a ser possível controlar os parâmetros de produção, e a sua qualidade.

O passo seguinte é o corte das barras de aço, as barras de aço que se encontram armazenadas, já com lote atribuído na receção do material, são cortadas com um serrote automático, que se encontra representado na Figura 13. As barras são cortadas em discos, como os representados na Figura 14, com as dimensões aproximadas da peça que será maquinada posteriormente no torno. O corte das barras em discos é executado consoante a necessidade de torneiar novas peças.



Figura 13 - Local onde é cortado o material



Figura 14 - Discos de aço cortados na serra

Após cortados, os discos são torneados com recurso a um torno CNC. Neste processo é utilizado um torno vertical em detrimento de um torno horizontal devido ao elevado peso das peças torneadas. Na Figura 15 é possível observar o torno presente nas instalações da ALUPORT e o seu interior na Figura 16.

Os discos são torneados de acordo com as fichas de torno emitidas pelo gabinete técnico, dando origem as peças necessárias, nomeadamente placas, machos, *backers*...



**Figura 15 - Torno CNC Cyclone**



**Figura 16 - Interior do torno**

Após as peças requeridas pelo gabinete técnico serem torneadas, são colocadas no espaço onde elas serão graminhadas.

A entrada em produção das peças é iniciada no posto de graminhar, estas são identificadas com a referência da matriz a que pertencem. Neste processo são ainda traçadas linhas auxiliares necessárias em processos posteriores.

No final de concluir as tarefas necessárias o colaborador que as realiza, procede à distribuição das peças a maquinar, juntamente com a documentação correspondente a cada peça, deixando-as nos locais onde será executada a próxima operação.

Em seguida, realiza-se o desbaste das peças com recurso a centros de maquinação CNC. Nesta fase os operadores das máquinas, executam a maquinação das peças, de acordo com as instruções de trabalho e fichas de programas.

O desbaste das peças é uma etapa do processo com grande relevância no tempo total de produção de uma matriz, pois todas as peças necessitam de o realizar.

Sendo um processo de tal relevância a ALUPOINT conta com dez centros de maquinação CNC para a sua realização.

Após concluir o desbaste das peças, o operador deve conferir se o processo foi bem executado com a realização de medições. Necessitado ainda de preencher a ficha de fabrico com parâmetros do desbaste que iram ser precisos em operações seguintes.



**Figura 17 - Macho desbastado, lado de entrada do alumínio**



**Figura 18 - Placa desbastada**

Após o desbaste, as operações que se seguem são diferentes dependendo do tipo de peça. Se a peça for um macho, o processo seguinte é um desbaste com recurso a fresadoras convencionais.

Nas fresadoras convencionais são realizados pequenos desbastes nos machos, que não foram realizados nos centros de maquinação devido à impossibilidade de os executar, em consequência da geometria, a desbastar, conter pontos mortos, em que os 3 eixos disponíveis não são capazes de os maquinar. Mas também pequenas operações que são possíveis de serem efetuadas num período de tempo mais curto.

Por pontos mortos define-se todos os locais em que a ferramenta de corte não consegue maquinar sem que danifique outras partes da peça.

A grande vantagem das fresadoras convencionais em relação aos centros de maquinação, disponíveis na ALUPORT, é a possibilidade de movimentar 5 eixos diferentes em detrimento, de como foi referido anteriormente, nos centros de maquinação apenas ser possível movimentar 3 eixos.



Figura 19 - Fresadora convencional com a cabeça rodada



Figura 20 - Espaço onde é realizada a fresagem convencional

Em seguida os machos são submetidos a um polimento, para eliminar rebarbas, quebra dequinas vivas e ainda diminuir a rugosidade elevada em algumas faces.

Se a peça for uma placa, o processo de produção depende do tipo de perfil e *bearing*, no caso de eles serem complexos ou com pontas que não sejam possíveis de maquinar, então a placa necessita de passar por um processo de electroerosão por penetração. O eléctrodo utilizado é de grafite, cortado e maquinado com o tipo de perfil e *bearing* pretendido na placa, é possível ver exemplos de eléctrodos na Figura 21. O esquema da Figura 22 explica o princípio do funcionamento da electroerosão por penetração.

No caso das placas que contém *bearing* possível de ser maquinado, elas são levadas para a zona de furação e marcação depois de realizar a maquinação.



Figura 21 - Eléctrodos de grafite utilizados electroerosão por penetração

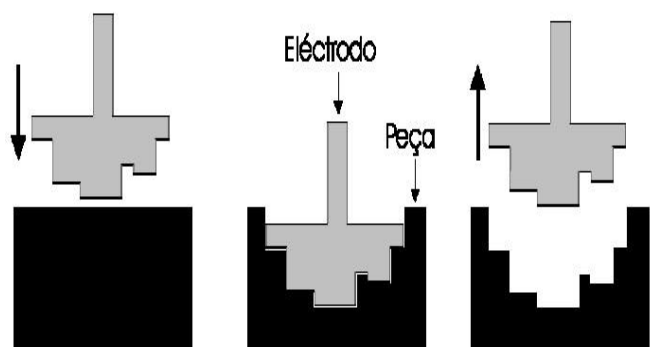


Figura 22 - Princípio de funcionamento da electroerosão por penetração

Antes das peças serem sujeitas ao tratamento térmico, elas passam pela zona de furação e marcação, neste local são realizadas furações que não foram executados na maquinação, sendo também necessário abrir rosca em alguns furos.

As peças são ainda marcadas com o tipo de aço, a referência do cliente e data. Para obter as marcações nas peças são utilizados poções de marcação.



**Figura 23 - Espaço onde é realizado a furação, marcações e roscagem dos furos**

Após o tratamento térmico de têmpera, um serviço externo realizado pela HAERTHA, a peça é retificada.

O processo pode conter duas ou três fases, dependendo do tipo de peça. No caso de a peça ser uma placa sólida ou um *backer* é apenas necessário realizar os dois primeiros passos, enquanto que se for, uma placa tubular ou um macho é necessário realizar o terceiro processo.

A primeira fase é uma pré-retificação onde se maquina as superfícies da peça para eliminar possíveis empenos provocados pelo tratamento térmico, em que se deixa uma pequena espessura que será retirada na segunda fase.

A segunda fase é a retificação das superfícies anteriormente pré-retificadas, utilizando uma retificadora plana o que permite maior precisão e melhor acabamento.

No caso dos machos, antes de ser submetido à terceira fase de retificação, voltam novamente ao polimento, mas desta vez é usada lixa para que as superfícies fiquem com baixa rugosidade o que facilita a passagem da liga de alumínio.

A terceira fase é um processo de grande precisão, muito importante para garantir que a matriz e o perfil extrudido tenha as condições exigidas pelo cliente.

Nos machos é rectificando o *bearing*, o desencache (*Undercut*) do castelo, os furos das cavilhas, o encaixe da placa e a superfície do lado do castelo (verificar na Figura 24), enquanto que na placa é necessário retificar a superfície interior, o encaixe do macho e ainda um ressalto que serve para posteriormente centrar a placa no corte de electroerosão por fio, garantindo que o corte do perfil fica concêntrico com o encaixe no macho. Na Figura 25 é possível observar uma placa depois de ser retificada em que são destacados os pontos que são retificados nesta terceira fase.

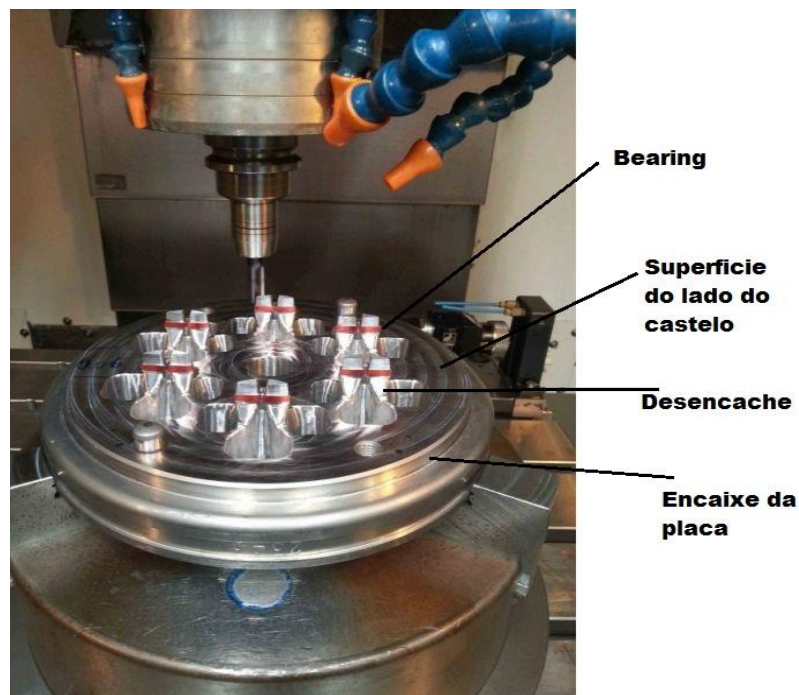


Figura 24 - Macho a ser retificado

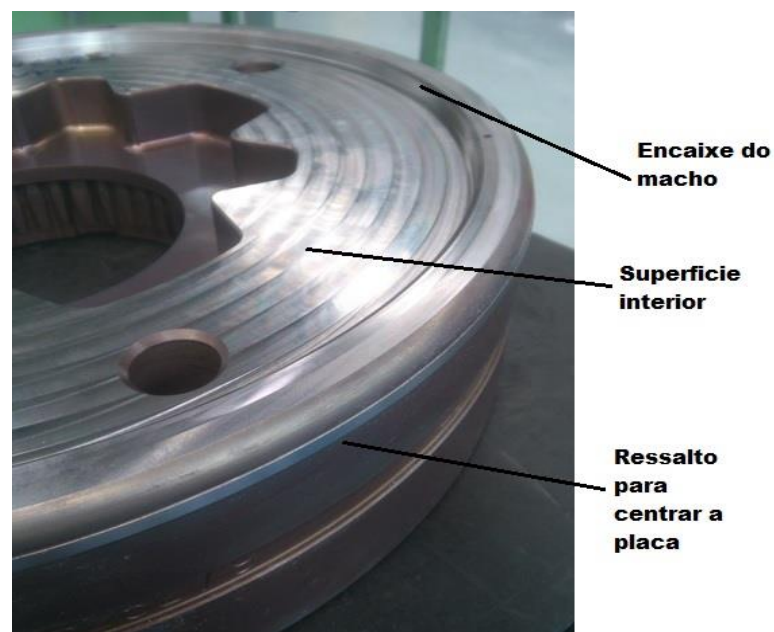


Figura 25 - Placa depois de ser retificada, com referencia dos pontos a retificar

Depois da retificação, as placas são levadas para a secção de electroerosão por fio, esta secção conta com sete máquinas, nelas são abertos os perfis, os furos das cavilhas da placa e ainda são cortados eléctrodos de cobre. Este processo permite cortar com elevada precisão e ainda conferir um bom acabamento na superfície do *bearing*.

No processo de corte do perfil é necessário em alguns casos, executar um processo nomeado por *cuore* este processo consiste em cortar uma parte da altura do *bearing* com um angulo de saída, para facilitar a saída da liga de alumínio e conferir resistência mecânica nesse local, o angulo é geralmente entre  $0.8^\circ$  e  $2^\circ$  sendo o mais utilizado  $1.5^\circ$ . O *cuore* é necessário nos locais do perfil em que a liga de alumínio encontre muita resistência á sua saída, devido à geometria, como é possível verificar no perfil da Figura 27.



Figura 26 - Placa na electroerosão de fio

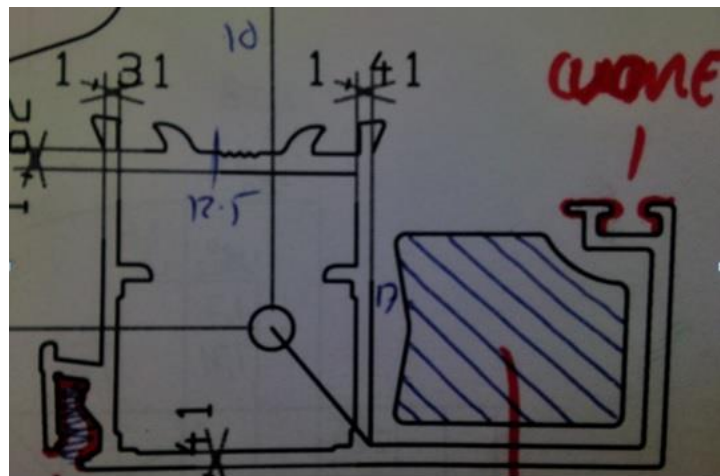


Figura 27 - Perfil em que está destacado os locais onde é necessário *cuore*

No caso dos machos, após a sua retificação a maioria necessita de realizar um processo de electroerosão por penetração, neste processo são utilizados eléctrodos de cobre cortados nas máquinas de electroerosão por fio.

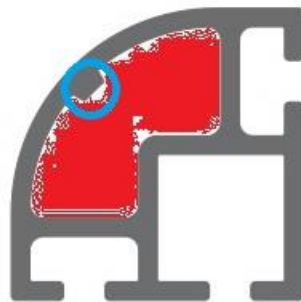


Figura 28 - Exemplo de um perfil que pode ser obtido por uma matriz tubular

Na Figura 28 está representado um exemplo, de um perfil típico que necessita de ser extrudido por uma matriz tubular. Assim sendo a matriz passa a necessitar de um macho que terá um castelo com a geometria que se encontra sombreada a vermelho na figura, nessa geometria é possível observar-se uma ranhura, que se encontra destacada por uma circunferência azul. Esta ranhura não pode ser produzida no castelo com recurso a maquinação CNC devido à mesma ter sempre associado um raio correspondente à ferramenta, recorre-se então à electroerosão por penetração para conferir a ranhura na geometria do castelo.

Outra das situações onde é necessário a utilização deste processo é nos perfis como o do exemplo da Figura 29, em que o macho necessita de vários castelos para conferir o perfil desejado, e que entre os castelos a espessura da liga de alumínio é fina, zonas destacadas na imagem, não sendo possível a maquinação dessas zonas do *bearing*, devido a não ser fiável a sua execução.

Nestas situações é ainda necessário a abertura de rasgos no castelo para que a liga de alumínio chegue a todos os pontos do perfil, os rasgos são executado por baixo do *bearing* como é possível ver na Figura 31.

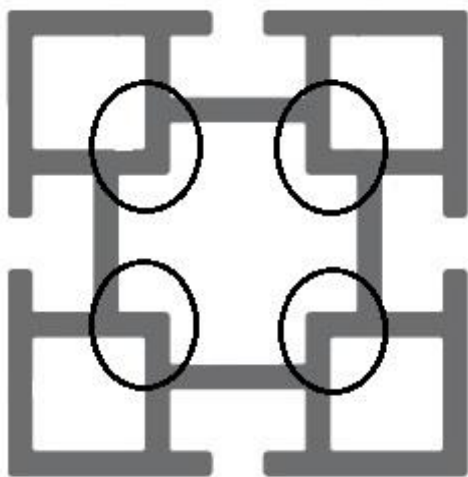


Figura 29 - Exemplo de um perfil que pode ser obtido por uma matriz tubular

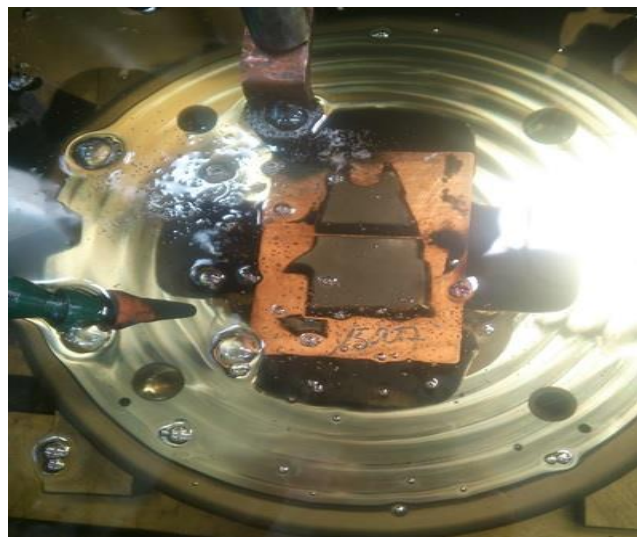


Figura 30 - Processo de electroerosão por penetração do castelo de um macho



Figura 31 - Exemplo de um castelo onde é destacado os rasgos executados nele

Após a execução dos processos de electroerosão as peças são submetidas às operações finais de rectificação e acabamento, o processo de retificação é executado com recurso a uma retificadora com mó de diamante para conferir melhor acabamento diminuindo a rugosidade.

Os *bearings* das placas e machos são limados, com recurso a limas de diamante ou lixas de grão fino, de modo a retirar pequenas imperfeições de operações anteriores. Neste processo é ainda realizada a verificações dimensionais do perfil das placas, com recurso a blocos padrão.



Figura 32 - Rectificadora com mó de diamante



Figura 33 - Bancada onde os *bearings* são limados

No

final do processo de produção das peças de uma matriz, procedesse à montagem das mesmas. Na montagem dos conjuntos placa/ macho, são verificadas as cotas das espessuras do perfil, estas são igualmente verificadas com recurso a blocos padrão.



Figura 34 - Matrizes montadas, prontas a embalar e enviar para o cliente

O tipo de produção da ALUPORT, pouco tem a ver com produção em série, mas sim, quase de protótipo. No entanto uma matriz que já tenha sido fabricada pode ser repetida a pedido do cliente. Assim sendo quando um novo tipo de matriz é pedido pelo cliente raras são as vezes que ela trabalha bem na primeira vez que extrude a liga de alumínio. O procedimento normal nestes casos é enviar a matriz para o cliente, este testa o funcionamento na prensa e caso o perfil saia danificado o cliente volta a enviar a matriz e o perfil não conforme, analisa-se a matriz juntamente com o perfil e posteriormente procedesse à correção da mesma.

## 5 Tarefas Realizadas ao Longo do Estágio

Durante o estágio realizado na empresa ALUPOINT foram propostas diversas tarefas, a grande parte delas relacionadas com a maquinação CNC e processos de tratamentos térmicos.




### 5.1 Acolhimento e Formação de Âmbito Geral









Como foi referido no subcapítulo “Plano de Trabalho” a primeira fase do estágio foi de acolhimento e formação de âmbito geral, onde me foram apresentadas as instalações da ALUPOINT bem como os colaboradores que nela trabalham.

Posteriormente e sendo a ALUPOINT uma empresa que encara a qualidade, higiene, segurança e ambiente como factores essenciais, e certificada com base nas normas ISO 9001:2008 e OHSAS 18001, foi-me fornecido pelos recursos humanos, instruções de segurança, estas mais direccionadas para a área de trabalho das CNCs, representadas na Tabela 2.

Os recursos humanos indicaram-me ainda funções específicas, e o papel de cada colaborado em caso de emergência, (Anexo 2). E ainda uma ficha de identificação de equipamento de uma máquina CNC, (Anexo1).

Tabela 2 - Instruções De Segurança - CNC

Actividades Principais / Riscos	Conselhos e Instruções de Segurança
Movimentação manual de cargas	<p>É obrigatório usar luvas  Protecção obrigatória das mãos</p> <p>É obrigatório usar botas de biqueira de aço  Protecção obrigatória dos pés</p>
Execução da operação	<p>É obrigatório usar botas de biqueira de aço  Protecção obrigatória dos pés</p> <p><b>Não esquecer:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>➤ Manter a porta fechada</li><li>➤ Respeitar os dispositivos de segurança</li></ul>

<p>Manutenção e Limpeza do posto</p>	<p>É obrigatório usar óculos de protecção </p> <p>É obrigatório usar botas de biqueira de aço </p> <p>É obrigatório usar luvas de protecção </p> <p><b>Não esquecer:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Desligar máquina e o disjuntor no quadro eléctrico central</li> <li>➤ Sinalizar a máquina e quadro eléctrico com placa</li> <li>➤ Indicando que está em manutenção</li> <li>➤ Não utilizar as pistolas de ar comprimido </li> </ul>
<p>É proibido fumar ou fumar nas instalações da empresa </p> <p>É proibido comer e beber nas áreas de trabalho </p>	
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>Ambiente</p> <p>Respeite a separação dos resíduos</p> </div>  </div>	

## 5.2 Trabalho com CNC

Depois da primeira fase de acolhimento e de me ter sido fornecida as informações importantes, de segurança no posto de trabalho, fui inserido no processo de desbaste com recurso a centros de maquinação CNC,

No decorrer do estágio mantive apenas contacto com controladores FANUC sendo que apenas duas maquinas não são controladas por estes.

Um bom operador de máquinas CNC deve ter elevados conhecimentos do funcionamento do controlador, pois é ele que controla todos os movimentos da máquina. Em muitas empresas e inclusive a ALUPORT o operador de máquina não faz os programas, sendo muito importante que o operador, tenha bons conhecimentos de programação, para que quando este está a

executar uma operação consiga perceber o que a máquina irá fazer, e ainda detectar possíveis erros de programação.

Sendo assim o início do trabalho com centros de maquinação foi o conhecimento dos princípios de funcionamento do controlador FANUC g-tech 31i, sendo que três máquinas têm esta versão FANUC, e apesar de as outras máquinas que tem controladores FANUC serem de versões diferentes, os princípios de funcionamento são os mesmos, tornando-se fácil aprender a trabalhar com outras máquinas que tenham versões diferentes.



**Figura 35 - Painel de controle de uma fresadora CNC, "FANUC g-tech 31i"**

Para operar o controlador foi-me explicado os princípios base da programação CNC, em que foi fornecido instruções codificadas utilizadas nos programas. Uma lista de códigos "G", Tabela 4, e "M", Tabela 5, onde os códigos "G" são funções preparatórias, sendo elas que definem o modo como uma determinada operação será executada, podendo ser divididas em dois grupos, o modal, onde o código "G" fica activo até que outro código "G" seja lido pela máquina e o não modal, onde esse código só fica activo no bloco em que foi programado, os comandos "M" são funções auxiliares. E ainda endereços utilizados para armazenar variáveis e parâmetros, presentes na Tabela 3.

**Tabela 3 - Endereços utilizados para armazenar variáveis e parâmetros**

<b>Endereço</b>	<b>Descrição</b>
X,Y,Z	Coordenadas de um ponto segundo os eixos x,y,z respectivamente
F	Avanço de corte (mm/min)
S	Velocidade de rotação (RPM)
T	Número da ferramenta
H	Compensação de comprimento da ferramenta
D	Compensação do raio da ferramenta

**Tabela 4 - Códigos "G" Mais utilizados nos programas executados na ALUPORT**

<b>Códigos G</b>	<b>Descrição</b>
G00	Posicionamento (avanço rápido)
G01	Avanço de trabalho, definido por "F"
G02	Interpolação circular, sentido horário
G03	Interpolação circular, sentido anti-horário
G28	Retorno ao ponto de referência
G40	Cancelamento da compensação de raio
G41	Compensação do raio da ferramenta a esquerda
G42	Compensação de raio da ferramenta, à direita
G43	Compensação de comprimento da ferramenta, sentido positivo
G54...G59	Sistema de coordenadas de trabalho (ponto zero-peça) nº1...nº6
G80	Cancelamento de ciclos armazenados
G81	Ciclo de furação normal
G82	Ciclo de furação com tempo de espera no fim do furo
G83	Ciclo de furação "pica-pau"
G90	Coordenadas absolutas
G91	Coordenadas incrementais (relativas)
G98	Retorno ao ponto inicial nos ciclos armazenados
G99	Retorno ao ponto R nos ciclos armazenados

**Tabela 5 - Códigos "M" Mais utilizados nos programas executados na ALUPORT**

<b>Códigos M</b>	<b>Descrição</b>
M00	Paragem do programa
M03	Ligar a rotação da árvore sentido horário (CW)
M05	Paragem da árvore
M06	Mudança automática da ferramenta
M08	Ligar refrigeração
M09	Desligar refrigeração
M19	Orientação da árvore
M30	Fim do programa
M98	Chamada de subprograma
M99	Fim de subprograma

Um programa de maquinação é constituído por uma sequência de blocos que contem instruções para a máquina, de seguida são mostrados exemplos de blocos e a explicação da sua funcionalidade.

- Cabeçalho típico dos programas na ALUPORT

O0010;

G90 G40;

T02 M06;

G0 G43 X0 Y0 Z50. H02 D02 S2650;

M8;

M3;

O primeiro bloco corresponde ao número do programa, o carácter que indica o número do programa é o "O", ou seja, sempre que se pretenda criar um novo programa tem-se que inserir "O" e à frente o número pretendido para o programa, neste caso é o programa 10.

O segundo pretende garantir que se vai trabalhar em coordenadas absolutas e que todas as compensações são desligadas, este bloco é importante na medida que tanto o "G91" como as compensações da ferramenta, pertencem ao grupo dos códigos "G" modais, assim sendo se o programa anteriormente executado estivesse a trabalhar em coordenada incrementais "G91" ou não tenham sido desligadas as compensações, quando este novo programa fosse executado esses parâmetros encontravam-se activos.

O terceiro vai buscar ao carrocel de armazenamento a ferramenta pretendida para a maquinação, neste exemplo era a ferramenta que se encontrava no pote 2.

O quarto tem a função de compensar a altura da ferramenta utilizada, em que o “H” corresponde ao posicionamento da compensação no offset, normalmente o numero do offset é igual ao numero da ferramenta, como acontece neste caso, mas não é obrigatório que isso aconteça, apesar de que é mais logico o numero do offset e da ferramenta ser o mesmo, existindo menos possibilidades do operador cometer erros. Mais a frente será explicado como se obtém o offset da ferramenta.

A compensação é realizada num movimento de avanço rápido pois qualquer compensação necessita de ser executada com a ferramenta em deslocação.

Os blocos cinco e seis são para ligar a refrigeração e para ligar a rotação da árvore, respetivamente, sendo a rotação da árvore inserida no bloco quatro (S2650).

- Ciclos de furação

Normalmente as furações executadas nas maquinações na ALUPORT são profundas, fazendo mais sentido a utilização do ciclo de furação “G83” “pica-pau”.

G99 G83 X... Y... Z... R... Q... F...

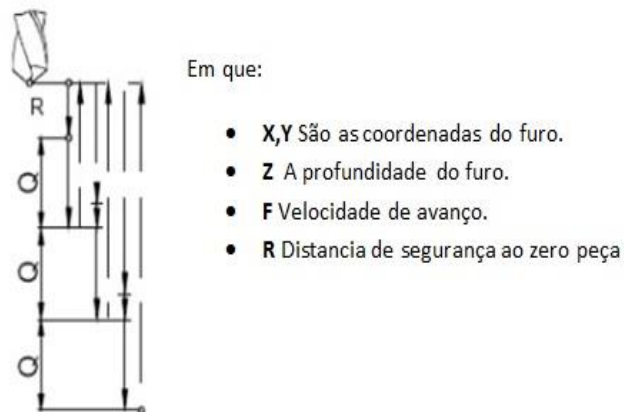


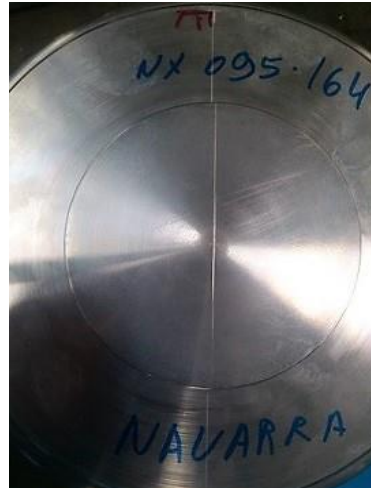
Figura 36 - Ciclo de furação "G83"

O ciclo de furação normal “G81” também é bastante utilizado nos programas, quando é necessário pontear, ou para escarear pequenos furos, o ciclo é parecido com o “G83” apenas não tem o “Q” exemplo “G99 G81 X... Y... Z... R... F...”.

Depois da pequena introdução dos princípios base de programação, foram-me explicados processos que o operador necessita de executar para realizar o desbaste da peça.

O primeiro processo que um operador faz quando coloca uma nova peça a desbastar é destorcer a peça.

Como foi referido no capítulo 4, as peças antes de irem para o local de desbastes, passa pelo espaço onde elas são graminhadas, nesta fase é marcado o “top” e graminhada uma linha que passa no centro e no “top” da peça, Como o exemplo da Figura 37



**Figura 37 - Linha graminhada no macho para destorcer, e a indicação do "top" pela letra "T"**

Sendo o primeiro desbaste da peça uma operação que não exige grande precisão, a peça é destorcida com auxílio da linha graminhada.

O processo para destorcer a peça contém os seguintes passos:

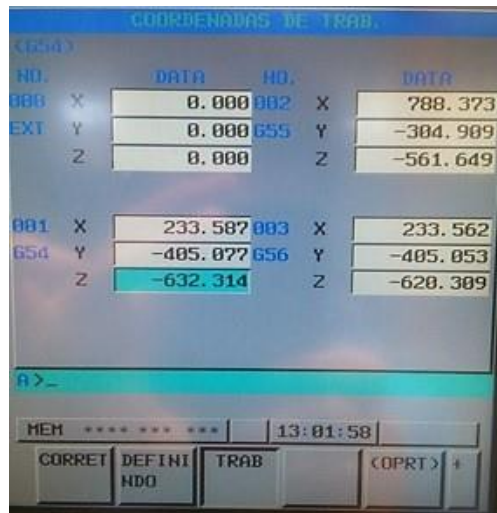
1. A peça é apertada na bucha com o “top” virado para a máquina.
2. Agarra-se um pequeno ferro ponte agudo normalmente chamado de “ponto”, com uma bucha que se coloca na árvore da máquina.
3. O “ponto” é colocado no centro da peça, e posteriormente movimentado apenas no eixo Y.
4. A peça é destorcida até o “ponto” se encontrar constantemente em cima da linha ao longo do eixo Y.

Depois de destorcer a peça, é necessário determinar o ponto zero, onde o Z0 é na face superior da peça, e o X0,Y0 no centro da peça, existindo na empresa duas formas de determinar o ponto.

A forma de determinar o ponto mais simples, rápida e precisa é a utilização de um apalpador, o apalpador tem um programa específico para determinar o ponto zero, onde é apenas necessário dar a informação no programa, do local onde é determinado o Z0, e o diâmetro da peça.

A outra forma de determinar o ponto é um pouco mais rudimentar, no qual é utilizado uma ferramenta padrão para determinar o Z0, e para determinar o X0,Y0 é utilizado um comparador.

O ponto zero nos dois processos é definido nas coordenadas de trabalho “G54”, sendo que com o apalpador os valores são alterados automaticamente, enquanto que no outro processo é necessário o operador alterar os valores do “G54” sempre que determina um novo ponto zero.



COORDENADAS DE TRAB.					
(G54)					
NO.		DATA	NO.		DATA
000	X	0.000	002	X	788.373
EXT	Y	0.000	055	Y	-304.909
	Z	0.000		Z	-561.649
001	X	233.587	003	X	233.562
G54	Y	-405.077	056	Y	-405.053
	Z	-632.314		Z	-620.309

MEM \*\*\*\* \* 13:01:58

CORRET DEFINI TRAB (OPRT) +

HDO

Figura 38 - Coordenadas de trabalho “FANUC g-tech 31i”

Outro dos processos necessários de realizar como operador, é a medição do comprimento das ferramentas. Todas as ferramentas utilizadas numa maquinação têm comprimentos diferentes, sendo necessário medir a ferramenta e informar no *offset* da máquina qual a diferença de alturas, para que ela possa compensar a ferramenta automaticamente quando solicitada.

O processo de medição de uma ferramenta é descrito nos seguintes passos.

Mover a ferramenta em manual até encostar a superfície em que foi determinado o Z0, como mostra a Figura 39.

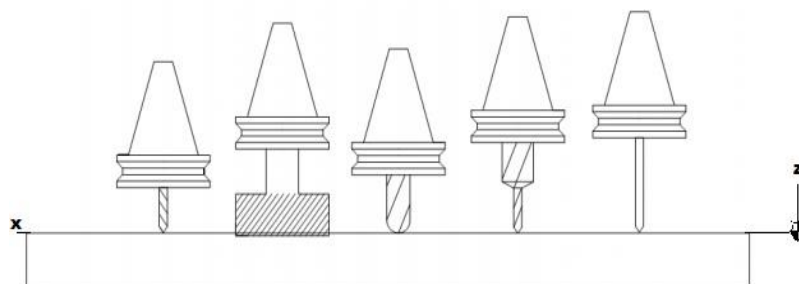


Figura 39 - Esquema de medição do comprimento das ferramentas

1. Ir ao offset da máquina (Figura 40).

NO.	COMPR. (H)		RAIO (D)	
	GEOM	DESG	GEOM	DESG
017	139.988	0.000	0.000	0.000
018	137.268	-0.050	-0.300	0.000
019	226.488	0.000	0.000	0.000
020	84.043	-0.020	0.000	0.000
021	200.000	0.000	0.000	0.000
022	145.508	0.000	0.000	0.000
023	124.303	0.000	0.000	0.000
024	0.000	0.000	0.000	0.000
025	154.903	0.000	0.000	0.000
026	0.000	0.000	0.000	0.000
027	0.000	0.000	0.000	0.000
028	172.059	100.000	0.000	0.000
029	94.061	53.250	0.000	0.000
030	0.000	0.000	0.000	0.000

Figura 40 - Painel de offset da maquina FANUC g-tech 31i

2. Ir ao número da ferramenta que se está a medir.
3. Inserir a posição actual do eixo.

Na empresa todos os programas são criados com a compensação da ferramenta feita no programa CAM, assim sendo não é necessário informar a máquina do raio da ferramenta, apenas são realizados alguns ajustes devido a desgastes da ferramenta.

- **Ficha de Programas**

Para cada referência ou número de fabrico, existe uma ficha de programas, a ficha de programas contém todos os programas utilizados nos centros de maquinação. Cada programa de maquinação é gravado com o numero da ficha de programas e referência predefinida para cada tipo de operação (Figura 41), (Anexo10).

BOCAS LADO ALIMENTAÇÃO	Obs./Ferramentas	Rubrica
123 126 625		
123 126 626		
123 126 309	Retalho 10mm	<i>dm</i>
129 126 455	M99 78 φ12	<i>J</i>
123 126 627	T20 20B2	
123 126 628		<i>dm</i>

Figura 41 - Ficha de programas para maquinação, programas bocas lado de alimentação

Como foi dito anteriormente para cada tipo de operação existe uma referência predefinida, de seguida serão apresentadas referências correspondentes a operações de desbaste de um macho, lado de entrada da liga de alumínio.

- 625 – Programa de furação realizado para facilitar a saída da apara, no desbaste das bocas do macho.
- 626 – Programa de desbaste das bocas do macho.
- 309 – Programa para realizar um rebaixe no meio das bocas.
- 455 – Este programa realiza rampas no rebaixe anterior.
- 627 – Programa de afiamento das bocas.
- 628 - Programa para chambrar as arestas provenientes das maquinações anteriores
- 630 – Programa para realizar pequenos rebaixe, onde serão realizadas marcações.

Nota: na Figura 17 é possível ver um macho no final de realizar todas as maquinações referidas.

### 5.3 Formação Mastercam 2017

Foi proposto pela empresa realizar uma formação no software Mastercam versão 2017. A formação decorreu nas instalações do IEFP- Centro de Formação Profissional de Águeda, e consisti-o num total de 150 hora, divididas em três módulos de 50 hora, nomeadamente um módulo de CAM 2D, CAM 3D e CAM 3D avançado.

No início da formação e antes de iniciar as estratégias de maquinação 2D, foi realizada uma pequena introdução das ferramentas CAD do software, para que as pessoas que nunca tiveram contacto com este software ou nenhum do género. Tenho um primeiro contacto com a interface gráfica deste tipo de programas.

A introdução das estratégias de maquinação começou com a apresentação da estratégia de corte *Dynamic Motion*, desenvolvida pela Mastercam.

- **Princípios de funcionamento do *Dynamic Motion***

A *Dinamic Motion* é uma estratégia de corte que garante uma espessura de corte constante em toda a geometria a maquinar, mantendo a ferramenta sempre dentro dos parâmetros de corte recomendados (Figura 42).

Esta estratégia de corte só por si não garante grandes benefícios, mas quando utilizada com a teoria *Radial Chip Thinning*, as vantagens são bastantes, nomeadamente;

A temperatura ser transmitida para a limalha, aumentando a vida útil da ferramenta.

Aumenta a taxa de remoção de material diminuindo o tempo de maquinação.

A estratégia de maquinação mantém um comportamento mais suave e um esforço constante para a máquina.

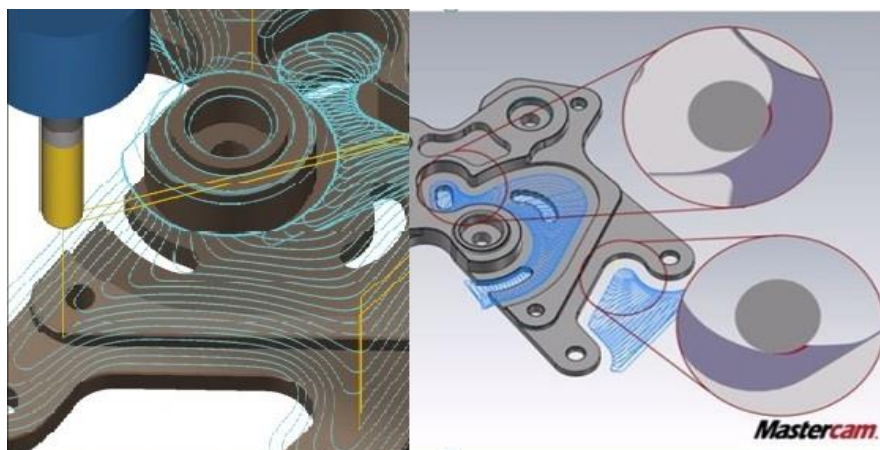


Figura 42 - Estratégia de corte Dynamic Motion

O princípio de funcionamento da teoria *Radial Chip Thinning*, é diminuir o incremento lateral ( $A_e$ ) e utilizar toda a altura da lâmina de corte da ferramenta, o que origina:

- Limalhas mais finas.
- Menor esforço lateral na ferramenta, diminuindo a probabilidade de partir.
- Menos esforço da máquina.
- Maior dissipação do calor na limalha, reduz o sobreaquecimento da peça e ferramenta
- Um aumento do avanço de corte “ $V_f$ ”, com base em:
  - Ajustar a velocidade de corte “ $V_c$ ”, normalmente com um fator de correção disponível pelo fabricante da ferramenta. Sendo recomendado a utilização do fator quando se utiliza a teoria, devido à necessidade de aumentar o avanço por dente para manter a espessura média do cavaco.

Espessura de corte, valido quando  $A_e/D < 30\%$ .

$$Hm = Fz \times \sqrt{\frac{Ae}{Dc}} \quad (1)$$

$$Fz = Hm \times \sqrt{\frac{Dc}{Ae}} \quad (2)$$

**Tabela 6 - Calculo Fz, com Hm=0.06; Dc=16**

<b>Ae/Dc</b>	<b>Ae</b>	<b>Fz</b>
0.3	4.8	0.11
0.2	3.2	0.13
0.1	1.6	0.19
0.09	1.44	0.20
0.08	1.28	0.21
0.07	1.12	0.23

Tabela 6 foi calculado o avanço por dente, para um diâmetro de corte de 16mm, e uma espessura média de cavaco de, 0.06mm, com recurso à equação (2), e é possível verificar que à medida que o incremento lateral é diminuído, o avanço por dente aumenta.

Quando para a mesma ferramenta, com a mesma rotação, um aumento do avanço por dente irá resultar num aumento do avanço de corte.

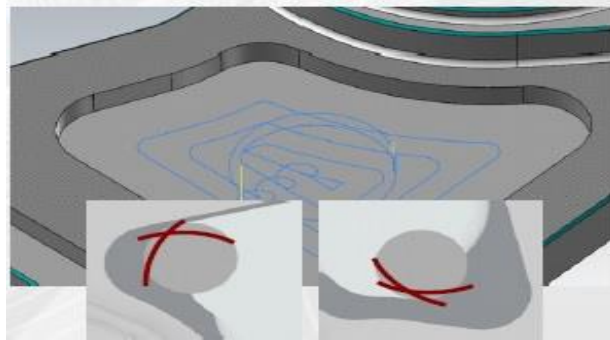
Avanço de corte.

$$V_f = n \times Z_n \times F_z \quad (3)$$



**Figura 43 - Comparação entre o corte tradicional e o *Radial Chip Thinning***

Apesar dos benefícios do *Radial Chip Thinning*, apresenta alguns problemas quando utilizado com estratégias de corte tradicionais, devido a ter sido baseada em cortes lineares, e em função da geometria a maquinar as estratégias de corte tradicionais não garantem uma espessura de corte constante. Mas quando utilizada com a estratégia de corte *Dynamic Motion*, acrescenta muitos benefícios no desgaste das peças.

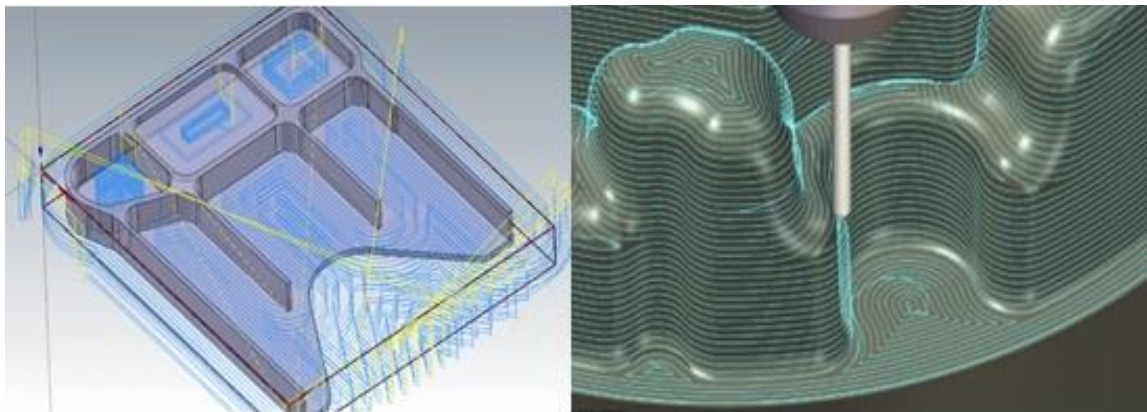


**Figura 44 - Radial Chip Thinning com estratégias tradicionais**

Comparando a Figura 44 com Figura 42 é bem notório a diferença entre a estratégia de corte tradicional e a estratégia de corte desenvolvida pela Mastercam.

- **Estratégias de maquinação 2D do Mastercam 2017**

As estratégias de maquinação 2D são normalmente utilizadas em geometrias menos complexas, pois com este tipo de estratégias apenas é possível maquinar geometrias planas com altura constante (Z constante). Na Figura 45 a geometria da esquerda é possível ser maquinada com estratégias 2D, enquanto que a da direita necessita de estratégias mais complexas.



**Figura 45 - Comparação entre uma geometria que pode ser maquinada com estratégias 2D, e outra que necessita de outro tipo de estratégia para a maquinar.**

O Mastercam 2017 dispõem de varias estratégias de corte 2D (Figura 46), do qual se destacam quatro, geralmente mais utilizadas, nomeadamente:

- *Dynamic Mill*- indicada para realizar desbastes, tanto de caixas como de contornos. A utilização desta estratégia em desbaste devesse a esta fazer parte do grupo de estratégias *Dynamic Motion*, o qual tem inúmeras vantagens neste tipo de maquinação, referenciadas anteriormente.

- *Contour* é recomendado para realizar a passagem de acabamento das superfícies verticais. Apesar de também poder ser usado para realizar desbastes de contornos, geralmente não é tao eficiente como o *Dynamic Mill*.
- *Pocket* é recomendado para acabamentos de superfícies horizontais. Podendo ser também utilizado para realizar desbastes de caixas, mas tal como no *contour*, o *Dynamic Motion* geralmente é mais eficiente.
- *Drill*, possibilita escolher diferentes tipos de ciclos de furação, e ainda ciclos de mandrilar e de roscagem de furos.

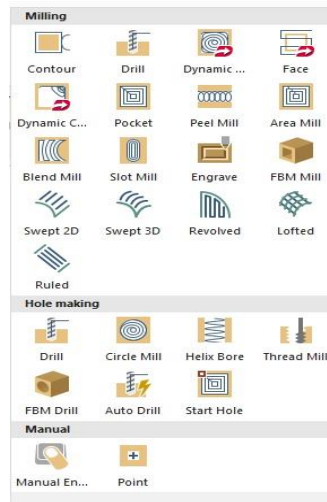


Figura 46 –Painel de Estratégias de maquinação 2D disponíveis no Mastercam 2017

- **Estratégias de maquinação 3D do Mastercam 2017**

As estratégias de maquinação 3D permitem maior variedade de aplicações, sendo que necessitam sempre de ter a geometria disponível em solido, para que o software consiga reconhecer todas as superfícies da peça.

As estratégias 3D podem ser utilizadas em dois tipos de superfícies, planas (Z constante) e curvas (Z variável), sendo que as superfícies planas também podem ser maquinadas com estratégias 2D. Existem algumas diferenças na utilização de uma ou outra, nomeadamente:

- Nas estratégias 2D não é necessário sólido, apenas é necessário ter disponível o desenho 2D da peça.
- Utilizando as estratégias 3D, o processo de programação das peças é mais rápido, necessitando de menos operações para o realizar.
- Com a utilização de estratégias 2D o operador dispõe de maior controle das trajetórias da ferramenta.

Na maioria dos casos quando se pretende maquinar superfícies curvas é necessário aplicar primeiro ciclos de desbaste, em seguida ciclos de semi-acabamento, e por fim ciclos de acabamento.

Os ciclos de desbaste são vocacionados para realizar uma aproximação da geometria, sendo geralmente utilizadas freses com raio de canto, para que a crista de maquinação seja inferior, e que garantam um elevado volume de remoção.

Os ciclos de semi-acabamento tem como objetivo efetuarem uma aproximação final da geometria, neste caso as freses são geralmente de um diâmetro inferior à do ciclo de desbaste e de topo esférico, a aproximação da geometria é realizada com a diminuição das cristas de maquinação e ainda com a possibilidade da ferramenta movimentar-se em zonas específicas da geometria.

Os ciclos de acabamento têm como objetivo reproduzirem a geometria final da peça. A complexidade e tempo de maquinação deste ciclo dependem muito do acabamento final pretendido, como no semi-acabamento são utilizadas freses de topo esférico.



**Figura 47 - Três paços na maquinação de uma superfície curva**

Como na maquinação 2D, o Mastercam 2017 dispõem de várias estratégias 3D (Figura 48), sendo que neste caso elas estão divididas em operações de desbaste e de acabamento.



**Figura 48 - Painel de estratégias de maquinação 3D disponíveis no Mastercam 2017**

Para realizar desbastes e semi-acabamento das peças, geralmente a estratégia *OptiRough* é a estratégia mais indicada, sendo que despõem de grande versatilidade dos parâmetros de corte.

Na execução do acabamento das peças, geralmente são utilizadas três estratégias, dependendo do tipo de superfícies, nomeadamente,

- *Horizontal Area*, utilizada em acabamentos de superfícies horizontais.
- *Scallop*, utilizada em acabamentos de superfícies curvas, nesta estratégia são utilizadas sempre fresas de topo esférico.
- *Hybrid*, esta estratégia é utilizada quando a peça contém superfícies, horizontais e curvas, sendo que com a utilização das duas estratégias anteriores o programador controla melhor o acabamento de cada tipo de superfícies.

Os Mastercam também dispõem de estratégia 3D para realizar acabamentos de superfícies verticais, sendo que geralmente este tipo de acabamento é realizado com a estratégia 2D *Contour*, pois como já foi referido anteriormente com as estratégias 2D o programador dispõe de maior controle das trajetórias da ferramenta.

O Mastercam é um software que coloca à disposição do programador inúmeras ferramentas para a realização de programas mais eficientes, uma dessas ferramentas com muita utilidade, quando utilizadas estratégias de maquinação 3D é o *Stock Model*, esta permite criar um modelo 3D a partir de maquinações anteriores. O que facilita o software a reconhecer o modelo a maquinar quando o operador pretende criar uma maquinação para retirar excedentes de materiais não removidos em maquinações anteriores.

### 5.3.1 Realização de um programa, no Mastercam 2017

De modo a aplicar conhecimentos adquiridos na formação, elaborei um pequeno programa de maquinação, da geometria presente na Figura 49, com estratégias de maquinação 3D.



Figura 49 - Geometria a maquinar.

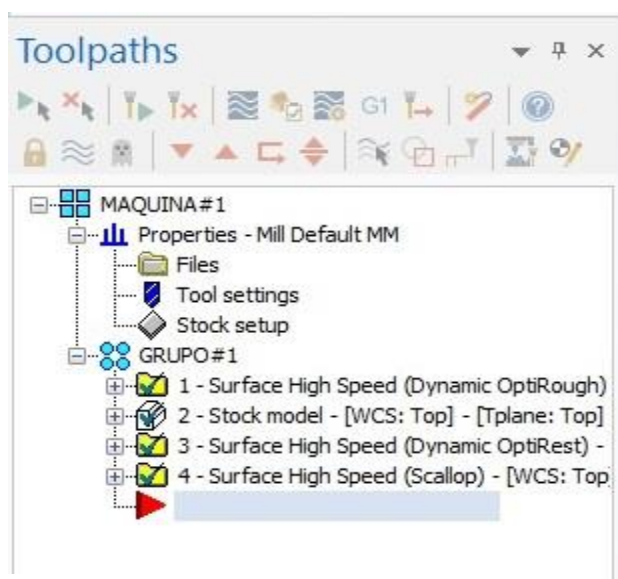


Figura 50 - Lista de estratégias de maquinação utilizadas para maquinar a geometria

Na Figura 50 está representada a lista de estratégias utilizadas na maquinação da geometria referida anteriormente. Sendo esta geometria toda ela de superfície curva, foi necessários três ciclos de maquinação para um melhor acabamento superficial.

- Em primeiro foi realizado um desbaste, no qual foi utilizada a estratégia de maquinação *Dynamic OptiRough*, com uma frese de 8mm com raio de canto de 2mm.
- Foi criado de seguida um *Stock model* da maquinação anterior, para que a trajetória da ferramenta no semi- acabamento realizado a seguir, seja o mais eficiente possível.
- O semi-acabamento foi realizado com a estratégia de maquinação *Dynamic OptiRough*, com a opção *Rest material* ligada. Como é possível verificar na Figura 51 a maquinação será executada a partir do *Stock model* criado anteriormente.

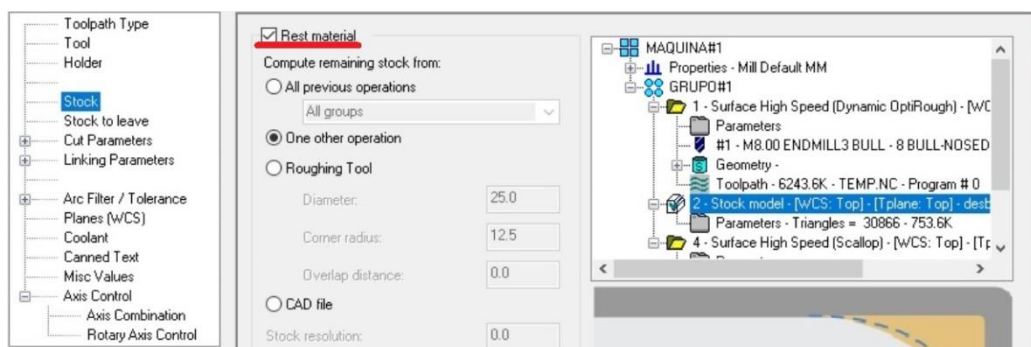


Figura 51 - Painel onde se activa a opção "Rest matirial"

- No final foi realizada uma maquinação de acabamento utilizando a estratégia *Scallop*.

Um parâmetro muito importante a controlar nas estratégias de maquinação é a tolerância da trajetória da ferramenta. O Mastercam determina a trajetória da ferramenta através de segmentos de recas ou arcos que melhor se adaptam a geometria dentro da tolerância definida.

Quanto menor for a tolerância indicada ao programa, mais próximas serão as trajetórias da ferramenta do perfil a ser maquinado, sendo que o volume de dados a processar para o programa CNC será maior, como também o *softwar* demorará mais tempo a regenerar as estratégias de maquinação. Sendo assim é muito importante o programador adequar corretamente a tolerância da trajetória ao tipo de maquinação executada.

Na maquinação desta peça foi utilizada uma tolerância da trajetória no desbaste e semi-acabamento de 0.1mm, pois nestas operações foi deixada uma espessura para acabamento de 0.5mm não sendo necessário uma tolerância muito apertada. Já no acabamento a tolerância foi de 0.025mm, pois sendo a última operação executada na peça pretendia-se uma boa aproximação da geometria.

## 5.4 Análise metalográfica e Medição de Microdureza

Neste ponto será apresentada a análise metalográfica e medição de microdureza de uma peça submetida a um tratamento térmico de nitruração. Com a explicação de todo o processo necessário para realizar a análise.

### 5.4.1 Introdução

- **Nitruração**

A nitruração é um tratamento termoquímico superficial, que consiste na introdução de azoto na superfície do aço pela realização do tratamento numa atmosfera de  $NH_3$  (Amoníaco), que se dissocia à temperatura de trabalho, formando-se azoto atómico que é adsorvido pelo aço, o que permite obter uma superfície com elevada dureza, melhorando a resistência ao desgaste. A reacção global do processo é dada por:

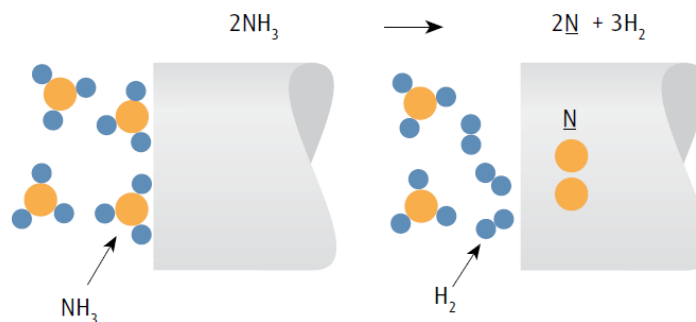
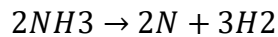


Figura 52 - Ilustração esquemática do processo de nitruração

A nitruração é realizada no domínio ferrítico geralmente entre 500-560°C, pois a temperaturas superiores a 590°C ocorre o aparecimento de um constituinte de ferro e azoto denominado por braunite, um constituinte muito frágil e que degrada as propriedades da camada nitrurada.

Durante a nitruração, a ferrite é saturada rapidamente em azoto, formando-se o nitreto  $Fe_4N$  ( $\gamma'$ ) e em seguida uma solução sólida intermediária ( $\epsilon$ ). Como é possível ver nas Figura 54 e Figura 53, as peças nitruradas são constituídas por duas camadas, a mais periférica geralmente contém elevado teor em azoto (com fases  $\gamma'$  e  $\epsilon$ ), e é denominada por camada branca, está é uma camada muito dura, até 1200 HV. A restante camada é chamada de camada de difusão, formada pela dissolução do azoto no ferro, e dispersão de nitretos, resultantes da combinação do azoto com os elementos de liga do aço, são normalmente elementos que apresentam elevada afinidade com o azoto, como o Al, Cr, Mo, V.

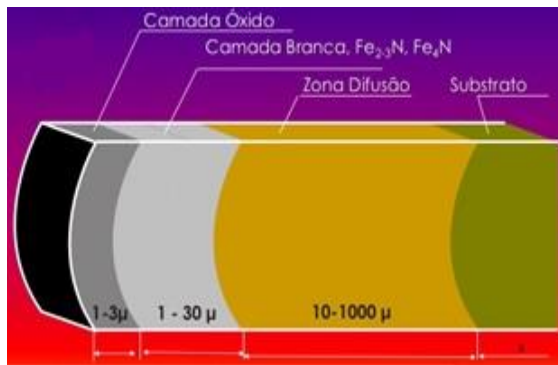


Figura 54 – Configuração da camada nitrurada.



Figura 53 - Microestrutura da camada nitrurada de um aço carbono, e seu perfil de dureza.

Geralmente qualquer aço admite o tratamento de nitruração, sendo que só aqueles que contém quantidades suficientes de elementos de liga, capazes de formar nitretos em combinação com o azoto, obteram durezas máximas. A nitruração é particularmente utilizada em aços para trabalho a quente, geralmente em várias aplicações dos aços 1.2343, 1.2344, 1.2365.

Os aços são temperados e revenidos antes do tratamento de nitruração, sendo que o tratamento só deveria ser aplicado se a temperatura do revenido for superior à da nitruração, caso contrário irá provocar uma diminuição da dureza.

- **Metalografia**

A metalografia é uma vertente da ciência das matérias, sendo o estudo da morfologia e estrutura dos materiais. Podendo ser dividida em metalografia qualitativa ou metalografia quantitativa, a primeira consiste na observação da microestrutura, verificando os microconstituintes que a compõe, estes dependem do tipo de liga e dos tratamentos térmicos ou outros processos a que o material analisado seja submetido. Sendo a segunda a determinação do tamanho dos grãos, e percentagem de cada constituinte.

Para a realização de uma análise micrográfica é necessário realizar um provete, que deve ser elaborada cuidadosamente para que seja possível uma análise correta. No planeamento de uma análise metalográfica é necessário seguir uma sequência de operações, representadas na Figura 55.



Figura 55 - Fluxograma simplificado de análise metalográfica.

- **Microdureza**

O ensaio utilizado na HAERTHA para determinar a dureza da camada nitruada é a microdureza Vickers, a análise é efetuada num microdurómetro preparado para o efeito.

A microdureza Vickers abrange o mesmo princípio prático que o ensaio Vickers, sendo que utiliza cargas mais baixas (10 – 1000gf). Uma vez que a carga aplicada na microdureza é baixa, a impressão produzida na indentação é microscópica como mostra a Figura 56.

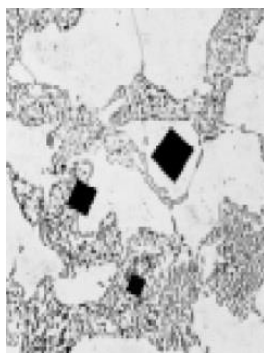


Figura 56 – Indentação ampliada.

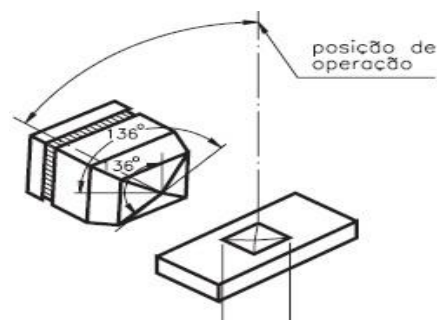


Figura 57 - Representação esquemática do indutor e da imagem da indentação deixada no material.

O valor de dureza Vickers (HV) é obtido pelo quociente da carga aplicada (F) pela área da impressão (A), provocada pela indentação executada no corpo a ensaiar.

$$HV = \frac{F}{A} \quad (4)$$

A máquina que realiza o ensaio Vickers, o microdurómetro não fornece o valor da área provocada pela indentação, mas sim permite obter as medidas das diagonais ( $d_1$  e  $d_2$ ) dos vértices do losango formado no ensaio (Figura 58). O microdurómetro da HAERTHA depois de se obter ( $d_1$  e  $d_2$ ), fornece automaticamente o valor da dureza Vickers, não sendo necessário realizar o cálculo da área do losango e posteriormente a dureza da peça

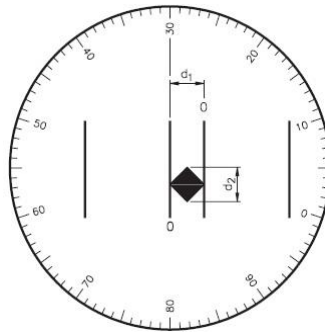


Figura 58 - Esquema da imagem obtida do microdurómetro

#### 5.4.2 Etapas de Preparação para Análise Metalográfica

A escolha do local da amostra a estudar vai depender do tipo de trabalho que se pretende elaborar. Interessa retirar da amostra secções que seja representativa do tipo de estudo pretendido.

No caso do estudo pretendido realizar neste relatório, é uma análise metalográfica e medição de microdureza de um tratamento termoquímico de nitruração, a secção a retirar da amostra terá que ser transversal à camada de nitruração, para que seja possível analisar a penetração da nitruração na peça.

Após ser escolhida a secção que melhor representa o tipo de análise pretendida, procedesse ao seu corte. O corte é uma etapa de grande importância, o qual deve ser realizado de forma a não provocar alterações na microestrutura, sendo que más condições de corte o poderão provocar.

Do ponto de vista metalográfico é preferível o corte por discos abrasivos, uma vez que este tipo de corte provoca baixo nível de modificações na estrutura da amostra e ainda proporciona superfícies planas de baixa rugosidade.

O equipamento bastante utilizado para realizar o corte nos laboratórios metalográficos, incluindo o laboratório da HAERTHA, é denominado *Cut-off* (Figura 59), que proporciona um corte preciso, rápido e seguro, utilizando finos discos abrasivos e boa refrigeração, a fim de evitar deformações causadas pelo aquecimento.

O corte não deve ser executado de modo contínuo, para que não ocorra aquecimento excessivo, devido a fraca penetração de refrigerante. É importante evitar a rebarba no final do corte, para que está não dificulte etapas posteriores, para tal é importante a escolha de um disco de corte adequado, considerando as condições de execução, nomeadamente, a dureza da amostra.



**Figura 59 - Cut-off presente no laboratório de metalografia da HAERTHA (C250S hitech)**

No final do corte deve-se proceder a limpeza da secção para remover resíduos provenientes do corte, para então se poder efetuar a montagem da amostra.

A montagem da secção ou amostra, é um processo fundamental na sua preparação para a análise metalográfica, devido a:

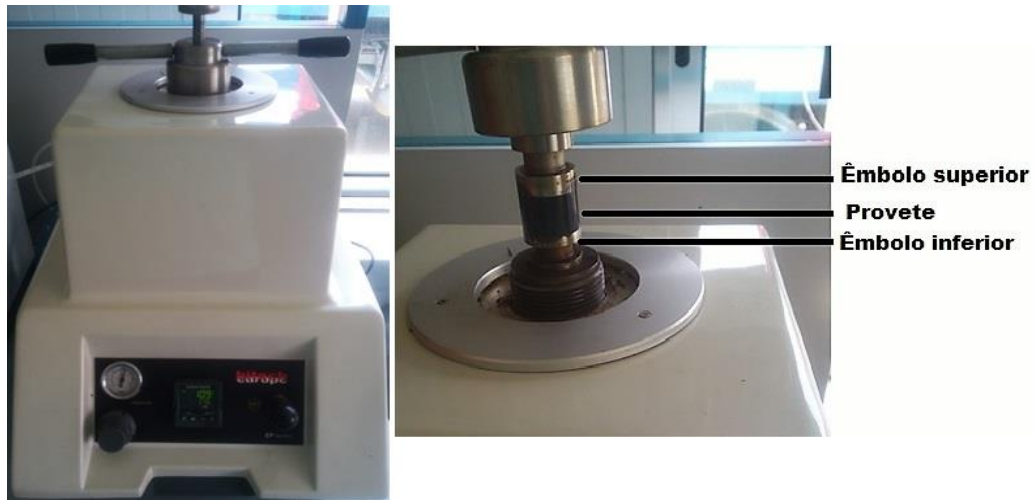
- Facilitar o seu manuseamento, pois estas são geralmente de pequenas dimensões.
- Evitar que a possível presença de cantos vivos ou arestas que possam danificar as lixas ou os panos de polimento, além de evitar o arredondamento da superfície durante o polimento que causa sérias dificuldades ao observador.
- Padronização do provete permitindo o desbaste e o polimento com aparelhos automáticos

Na montagem é necessário ter em atenção determinados fatores para uma correta escolha do material usado na montagem. Tendo em conta que uma das funções da montagem é proteger a amostra montada no provete. É essencial que as características de desbaste e de polimento do material utilizado sejam idênticas a do material da amostra, neste caso do aço. Além de ainda dever apresentar estabilidade dimensional (baixa contracção), apresentar estabilidade química, sendo inerte a lubrificantes, solventes, e reagentes químicos a utilizar. Uma correta escolha do material utilizado na montagem do provete, pode evitar defeitos de polimento e/ou resultados no ataque indesejados.

Havendo vários métodos de montagem de provetes, é preferencialmente usada a montagem a quente em resinas termoendurecíveis, sendo a mais habitual a baquelite (resina fenólica).

A montagem que é realizada na HAERTHA, é a montagem a quente, com recurso á prensa para provetes presente na Figura 60, no qual é utilizada baquelite. O ciclo realizado é automático sendo que a temperatura máxima é 175°C, e realiza um estágio durante 6 minutos e 30 segundos, a começar a descontar quando este atinge os 165°C; assim que o tempo termina é provocado um arrefecimento rápido com a utilização de água.

As etapas para efectuar a montagem são bastante simples, e encontram-se descritas no anexo5.



**Figura 60 - Prensa para provetes (EP15 hitech)**

Após a montagem da amostra ou secção, obtém-se o já referido provete, é recomendado que este seja identificado, para se saber sempre qual a amostra ou secção montada no provete.

O passo seguinte será o desbaste e o polimento do(s) provete(s), o propósito deste processo é obter uma superfície espelhada, isenta de riscos, para uma correta análise da microestrutura do material, após o ataque químico.

Este processo consiste no desgaste por abrasivo em que o mesmo vai sendo mais fino à medida que o processo avança, podendo ser manual ou automático.

Em primeiro, é realizado o desbaste, com o objetivo de eliminar riscos profundos e defeitos provenientes do corte e da montagem existentes na superfície, preparando-a para o polimento.

O desbaste consiste em lixar a superfície do provete onde se encontra a amostra com lixas de granulometria cada vez menor. Não existe uma sequência de lixas para trabalho metalográfico ideal, pois a sequência utilizada depende do estado inicial do provete, sendo que a última lixa utilizada antes do polimento devesse ser a P1200, para que o polimento realizado posteriormente tenha capacidade de eliminar os riscos provenientes do desbaste.

Para um desbaste eficaz é necessário ter em atenção ao metal a polir, pressão exercida no provete, velocidade, direção de trabalho e utilização de líquido, geralmente água, permitindo que os detritos metálicos sejam removidos da lixa para que esta trabalhe corretamente.

Na execução do polimento, o diamante devido a sua elevada dureza e capacidade de corte, é a primeira opção. O diamante como abrasivo metalográfico para o polido pode surgir de duas formas diferentes: Policristalino e Monocristalino, sendo que o Policristalino proporciona melhor acabamento da superfície.



**Figura 61 - Estrutura diamante monocristalino vs estrutura diamante policristalino.**

- **Processo de desbaste e polimento dos provetes na HAERTHA**

A HAERTHA tem disponível no laboratório metalográfico uma máquina de desbaste e polimento automático (Figura 62). Que possibilita a realização do desbaste ou polimento de seis provetes simultaneamente e tendo um sistema de força individual permite que independentemente da quantidade de amostras a força exercida em cada provete é sempre a mesma e constante, uniformemente distribuída no provete, o que proporciona uma superfície totalmente plana com menos possibilidade do arredondamento da superfície durante o processo. A máquina possibilita ainda controlar a força exercida no provete, a velocidade e sentido de rotação da cabeça, velocidade e sentido de rotação do prato.



**Figura 62 - "Forcipol 200 1V"**

Os passos executados em todo o processo bem como os seus parâmetros são:

1. Desbaste com lixa P320;

Sendo o corte das secções realizado com um disco abrasivo que proporciona bom acabamento na superfície, geralmente não é necessário utilizar lixa de granulometria maior.

Os parâmetros utilizados neste primeiro desbaste são:

- Força exercida no provete de 25N.

- Durante dois minutos, tempo que pode variar devido ao estado da superfície no final dos dois minutos.
- A rotação do prato, 250 CCW (RPM).
- A rotação da cabeça, 100 CW (RPM).

## 2. Desbaste com lixa P1200;

Antes de realizar o último desbaste com a lixa P1200, pode-se realizar um desbaste com a lixa P600, para um melhor acabamento no final do desbaste. Mas por experiência, nesta máquina a realização de apenas dois desbastes garante um acabamento no final de todo o processo aceitável para o tipo de análise realizada.

Os parâmetros utilizados neste segundo desbaste geralmente são iguais aos utilizados no anterior.

## 3. Polimento com pasta de diamante 6 $\mu$ m;

No polimento são utilizados panos e pasta de diamante próprios para o polimento sendo que para cada dimensão de diamante, corresponder um tipo de pano diferente.

Ao contrário do desbaste no polimento não é utilizada água, mas sim um lubrificante para pasta de diamante, este proporciona uma melhor performance da pasta aumentando a sua durabilidade e melhor acabamento.

Os parâmetros utilizados no polimento de 6 $\mu$ m são:

- Força exercida no provete de 20N.
- Durante dois minutos, tempo que pode variar devido ao estado da superfície no final dos dois primeiros minutos.
- A rotação do prato, 200 CCW (RPM).
- A rotação da cabeça, 75 CW (RPM).

## 4. Polimento com pasta de diamante 3 $\mu$ m;

Os parâmetros utilizados neste polimento são os mesmos do anterior.

## 5. Polimento final com pasta de diamante 1 $\mu$ m;

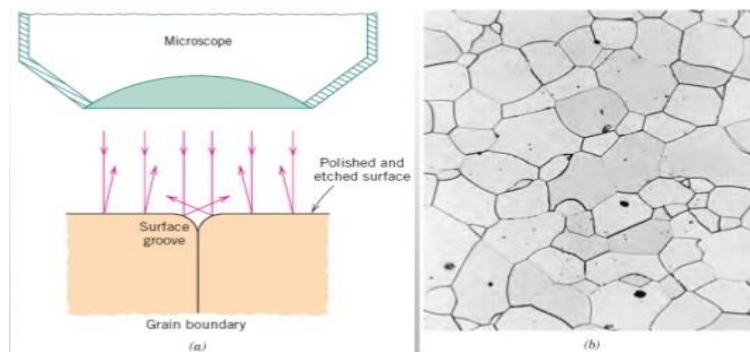
Os parâmetros utilizados no polimento de 1 $\mu$ m são:

- Força exercida no provete de 20/15N.
- No máximo dois minutos.
- A rotação do prato, 150 CCW (RPM).

- A rotação da cabeça, 75 CW (RPM).

É muito importante, sempre que se transitar para o passo seguinte proceder a limpeza do provete, a fim de remover eventuais resíduos que possam estar aderidos a superfície, podendo prejudicar as operações seguintes. A limpeza é realizada com água corrente, e a despectiva secagem do provete. Mas quando realizada a limpeza seguinte ao último polimento é necessário passar etanol na superfície a analisar, para que quando se secar o provete não fique oxidado, impossibilitando uma correta análise da microestrutura. A secagem é realizada com jacto de ar quente, normalmente utilizando-se um secador.

No final do processo de polimento procede-se a realização do ataque químico, O ataque químico é o método mais comum para diferenciar os elementos microestruturas. O ataque químico provoca uma dissolução diferente dos cristais segundo a sua orientação e suas faces, provocando um contraste óptico entre os diferentes constituintes microestruturais (Figura 63).



**Figura 63 - (a) Esquema de secção de um limite de grão (b) fotografia da uma superfície polida e atacada**

O ataque químico mais usado é a imersão da amostra na solução de ataque, um dos reagentes mais utilizados é o nital, este é constituído por ácido nítrico e etanol. Podendo ser diferente resultado da percentagem dos seus constituintes, o nital 1, que é geralmente utilizado para provocar o contraste em amostras de nitruração, é constituído por 1% de ácido nítrico e 99% de etanol, o nital 2, geralmente utilizado em aços rápidos, é constituído por 2% de ácido nítrico e 98% de etanol.

A análise microscópica é a última tarefa do processo de análise metalográfica, a qual é efectuada com recurso a um microscópio preparado para o efeito chamado de microscópio metalográfico.

Para completar a análise metalográfica é usada a análise de microdureza.

No estudo da camada de nitruração é muito importante a utilização da microdureza, pois esta irá fornecer o perfil de dureza da camada, facilitando a avaliação ou a comparação do tratamento.

Normalmente na nitruração é realizada a medição da microdureza em sete pontos, nomeadamente, a (0.02;0.035;0.05;0.08;0.1;0.15;0.2)mm de profundidade. No (Anexo 9), está descrito todo o processo da análise de microdureza.

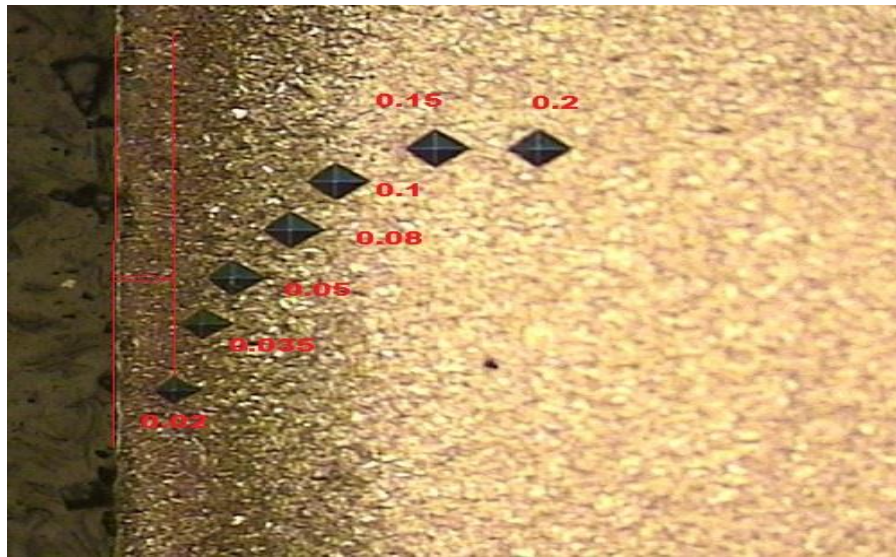


Figura 64 - Indentações realizadas para medir a dureza da camada de nitruração (Ampliada 200x)

- De seguida serão apresentadas duas análises metalográficas, de dois provetes de clientes diferentes, que foram pedidos para analisar.

- Amostra 1

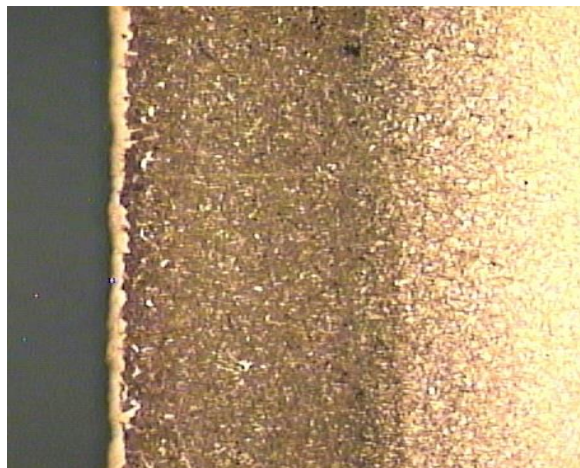


Figura 65 – Nitruração, material 1.2344, provete 1 (ampliação 200x)

Tabela 7 - Tabela de perfil de dureza da nitruração, provete 1

Profundidade (mm)	0.02	0.035	0.05	0.08	0.1	0.15	0.2
Dureza (HV 0.3)	1097.2	1076.3	1034	973.9	847.2	604.1	555

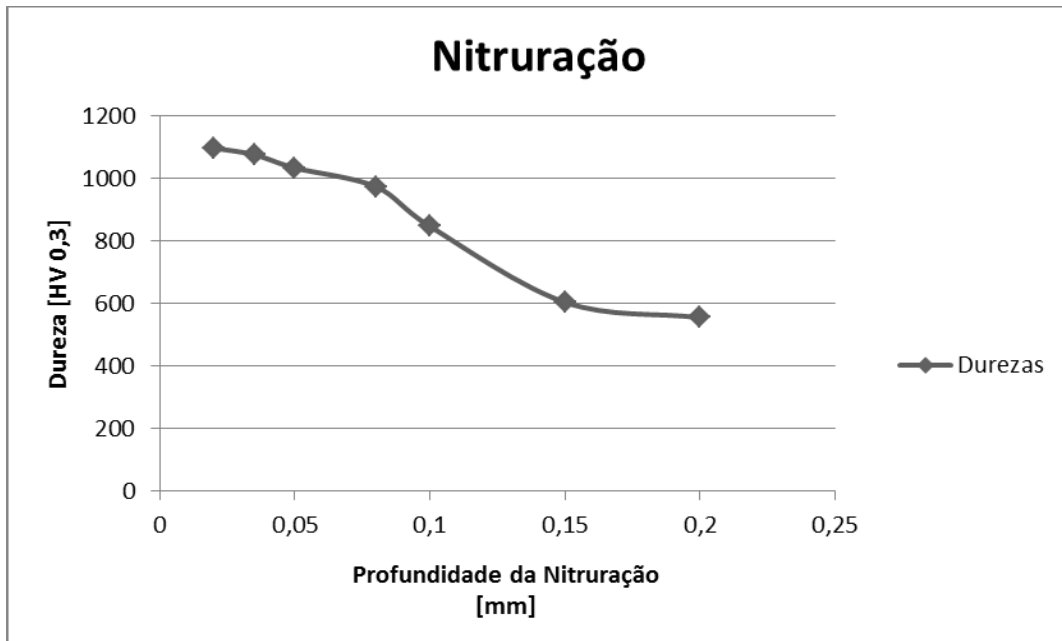


Figura 66 - Perfil de microdurezas da nitruração, provete 1

▪ Amostra 2



Figura 67 - Nitruração, material 1.2344, provete 2 (ampliação 200x)

Tabela 8 - Tabela de perfil de dureza da nitruração, provete 2

Profundidade (mm)	0.02	0.035	0.05	0.08	0.1	0.15	0.2
Dureza (HV 0.3)	937.4	811	665.8	596.6	567.6	546.3	535.5

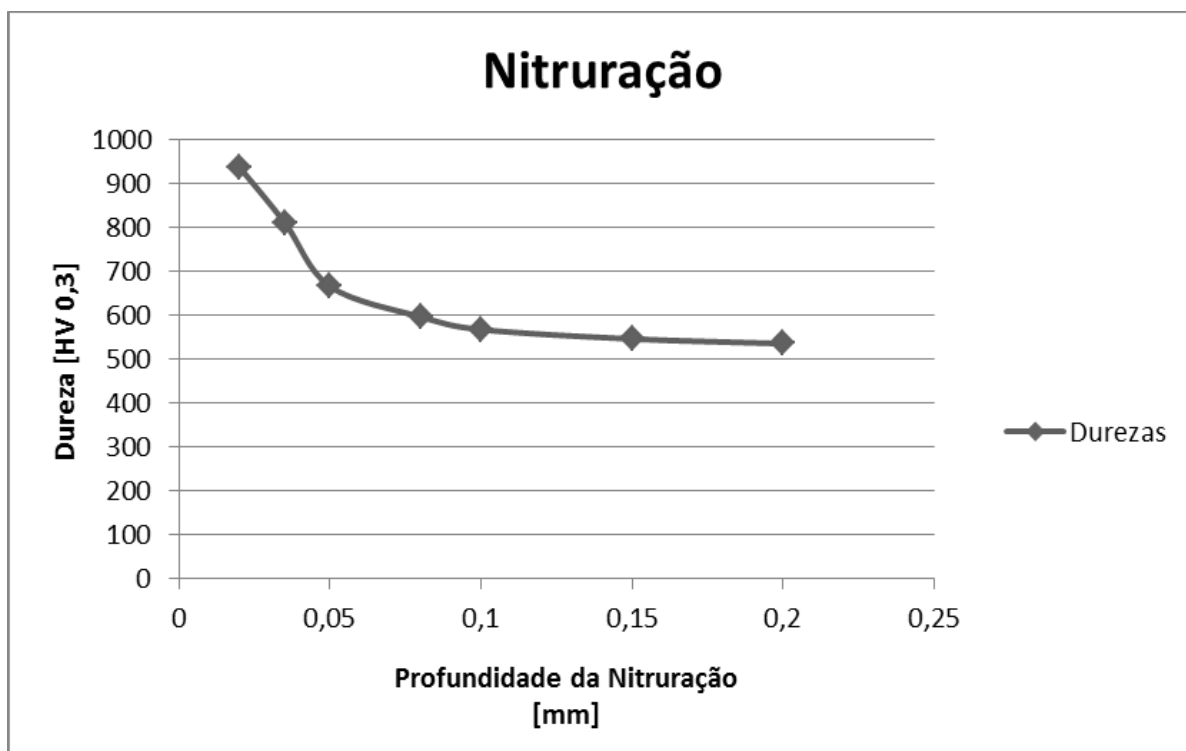


Figura 68 - Perfil de microdurezas da nitruração, provete 2

**Nota:** os clientes quando solicitaram a análise metalográfica e microdureza dos provetes não informaram qual a finalidade das peças que foram submetidas ao tratamento, nem quais os parâmetros pretendidos. Sendo a descrição seguinte, realizada com base no tratamento de nitruração da HAERTHA, que é aplicado mais usualmente a peças do tipo de aço 1.2344 (x40crMoV5-1), tais como, (matrizes para extrusão de ligas de alumínio, postigos, gitos, êmbolos etc...), sendo que uma boa nitruração para este tipo de aplicações, deve possuir em termos microestruturais camada branca, uma distribuição regular dos nitretos na camada de difusão, dureza entre 0.01mm e 0.05mm de 1000-1200 HV, e uma camada efetiva de nitruração de cerca de 0.15mm.

No provete 1 a estrutura analisada revela camada branca homogênea de 5.03  $\mu\text{m}$ , e uma camada de difusão distribuída uniformemente em todo o provete revelando a presença de nitretos. As durezas encontram-se dentro do esperado, apresentando uma dureza de 1205.1HV2 a 0.0mm e de 1034 HV0.3 a 0.05mm e uma profundidade efetiva de nitruração de aproximadamente 0.15.

No provete 2 a estrutura analisada revela apenas uma fina camada branca, uniforme de 2  $\mu\text{m}$ . A camada de difusão apresenta clara presença de nitretos, sendo que esta não é muito regular. A dureza da superfície encontrasse dentro do esperado (1085HV2), mas a 0.02mm a dureza está a abaixo dos valores esperados, apresentando uma profundidade efetiva de nitruração entre 0.08 e 0.1mm.

## 6 Conclusões

Os trabalhos realizados durante o período de estágio na empresa ALUPOINT tiveram como principal objetivo, a participação em diversas tarefas de âmbito industrial. Permitindo consolidar conhecimentos adquiridos durante o percurso académico.

No âmbito da formação pessoal e complemento da formação académica, o estágio permitiu a total inclusão na estrutura de uma empresa com muitos anos de funcionamento com objetivos e estratégias bem definidas, que se encontra em constante crescimento e evolução. Assim sendo esta total inclusão permitiu um primeiro contacto com o mundo de trabalho, bem como com todo o tipo de experiências que isso engloba, nomeadamente, problemas e desafios que surgem diariamente.

O trabalho com máquinas CNC complementado com a formação em Mastercam2017, permitiu observar pequenos problemas nas atuais estratégias de maquinação, que poderiam ser melhoradas com a utilização do Mastercam2017, diminuindo os tempos de maquinação de uma matriz. Uma das possíveis melhorias seria a utilização da estratégia *Dynamic Motion*, que no MastercamX4 ainda não se encontra tão desenvolvida e eficaz. Esta possível melhoria teria de ser acompanhada com o aconselhamento por parte dos fabricantes de ferramentas de modo a que seja possível obter maquinações o mais optimizado possível para o tipo de trabalho realizado na ALUPOINT, tendo em conta a geometria a maquina e as ferramentas disponíveis no mercado.

As análises metalográficas e medições de microdureza são formas muito eficazes de avaliar a qualidade dos tratamentos térmicos realizados nas peças, mas que apresentam principal importância na avaliação dos tratamentos térmicos superficiais, sendo uma boa opção para analisar a profundidade e a dureza do tratamento.

A realização destas análises permitiu aprofundar conhecimentos mais teóricos sobre microestruturas e tratamentos térmicos.

Durante o período de estágio foi interessante a conjugação de tarefas muito práticas como foi o trabalho com CNC, com a realização de tarefas bastante mais técnicas e teóricas como foi a realização das análises metalográficas.

## Referências Bibliográficas

- Adriano Scheid. *Técnicas de Caracterização de Materiais*. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná.
- Aluminum Extruders Council. [http://www.aec.org/?page=basics\\_dies](http://www.aec.org/?page=basics_dies).
- ALUPOINT (2015). <http://www.aluport.pt/>.
- António Palma, Portalex Alumínio (2014). *Alumínio uma questão de massa cinzenta*.
- Comércio de máquinas e Equipamentos. *Manual de Programação e Operação*.
- Fraco Rattichieri. (2004). *AVALIAÇÃO DA MICRODUREZA SUPERFICIAL DO ESMALTE DENTÁRIO IRRADIADO COM LASER DE DIODO 960nm*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Autarquia associada à Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Grandesoft. *Dynamic-resumo*.
- HAERTHA (2015). <http://haertha.pt/>.
- Izasa Scientific. *TEOÍA Y TECNICAS DE LIJADO Y PULIDO*.
- Izasa Scientific. *OPERACIÓN PULIDORA FORCIPOL&FORCIMAT*.
- Juno Gallego. *Técnicas Micrográficas*. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista.
- Mario Seabra. (2009). *Certificação de um Sistema de Gestão de Qualidade num Laboratório Metalográfico*. Tese de Mestrado, Departamento de engenharia de cêramica e do Vidro da Universidade de Aveiro, Aveiro.
- Pinto Soares (2009). *Aços para Ferramentas – Características, Tratamentos, Aplicações, (Portugal)*.
- Regis Almir Rohde. (2010). *Metalografia Preparação de Amostras*. Laboratório de Ensaios Mecânicos e Materiais, URI, Rio Grande do Sul(Brasil).
- Vitex Extrusion. *Technical Data- Extrusion Dies and Tooling*.
- Wiki Engenharia(2010).  
<http://wiki.ued.ipleiria.pt/wikiEngenharia/index.php/Extrus%C3%A3o>.
- Wikipédia (2016). <https://pt.wikipedia.org/wiki/Metalografia>.

## Anexos

### 1. Ficha de Identificação de Equipamento Nº159

	<b>FICHA DE IDENTIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTO</b>	<b>CÓDIGO EQUIPAMENTO</b> <b>159</b>
<b>IDENTIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTO</b>		
<b>Designação:</b> Centro de maquinação CNC <b>Marca/ Modelo:</b> Matsuura V.plus 800 <b>Nº de Série:</b> 17636 <b>Fornecedor:</b> Fecope <b>Data de Aquisição:</b> Jan/2010 <b>Ano de Fabrico:</b> Março/2008	<b>Capacidade:</b> <b>Eixo x:</b> <b>Eixo y:</b> <b>Eixo z:</b> <b>Assistência Técnica:</b> <b>Mecânica e Electrónica:</b>	
<b>FOTO / CROQUI</b>		
		
<b>OBSERVAÇÕES</b>		
<b>CERTIFICADO DE CONFORMIDADE CE</b> <b>Voltagem:</b> 415 <b>Capacidade:</b> 49 KVA / 68A <b>Frequência:</b> 50Hz ± 1 Hz 3 Fases <b>Quadro eléctrico nº</b> 3		

SUBSTÂNCIAS PERIGOSAS UTILIZADAS	RESÍDUOS PRODUZIDOS
Servol 108 Macurat 68 Energol HP10 Energol HLP HM 32 Produto de limpeza, limpa vidros e petróleo iluminante	Limalhas contaminadas com óleo Óleo usado
Instruções de Segurança	
<b>MOVIMENTAÇÃO MANUAL DE CARGAS</b>  	<b>EXECUÇÃO DA OPERAÇÃO</b> <p><b>Óculos ou viseira em caso de abertura da porta</b></p>  
<b>MANUTENÇÃO E LIMPEZA DO POSTO</b>   	<p><b><u>Não esquecer:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Desligar máquina e o disjuntor no quadro eléctrico central</li> <li>▶ Sinalizar a máquina e quadro eléctrico com placa Indicando que está em manutenção</li> </ul> <p>Não utilizar as pistolas de ar comprimido</p> 
<p><b>É proibido fumar ou fumar nas instalações da empresa</b></p> <p><b>É proibido comer e beber nas áreas de trabalho</b></p> <p><b>Ambiente</b> </p> <p><b>Respeite a separação de resíduos</b></p>  	

## 2. Funções específicas de emergência 2016

Tabela - 1 Funções de Emergência

Função	Instruções
Coordenador de segurança	<p>Coordenador de segurança</p> <p>Detecta, avalia e declara emergência (incêndio, derrame, ameaça de bomba, sismo, acidente grave)</p> <p>Garante que todos os intervenientes estão a desempenhar as instruções de emergência</p> <p>Coordena a ligação das acções internas com as acções de ligação ao exterior</p>
Adjunto responsável pela segurança	<p>Avisa as entidades de socorro e chefia a evacuação</p>
Equipa de 1ª intervenção	<p>Com a ajuda dos extintores procede a primeira intervenção salvaguardado os espaços por onde serão evacuados os colaboradores</p> <p>Deve também fechar válvulas e desligar quadro eléctrico</p>
Equipa de 2ª intervenção	<p>Com a ajuda dos carretéis procede a extinção do incêndio salvaguardado os espaços por onde serão evacuados os colaboradores</p>
Equipa de evacuação	<p>Com determinação, deve proceder a evacuação dos colaboradores através dos caminhos de evacuação e garantir que todos são evacuados até ao ponto de encontro</p>
Equipa de controlo de derrame	<p>Identificar o ponto de fuga e estancar o derrame na origem com os meios disponibilizados, água de diluição, materiais de isolamento, retenção e absorção</p>
Equipa de 1º socorros	<p>Garantir os cuidados de saúde e primeiros socorros das vítimas até chegar a ambulância</p>

**Tabela - 2 Funções de emergência por colaborador e turno**

<b>Função</b>	<b>Colaboradores</b>		
	<b>Turno Dia 8H-17:15H</b>	<b>Turno Tarde 17:15 - 0:30H</b>	<b>Turno Noite 0:30 H-8H</b>
Coordenador de segurança	João Aguiar	Horácio Soares	Ricardo Ferreira
Adjunto responsável de segurança	José Coelho João Almeida Ana Cláudia Rosa Lima	Bruno Baptista	
Equipa de 1ª intervenção	Jaime Galhano Norberto Branco / Ricardo Estimado José Fernando Estima de Almeida/ Mateus José Eduardo Fernandes Amílcar Santos – Botijas António Valente Jaime Oliveira Martins Ricardo Matos Lucinia Martins Judite Cardoso	Roman – Botijas	Jorge Madeira Pedro Reis
Equipa de 2ª intervenção	José Fernando Estima de Almeida/Mateus José Eduardo Fernandes Jaime Galhano António Valente Abílio Liberal	Horácio Soares Roman	Jorge Madeira Pedro Reis

Equipa de evacuação	Abílio Liberal	Bruno Baptista	Ricardo Ferreira
Equipa de controlo de derrame	João Oliveira António Valente	Roman	Jorge Madeira
Equipa de 1º socorro	João Madureira	_____	Ricardo Ferreira

### **3. Elaboração do Provete**

Para se planejar correctamente a elaboração do provete é necessário ter a informação do tipo de aço e tipo de tratamento em questão. Passos gerais de elaboração do provete para análise metalográfica:

1. Escolha e localização da secção de estudo.
2. Execução do corte da secção plana.
3. Montagem.
4. Identificação da montagem
5. Polimento grosseiro e polimento fino.
6. Lavagem.
7. Secagem.
8. Ataque químico.

## 4. Corte

Após a escolha e localização da secção a ser estudada, a peça é cortada transversalmente.

1. Escolha o tipo de disco de corte (macio – baixa dureza, duro – alta dureza) consoante o tipo de material a cortar.
2. Colocar o disco no suporte agregado ao motor.
3. Colocar e fixar a amostra no centro da mesa de fixação.
4. Fechar a tampa da máquina.
5. Ligar a bomba de fluido lubrificante e ligar o motor da máquina.
6. Aplicar uma carga moderada no corte.
  - a. Evitar um corte contínuo, pois provoca sobreaquecimento.
7. Retirar a peça cortada e efectuar a limpeza da mesma.

## 5. Montagem

A montagem é efectuada após o corte, antes de se efectuar a montagem é necessário verificar se existe cantos, arestas e/ou esquinas vivas, e caso exista retirar-las.

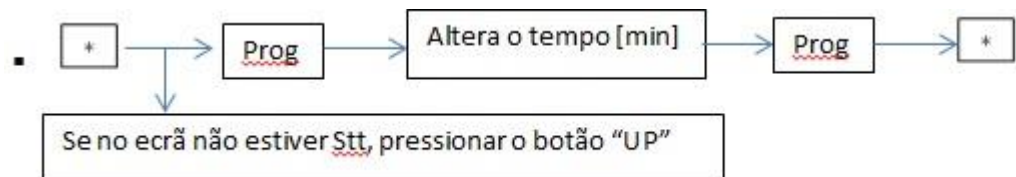
1. Ligar a prensa de montagem.
2. Colocar a face da amostra que se pretende analisar em contacto com o êmbolo inferior da máquina.
3. Baixar o êmbolo.
4. Colocar a resina na câmara de montagem.
  - a. Quantidade  $\pm$  30 a 40 ml.
5. Colocar o êmbolo superior.
6. Subir o êmbolo inferior, para gerar a pressão pretendida.
7. Iniciar o ciclo de tempo-temperatura para fusão e solidificação da resina utilizada.
8. No final do ciclo baixar o êmbolo inferior.
9. Abrir êmbolo superior.
10. Subir êmbolo inferior.
11. Retirar o provete da prensa.

## 6. Polimento e Desbaste

Para se analisar microscopicamente a estrutura do aço esta tem de ser completamente limpa e polida.

Não devem ser utilizados os mesmos panos, no polimento de aços diferentes.

1. Seleccionar modo automático.
2. Definir o tipo de trabalho realizado.
3. Colocar no prato a lixa ou o pano indicado para trabalho definido.
4. Ajustar a força exercida nos provetes.
5. Ajustar a velocidade de rotação da cabeça.
6. Ajustar a velocidade de rotação da base (prato).
7. Definir o tempo de trabalho.



8. Colocar um pouco de água em cima da lixa ou um pouco de lubrificante de pasta de diamante no pano.
9. Colocar a cabeça em cima do prato o mais encostado a extremidade possível.
10. Colocar os provetes nos orifícios.
11. Pressionar o botão FWD ou REV para iniciar o programa. O botão seleccionado define o sentido de rotação do prato (FWD=CW;REV=CCW).
12. Quando a máquina parar, retirar os provetes.
13. Limpar o provete e partes da máquina, que possam contaminar com resíduos os trabalhos seguintes realizados na máquina.

## 7. Ataque Químico

O ataque químico consiste na inserção da face polida a reagentes oxidantes.

A amostra deve encontrar-se perfeitamente seca e limpa.

Os reagentes utilizados para o contraste dependem do tipo de material, e constituintes a crer contrastar.

1. Colocar o reagente num gobelé.
2. Mergulhar o provete no reagente durante o tempo pretendido.
  - a. O provete é geralmente mergulhado em períodos de 5 segundos até esta estar perfeitamente contrastada.
3. Após o tempo pretendido lavar o provete com solvente.
4. Secar com jacto de ar seco aquecido (secador).
5. Visualizar ao microscópio para verificar o estado da superfície.
6. Caso a superfície não esteja suficientemente atacada repetir os passos 2 a 5.
7. Caso a superfície tenha sido atacada de mais é necessário realizar novamente o último polimento e o ataque químico.

Nota: a pinça utilizada para segurar o provete durante o ataque tem de ser de material resistente ao reagente utilizado.

## 8. Observação Metalográfica

Para realizar a observação microscópica o provete deve encontrar-se lavado e seco, ausência de defeitos na superfície e/ou qualquer traço de oxidação.

1. Colocar o provete na platina do microscópio.
2. Focar a microestrutura com ajuda dos parafusos macrométrico e micrométrico.
3. Escolher a ampliação mais indicada para o tipo de análise pretendida.
4. Se a imagem metalográfica for necessária para colocar no relatório, ligar o programa de imagem (Archiimg).
5. Abrir a transmissão de imagem para o computador.
6. Fixar a imagem microscópica pretendida e gravar a mesma.

## 9. Análise de Microdureza

1. Fixar o provete na mesa X-Y, de forma a ficar centrada com a mesa e a objectiva.
2. Focar a superfície da amostra.
3. Após focar, colocar as 2 linhas de medição (visualizadas na ocular) juntas com um fio de luz a separá-las.
4. Seleccionar o ponto onde se quer realizar a indentação.
5. Seleccionar carga a utilizar, tendo em conta a estrutura do provete.
6. Rodar o revólver do microdurómetro para o indentador.
7. Premir a tecla *Start* para iniciar o ciclo de carga.
8. No final do ciclo rodar novamente o revólver para a lente de ampliação.
9. Acertar as linhas de medição com a diagonal horizontal da marca de indentação.
10. Clicar no botão *read*.
11. Rodar a objectiva 90°.
12. Repetir os passos 9 e 10.
13. Ler a dureza dada.

Medição da microdureza de uma camada de nitruração.

1. Colocar o provete de modo a que a periferia da amostra se encontre paralela as linhas de medição
- 2.
3. Alinhar o zero das linhas de medição.
4. Acertar o início da nitruração (extremidade do provete) com as linhas de medição.
5. Incrementar as distâncias dos pontos do perfil de microdurezas a serem efectuados.
  - a. O incremento é realizado no eixo perpendicular a camada de nitruração.
  - b. Como o incremento dos pontos é muito pequeno, é necessário dar um pouco de incremento no outro eixo para que as indentações não se sobreponham

6. Efectuar o paço 8 do ponto anterior, em cada ponto do perfil.
7. No final de realizar todas as indentações pretendidas para realizar o perfil de microdurezas, realizar os paços 8 a 12 para obter a dureza de cada ponto do perfil.



