



**isec**  
**Engenharia**

MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**Caracterização de Tornos CNC  
Multi-eixos e Fabrico de Peças  
Complexas na Empresa RRMP**

DEFINITIVO

Autor

**Rui Daniel Correia Parente**

Orientador

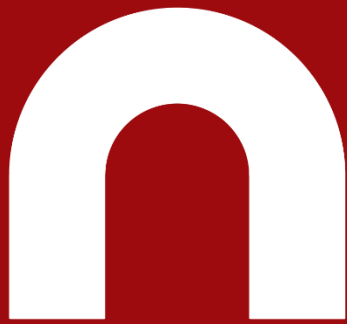
**Professor Doutor Fernando António Gaspar Simões**

INSTITUTO POLITÉCNICO DE  
COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR  
DE ENGENHARIA  
DE COIMBRA

Coimbra, fevereiro de 2022





# isec

## Engenharia

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

### **Caracterização de Tornos CNC Multi-eixos e Fabrico de Peças Complexas na Empresa RRMP**

Relatório de Estágio de Natureza Profissional para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Especialização em Construção e Manutenção de Equipamentos Mecânicos

Autor

**Rui Daniel Correia Parente**

Orientador

**Professor Doutor Fernando António Gaspar Simões**

Supervisor na empresa RRMP, lda.

**Frederico Domingues**

INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR  
DE ENGENHARIA  
DE COIMBRA

Coimbra, fevereiro de 2022



## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador Prof. Doutor Fernando António Gaspar Simões pela disponibilidade e ajuda na orientação deste relatório.

À empresa RRMP, ao Sr. João Paulo Matos e ao Sr. Manuel Ribeiro por terem aceite a realização deste estágio, pela integração e ajuda prestada.

Aos meus colegas colaboradores da empresa, pela integração, amizade e por todo o conhecimento transmitido, em especial ao Frederico e à equipa de torneamento.

Aos meus amigos pelo incentivo, apoio e por me proporcionarem momentos de descontração.

À minha família por todo o apoio demonstrado, em especial à minha mãe e ao meu pai por me terem proporcionado as condições necessárias à obtenção deste grau de ensino, pela paciência, ajuda, força, compreensão, incentivo, e acima de tudo por nunca me deixarem desistir.

À minha namorada por estar sempre lá nos bons e nos maus momentos, pela paciência, apoio, incentivo, compreensão e ajuda.

A todos o meu sincero obrigado.



## RESUMO

O presente relatório descreve as atividades desenvolvidas pelo autor na empresa RRMP – Metalomecânica de precisão no contexto de estágio curricular, para obtenção de grau mestre em engenharia mecânica.

A RRMP tem como principal atividade o fabrico de componentes mecânicos com recurso a tecnologia e maquinação por Controlo Numérico Computorizado (CNC).

O torneamento é uma das várias tecnologias de fabrico na indústria atual, como tal, é sobre este tema que este relatório recai com maior incidência.

São abordados assuntos como o torneamento em geral, a evolução das máquinas de torneamento CNC e as suas cinemáticas, as operações mais utilizadas no torneamento bem como as ferramentas de corte, parâmetros de corte e programação CNC.

São também caracterizadas, com maior detalhe, as máquinas de torneamento CNC da empresa, e são descritos processos como a elaboração de um *setup* num torno CNC de 11 eixos, introdução de um novo torno CNC na empresa e o fabrico de uma peça neste novo equipamento.

O objetivo deste estágio recai na integração do autor no mundo de trabalho acompanhando de perto as atividades desenvolvidas em todos os setores, em especial no torneamento, e, assim, consolidar conhecimentos na área da maquinação CNC.

**Palavras-Chave:** tornos CNC, ferramentas rotativas, eixos de maquinação, cinemática, *setup*.

## **ABSTRACT**

This report describes the activities developed by the author in the company RRMP- Precision Metalworking in the context of curricular internship, in order to obtain a master's degree in mechanical engineering.

RRMP's main activity is the manufacture of mechanical components using Computerized Numerical Control (CNC) technology and machining.

Turning is one of several manufacturing technologies in the industry today, so, it is on this topic that this report focuses most.

Topics such as turning in general, the evolution of CNC turning machines and their kinematics, the most used operations in turning as well as cutting tools, cutting parameters and CNC programming are discussed.

The company's CNC turning machines are also characterized in greater detail, and processes such as the preparation of a setup on an 11-axis CNC lathe, introduction of a new CNC lathe in the company and the manufacture of a part on this new equipment are described.

The objective of this internship was for the author to integrate the world of work, closely following the activities developed in all sectors, especially in turning, and thus, consolidate knowledge in the area of CNC machining.

**Key Words:** CNC lathes, rotating tools, machining axis, kinematics, setup.



## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Estrutura do Relatório.....	1
1.3. Motivação e Objetivos.....	2
2. A EMPRESA – RRMP, METALOMECÂNICA DE ALTA PRECISÃO.....	3
2.1. Política de Qualidade.....	3
2.2. Missão.....	4
2.3. Visão.....	4
2.4. Valores.....	5
2.5. Organograma.....	5
2.6. Instalações.....	5
2.7. Setores.....	6
2.7.1. Receção / Expedição.....	6
2.7.2. Acabamentos Manuais e Oxidação.....	7
2.7.3. Planeamento.....	8
2.7.4. Corte de Matéria.....	8
2.7.5. Ferramentaria.....	8
2.7.8. Produção.....	9
2.7.9. Retificação.....	12
2.7.10. Controlo de Qualidade.....	14
3. CARACTERIZAÇÃO DO TORNEAMENTO.....	16
3.1. Tornos Convencionais vs. Tornos CNC.....	17
3.2. Principais Constituintes de Um Torno CNC.....	19
3.2.1. Sistema de Fixação e Acionamento da Peça.....	19
3.2.2. Sistema de Fixação da Ferramenta.....	20
3.2.3. Sistema de Posicionamento e Coordenadas.....	23
3.3. Tipologias de Tornos CNC.....	24
3.3.1. Tornos 2 Eixos.....	24
3.3.2. Tornos 3 Eixos.....	24
3.3.3. Tornos 4 Eixos.....	25

3.3.4. Tornos de Duas Árvores.....	25
3.3.5. Torno Tipo Suíço .....	25
3.4. Tipos de Operações no Torneamento e Ferramentas Utilizadas.....	26
3.4.1. Torneamento Cilíndrico .....	27
3.4.2. Facejamento .....	28
3.4.3. Furação e Mandrilagem.....	28
3.4.4. Roscagem .....	29
3.4.5. Ranhurar .....	29
3.4.6. Sangrar .....	29
3.4.7. Tabela de Operações e Ferramentas Utilizadas.....	30
3.5. Parâmetros de Corte no Torneamento.....	31
3.6. Programação CNC .....	32
3.6.1. Códigos CNC .....	32
4. CARACTERÍSTICAS DOS TORNOS CNC DA RRMP.....	35
4.1. Descrição Geral das Máquinas de Torneamento.....	35
4.1.1. Okuma Genos L250E.....	35
4.1.2. Okuma LB3000 EX.....	36
4.1.3. Okuma LB3000 EXII .....	38
4.1.4. Tsugami M08DE-II.....	39
4.1.5. Tornos Swiss ST26 .....	40
4.1.6. Muratec MT200GT3 .....	42
4.2. Características Principais dos Controladores CNC.....	44
4.2.1. Controlador Okuma.....	45
4.2.2. Controlador Fanuc.....	48
5. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O ESTÁGIO.....	52
5.1. Atividades Desenvolvidas por Setor .....	53
5.1.1. Setor da Qualidade .....	53
5.1.2. Setor do Trabalho Manual e Expedição.....	55
5.1.3. Setor de Corte de Matéria.....	55
5.1.4. Setor do Torneamento.....	56
5.2. <i>Setup</i> de uma Peça no Torno 11 Eixos.....	57
5.2.1. Preparação e Montagem de Máquina.....	57
5.2.2. Validação do Programa.....	63

5.2.3. Controlo Dimensional .....	69
5.2.4. Início de Produção.....	70
5.2.5. Controlo de Tempo de Operações e Conclusões.....	70
5.2.6 Ciclo de Produção .....	73
5.3. Introdução de um Novo Torno no Setor Produtivo.....	74
5.3.1. Caracterização do Equipamento.....	74
5.3.2. Potencialidades do Equipamento .....	78
5.3.3. Análise Comparativa Com Equipamento Existente.....	83
5.3.4. <i>Setup</i> de uma Referência no Torno CMZ.....	85
6. CONCLUSÃO .....	93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	94
ANEXOS .....	98



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Evolução da RRMP até 2020, (Fonte: RRMP).....	3
Figura 2: Organograma da RRMP, (Fonte: RRMP).....	5
Figura 3: Instalações da RRMP, (Google Maps, 2021).....	6
Figura 4: Área de expansão, (adaptado de (Google Maps, 2021)).....	6
Figura 5: Setor de Receção / Expedição de matéria.....	7
Figura 6: Vários equipamentos do setor do manual.....	7
Figura 7: Serrote CNC e serrote mecânico.....	8
Figura 8: Okuma Genos L250E, (Tatung-okuma co., 2014).....	9
Figura 9: Okuma LB3000 EX, (adaptado de (BFM, 2010)).....	9
Figura 10: Okuma LB3000 EXII, (adaptado de (CISION, 2021)).....	10
Figura 11: Tsugami M08DE-II.....	10
Figura 12: Tornos Swiss ST26, (ENGINEERING, 2021).....	10
Figura 13: Muratec MT200 GT3, (Machinery, 2021).....	10
Figura 14: Matsuura VX-1000, (Maquinser, 2016b).....	11
Figura 15: Makino PS105, (My Cam Post, 2021).....	11
Figura 16: Matsuura HPlus-400, (Maquinser, 2016a).....	11
Figura 17: Makino a51nx, (Makino, 2021).....	12
Figura 18: Studer.....	12
Figura 19: Hauser, (adaptado de (RRMP, 2020)).....	13
Figura 20: Kent.....	13
Figura 21: Fanuc Robocut, (FANUC, 2019).....	13
Figura 22: Fluxograma de controlo de qualidade, (Portugal, 2019).....	14
Figura 23: Zeiss Accura II.....	15
Figura 24: Probe e mesa com acessórios de fixação da máquina Zeiss Accura II.....	15
Figura 25: Movimentos do torneamento, (Djair, 2012).....	16
Figura 26: Torno paralelo, (WG Indústria e Comércio, 2016).....	17
Figura 27: Torno de placa, vertical e de revólver, respetivamente, (adaptado de (RML, 2020)).....	17
Figura 28: Torno CNC, (Industry, 2021).....	18
Figura 29: Implementação do CNC, (adaptado de (Relvas, 2018)).....	18
Figura 30: Sistema de fixação por bucha (à esq.) e pinça (à dir.),.....	20
Figura 31: Torreta de 12 posições, (Focus Technology, 2021).....	21
Figura 32: Porta-ferramentas exterior (à esq.) e interior (à dir.).....	21
Figura 33: Suportes motorizados: axial (à esq.); radial (centro) e angular (à dir.).....	22
Figura 34: Suportes motorizados montados numa torreta de um torno CNC, (Reis, 2014).....	22
Figura 35: Torno CNC, (HURCO, 2021).....	23
Figura 36: Medidor de ferramenta num torno CNC.....	23
Figura 37: Sentido de translação dos eixos X e Z.....	24
Figura 38: Cinemática de eixos num torno 3 eixos.....	24

Figura 39: Cinemática de eixos num torno 4 eixos .....	25
Figura 40: Cinemática do torno suíço, (Lopes, 2017) .....	26
Figura 41: Cinemática do torno de 2 eixos, (Adaptado de (MKE, 2019)) .....	35
Figura 42: Peças possíveis de maquinar no torno de 2 eixos .....	36
Figura 43: Cinemática do torno de 4 eixos.....	37
Figura 44: Peças possíveis de maquinar no torno de 4 eixos .....	37
Figura 45: Cinemática do torno de 5 eixos.....	38
Figura 46: Cinemática do torno de 3 eixos, (Adaptado de (WAMATEC, 2021)) .....	40
Figura 47: Peças possíveis de maquinar no torno de 3 eixos .....	40
Figura 48: Cinemática do torno suíço, (Adaptado de (TORNOS, 2017)) .....	41
Figura 49: Peças possíveis de maquinar no torno suíço .....	42
Figura 50: Cinemática do torno de 11 eixos.....	43
Figura 51: Peças possíveis de maquinar no torno de 11 eixos .....	44
Figura 52: Conjunto de controladores CNC .....	44
Figura 53: Controlador Okuma.....	45
Figura 54: Menu de visualização.....	47
Figura 55: Menu de edição .....	47
Figura 56: Menu de compensação de ferramenta.....	48
Figura 57: Menu de zero-peça.....	48
Figura 58: Controladores Fanuc .....	49
Figura 59: Menu Fanuc 1.....	49
Figura 60: Menu Fanuc 2.....	49
Figura 61: Menu Fanuc 3.....	50
Figura 62: Menu Fanuc 4.....	50
Figura 63: Menu Fanuc 5.....	50
Figura 64: Menu Fanuc 6.....	51
Figura 65: Menu Fanuc 7.....	51
Figura 66: Diferentes instrumentos de medição da RRMP .....	54
Figura 67: Suta Universal, (LojadoMecanico, 2021) .....	56
Figura 68: Desenho 3D em SolidWorks do torno Okuma Genos L250E .....	57
Figura 69: Peça a elaborar, visualizada em diferentes perspetivas.....	57
Figura 70: Limpeza da máquina .....	58
Figura 71: Alinhamento da bucha com comparador .....	59
Figura 72: Representação do OHL e da zona de alinhamento de suporte.....	60
Figura 73: Ilustração das 3 torretas com todas as ferramentas montadas.....	60
Figura 74: Alinhamento de ferramentas motorizadas com comparador.....	61
Figura 75: Posições de zero-peça das 3 torretas.....	62
Figura 76: Tabela de <i>offsets</i> .....	63
Figura 77: Etapas 1, 2 e 3 da maquinação .....	64
Figura 78: Etapas 4 e 5 da maquinação .....	64
Figura 79: Etapas 6, 7 e 8 da maquinação .....	64
Figura 80: Etapas 9 e 10 da maquinação .....	65
Figura 81: Maquinação do primeiro lado concluída.....	65

Figura 82: Etapas 11 e 12 da maquinação .....	66
Figura 83: Etapas 13, 14 e 15 da maquinação .....	66
Figura 84: Etapas 16, 17 e 18 da maquinação .....	67
Figura 85: Maquinação do segundo lado concluída .....	67
Figura 86: Ilustração do braço robótico no interior da máquina .....	68
Figura 87: Zonas de carregamento e descarga.....	68
Figura 88: Medição na Zeiss Accura II da peça maquinada.....	69
Figura 89: Exemplo de quebra de ferramenta e montagem.....	70
Figura 90: Zona de maquinação, zona de carga e descarga e braço robótico na Muratec.....	73
Figura 91: CMZ TTL-66, (CMZ, 2021).....	74
Figura 92: Cinemática do torno de 10 eixos.....	75
Figura 93: N° de posições na torreta.....	76
Figura 94: Diferentes menus do controlador CMZ .....	77
Figura 95: Diferença de espaço de maquinação com <i>spindles</i> alinhados e desalinhados, (Adaptado de (CMZ, 2021)).....	78
Figura 96: Caracterização de planos de trabalho na CMZ, (Adaptado de (CMZ, 2021)).....	79
Figura 97: Maquinação com <i>spindles</i> alinhados, (Adaptado de (CMZ, 2021)).....	79
Figura 98: Maquinação com <i>spindles</i> desalinhados, (Adaptado de (CMZ, 2021)).....	80
Figura 99: Maquinação com duas torretas no <i>spindle</i> principal, (Adaptado de (CMZ, 2021)).....	80
Figura 100: Maquinação utilizando o eixo Z4 com ambas as torretas a trabalhar em simultâneo em ambos os <i>spindles</i> , (Adaptado de (CMZ, 2021)).....	81
Figura 101: Maquinação das duas torretas no <i>sub-spindle</i> , (Adaptado de (CMZ, 2021)).....	81
Figura 102: Maquinação com a torreta 1 no <i>spindle</i> principal e com a torreta 2 em ambos os <i>spindles</i> , (Adaptado de (CMZ, 2021)).....	82
Figura 103: Operação de transferência de peça de um <i>spindle</i> para o outro recorrendo ao sangramento, (Adaptado de (CMZ, 2021)) .....	82
Figura 104: Peça a maquinar na CMZ, visualizada em diferentes perspetivas .....	85
Figura 105: Máquina antes e depois da montagem dos suportes de ferramenta nas torretas ...	86
Figura 106: Suportes de ferramenta utilizados na torreta 1 (à esq.) e torreta 2 (à dir.).....	86
Figura 107: Suportes motorizados axial (à esq.), radial (à dir.) e ilustração do <i>offset</i> Z=0.....	87
Figura 108: Alinhamento de ferramentas com recurso a dispositivo comparador .....	87
Figura 109: Definição das operações de facejamento e torneamento.....	88
Figura 110: Definição das operações de furação com vista da peça em corte .....	88
Figura 111: Definição da operação de ranhurar com vista em corte do interior do furo.....	89
Figura 112: Definição da operação de roscagem.....	89
Figura 113: Definição das operações de desbaste e acabamento do segundo lado .....	90
Figura 114: Definição das operações de ranhurar .....	90
Figura 115: Definição das operações de fresagem .....	91
Figura 116: Representação dos quadrantes de maquinação, (Rocha, 2016).....	99
Figura 117: Árvore, bucha e estrutura da máquina .....	104
Figura 118: Carnagem móvel da máquina.....	104
Figura 119: Suporte da torreta.....	104
Figura 120: Torreta.....	105

Figura 121: Calha de apoio do contra-ponto .....	105
Figura 122: Contra-ponto .....	105
Figura 123: Sensor de medição de ferramenta .....	106
Figura 124: Okuma Genos L250E (1) .....	106
Figura 125: Okuma Genos L250E (2) .....	106
Figura 126: Suporte 1 - Motorizada angular .....	107
Figura 127: Suporte 2 - Motorizada radial .....	107
Figura 128: Suporte 3 - Motorizada axial unilateral.....	107
Figura 129: Suporte 4 - Motorizada axial bilateral.....	108
Figura 130: Suporte 5 - Motorizada radial .....	108
Figura 131: Suporte 6 - Suporte de torneamento exterior .....	108
Figura 132: Suporte 7 - Suporte de torneamento exterior .....	108
Figura 133: Makino PS105.....	109
Figura 134: Matsuura VX-1000 .....	109
Figura 135: Matsuura H-Plus 400 .....	110
Figura 136: Makino a51nx .....	110
Figura 137: Folha de processo torreta <i>Upper</i> .....	112
Figura 138: Folha de processo torreta <i>Lower</i> .....	113
Figura 139: Folha de processo torreta <i>Right</i> .....	114
Figura 140: Exemplos de programação Fanuc .....	115



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Tipos de ferros no torneamento, (imagens adaptadas de, (Simões, 2021)).....	27
Tabela 2: Operações e ferramentas no torneamento CNC, (imagens adaptadas de, (SANDVIK, 2021)).....	30
Tabela 3: Código G, (Rocha, 2016).....	33
Tabela 4: Código M, (Rocha, 2016).....	34
Tabela 5: Características principais do torno Genos .....	35
Tabela 6: Características principais do torno LB3000 EX .....	36
Tabela 7: Características principais do torno LB3000 EXII .....	38
Tabela 8: Características principais do torno Tsugami .....	39
Tabela 9: Características principais do torno suíço Tornos.....	41
Tabela 10: Características principais do torno Muratec .....	43
Tabela 11: Tempos das atividades de <i>setup</i> no primeiro dia.....	71
Tabela 12: Tempos das atividades de <i>setup</i> do segundo dia .....	71
Tabela 13: Tempos das atividades de <i>setup</i> do terceiro dia .....	72
Tabela 14: Tempos das atividades de <i>setup</i> do quarto dia .....	72
Tabela 15: Tempos das atividades de <i>setup</i> do quinto dia .....	72
Tabela 16: Características principais do torno CMZ.....	74
Tabela 17: Comparação do equipamento CMZ e Muratec.....	83
Tabela 18: Tolerâncias para ajuste de veios e furos .....	100
Tabela 19: Tolerâncias para ajustes de eixos e furos (continuação).....	101
Tabela 20: Tolerâncias para ajustes de eixos e furos (continuação 2).....	102
Tabela 21: Tolerâncias para ajustes de eixos e furos (continuação 3).....	103
Tabela 22: Propriedades físicas e mecânicas do aço cementado 1.1141 (KIPP, 2021).....	111
Tabela 23: Propriedades físicas e mecânicas do alubronze (Alloys, 2021).....	111



## SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS

**3D** – Três dimensões

$a_p$  – Profundidade de corte

**CAD** – Computer Aided Design (Desenho Assistido por Computador)

**CAM** – Computer Aided Manufacturing (Maquinação Assistida por Computador)

**CNC** – Computer Numerical Control (Controlo Numérico Computorizado)

$d_c$  – Diâmetro de maquinação

$f_n$  – Avanço por rotação

*jog* – Avanço manual controlado da ferramenta

**MDI** – Manual Data Input (Introdução Manual de Dados)

**MEM** – Memory Mode (Modo Automático de Operação)

$n$  – Velocidade de rotação da árvore

**OHL** – Outside Holder Length (Comprimento de ferramenta fora do suporte)

**P** – Potência

**Ra** – Rugosidade média

**rpm** – Rotações por minuto

**Rz** – Rugosidade máxima

$v$  – Velocidade de translação

$V_c$  – Velocidade de corte

$\varnothing_{m\acute{a}x}$  – Diâmetro máximo



## 1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho é referente ao relatório de estágio curricular para obtenção do grau de mestre em Engenharia Mecânica, com especialização em Construção e Manutenção de Equipamentos Mecânicos. Mestrado este que é composto por duas fases, sendo a primeira constituída por 10 unidades curriculares e a segunda referente a um projeto, dissertação ou estágio curricular numa empresa do ramo.

A finalidade da elaboração de um estágio curricular é promover a integração gradual do aluno no mundo de trabalho, através de um intercâmbio entre a escola proveniente e a empresa acolhedora.

### 1.1. Enquadramento

Na indústria metalomecânica atual está muito presente a competitividade entre empresas, inerente à constante procura em satisfazer a necessidade dos clientes o mais rapidamente possível. Para isso, cada empresa terá de adquirir métodos para a realização de tarefas no menor tempo útil.

A aquisição de máquinas CNC são uma mais-valia quando os prazos de entrega de peças maquinadas ao cliente são reduzidos, uma vez que são máquinas que necessitam de muito pouca intervenção por parte do seu operador. No entanto, apesar dos tempos de maquinação serem bastante reduzidos por ser um processo altamente automatizado, os tempos de *setup* podem ser bastante extensos, uma vez que são compostos por várias tarefas de maior ou menor complexidade. Dá-se pelo nome de *setup* o conjunto de atividades de preparação que fazem parte do período que antecede a produção.

O torneamento CNC surge como uma forma de resolução de problemas para o fabrico de peças com geometria adequada para ser obtida por operações de torneamento, onde na grande parte dos casos existe simetria em relação ao eixo de rotação. Neste relatório são abordadas várias questões acerca deste tipo de maquinação bem como a caracterização de vários tipos de centros de torneamento.

### 1.2. Estrutura do Relatório

Este relatório divide-se em seis capítulos principais:

- Primeiro capítulo: breve introdução e enquadramento do tema do relatório de estágio;
- Segundo capítulo: apresentação da empresa onde o autor desenvolveu o seu estágio, a RRMP. São apresentados os diversos setores e tipo de atividades desenvolvidas, bem como as máquinas que operam no setor da produção;

- Terceiro capítulo: enquadramento teórico do tema. São abordados temas como a história e a evolução dos tornos, os principais constituintes de um torno CNC, os diferentes tipos de tornos CNC, os tipos de operações no torneamento, ferramentas utilizadas, parâmetros de corte e códigos de programação CNC;
- Quarto capítulo: caracterização detalhada das máquinas de torneamento da empresa, bem como a sua cinemática e tipo de peças que produz. Descrição dos tipos de controladores existentes e das diversas funcionalidades e menus;
- Quinto capítulo: descrição das atividades desenvolvidas pelo autor, organizadas por setor. Explicação detalhada de um processo completo de *setup* numa máquina de onze eixos. Introdução e descrição de um novo equipamento na empresa, um torno de dez eixos. Elaboração de uma peça neste torno;
- Sexto capítulo: conclusão e proposta de trabalhos futuros.

### **1.3. Motivação e Objetivos**

Tendo em conta os objetivos do autor, que seriam promover uma adaptação na indústria, e desenvolver o seu conhecimento nas áreas da maquinação e programação CNC, optou-se pela realização deste estágio na RRMP, Lda., uma empresa sediada na Tocha, onde a maquinação de componentes e sistemas mecânicos é a principal área de intervenção. O tipo de maquinação mais utilizado é a maquinação por controlo numérico computadorizado.

## 2. A EMPRESA – RRMP, METALOMECÂNICA DE ALTA PRECISÃO

Criada no ano de 2012 por dois empreendedores portugueses com mais de 20 anos de experiência em metalomecânica de alta precisão, a RRMP é uma empresa que atua no setor da subcontratação, com uma área de negócio direcionada para a indústria metalomecânica.

Esta empresa encontra-se sediada na zona industrial da Tocha e afirma-se nesta indústria como uma empresa virada para o mundo, primando pela qualidade de produto desenvolvido e fornecendo relatórios de controlo metrológico com uma precisão maior do que a usual, distinguindo-se assim da demais concorrência.

A RRMP possui uma carteira de clientes formada por importantes empresas do tecido empresarial nacional e internacional. Tal deve-se à confiança adquirida através da qualidade do produto que consegue produzir. Para tal, dispõe não só de uma ampla gama de máquinas CNC de marcas líder, mas também de uma equipa jovem, competente, altamente motivada e dinâmica.

Ao longo dos anos, a RRMP tem garantido um crescimento de volume de negócios constante como é possível observar na figura 1 que remonta a dados até 2017.

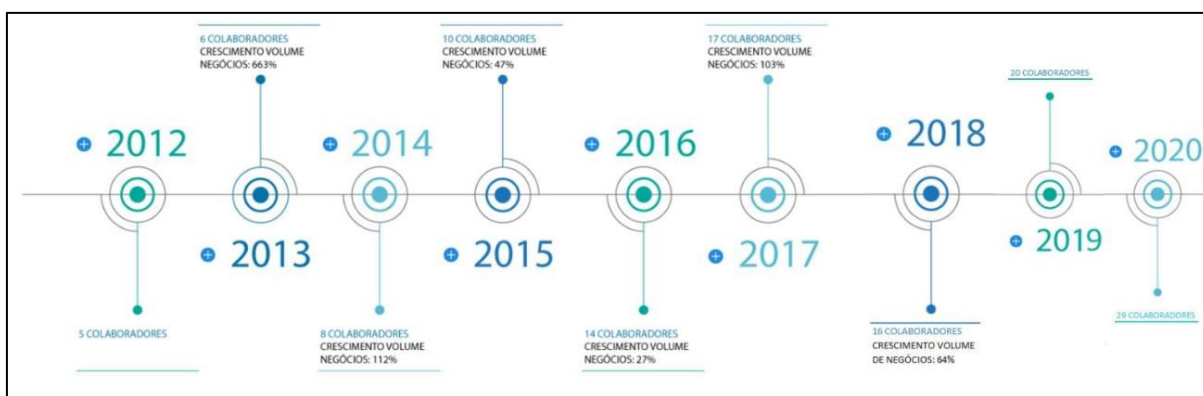


Figura 1: Evolução da RRMP até 2020, (Fonte: RRMP)

### 2.1. Política de Qualidade

De acordo com o âmbito definido para o Sistema de Gestão da Qualidade e Ambiente, fabrico e comercialização de peças, componentes, sistemas mecânicos e eletromecânicos, a RRMP assumiu uma política centrada nos seguintes compromissos:

– Reforçar e diversificar a rede de clientes, fidelizando-os através de um Sistema de Gestão da Qualidade e Ambiente capaz de responder com competência aos desafios que lhe são lançados, garantindo o cumprimento dos requisitos do cliente, das especificações Técnicas, Legais e Regulamentares do Produto e Serviço;

- Revigorar a posição competitiva e a imagem do mercado, através da melhoria das infraestruturas e do aumento da capacidade produtiva, permitindo a satisfação das necessidades e expectativas do cliente e restantes partes interessadas,
- Melhorar continuamente o Sistema de Gestão da Qualidade e Ambiente, mantendo-o adequado aos seus produtos, atividades e serviços e orientado para os objetivos e princípios definidos, incluindo a melhoria dos impactes ambientais a nível de resíduos gerados pela RRMP.
- Produzir peças, componentes, sistemas mecânicos e eletromecânicos numa base tecnológica sólida, continuamente atualizada, garantindo o aumento da produtividade e volume de negócios da empresa.

A Gerência está empenhada na persecução destes princípios comprometendo-se a assegurar os recursos necessários para, em conjunto com todos os colaboradores, os alcançar. Consciente dos desafios que lhe são colocados, a RRMP compromete-se a proteger o ambiente nomeadamente na prevenção da poluição e melhoria contínua da sua prestação, garantindo que os seus serviços e produtos sejam uma mais-valia para as partes interessadas, tendo sempre presente o uso sustentável de recursos.

## **2.2. Missão**

Prestar serviços para o mercado nacional e internacional, na área da conceção de produto, garantindo confiança, qualidade e preço justo.

Fabricar e comercializar peças, componentes, sistemas mecânicos e eletromecânicos com eficiência e qualidade de forma a obter a satisfação dos clientes, gerando continuamente valores que garantam a perpetuação da empresa no mercado.

## **2.3. Visão**

Alcançar e manter uma imagem de credibilidade e competência.

Surpreender e conquistar a fidelidade do cliente, mantendo um relacionamento duradouro, baseado nos princípios da qualidade total, procurando a realização das pessoas envolvidas no processo e garantindo lucratividade.

Afirmar-se como uma empresa pró-ativa e inovadora com um serviço ao cliente de excelência e colaboradores que primem pelo profissionalismo e competência.

A RRMP pretende ser uma empresa líder na indústria metalomecânica.

## 2.4. Valores

Esta empresa rege-se pelos seguintes valores:

- Prioridade ao cliente;
- Trabalho em equipa;
- Aprendizagem contínua;
- Flexibilidade;
- Qualidade;
- Melhoria contínua.

## 2.5. Organograma

Foi criado um organograma da empresa (figura 2) com vista a atualizar o que seria a sua organização por setores.

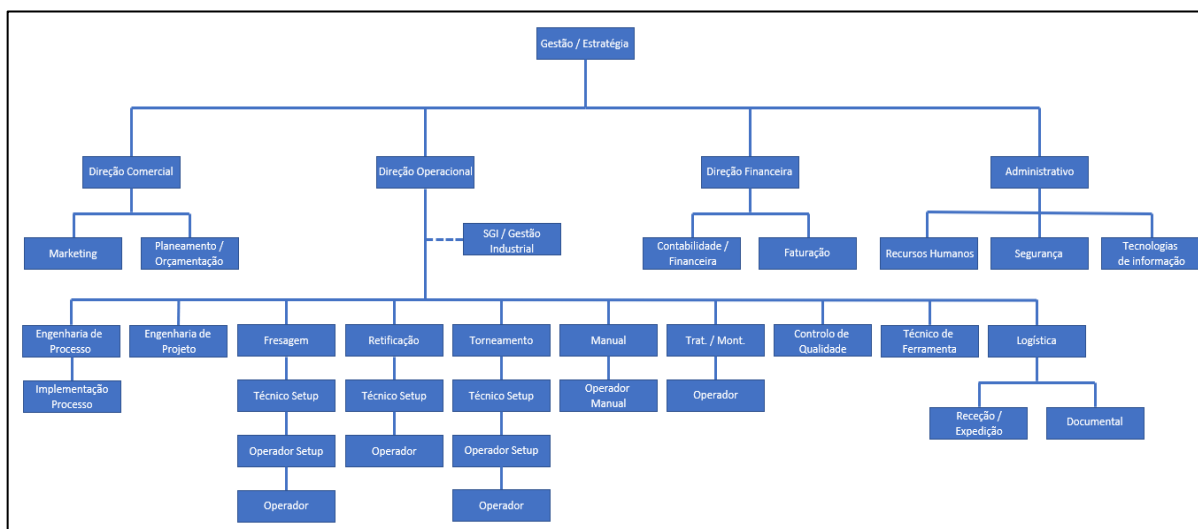


Figura 2: Organograma da RRMP, (Fonte: RRMP)

## 2.6. Instalações

Com o crescimento do volume de negócios ao longo dos anos, a RRMP tem conseguido expandir as suas infraestruturas de modo a obter uma maior produtividade e organização de espaço. Desde a sua fundação, em 2012, até ao ano de 2017, esta empresa possuía um pavilhão com apenas 600 metros quadrados. A partir deste ano, a RRMP expandiu as suas instalações atingindo os 1000 metros quadrados.

Na figura 3 é possível observar a expansão referida.



**Figura 3: Instalações da RRMP, (Google Maps, 2021)**

Em 2020, a empresa decidiu mais uma vez expandir as suas instalações. Desta vez optando pela construção de um pavilhão ao lado do anterior (figura 4), duplicando assim o seu tamanho até à data, com o objetivo de obter uma maior área útil de trabalho.



**Figura 4: Área de expansão, (adaptado de (Google Maps, 2021))**

## 2.7. Setores

O sucesso da empresa está muito dependente do bom funcionamento e sincronização de diversos setores. É necessário que todos estes setores trabalhem entre si com o máximo de organização e disciplina possível para que o processo atinja um fim proveitoso.

O prazo de entregas combinado com clientes é o mais afetado se estes setores não funcionarem como um relógio, assim é necessário garantir a ordem e comunicação entre todos.

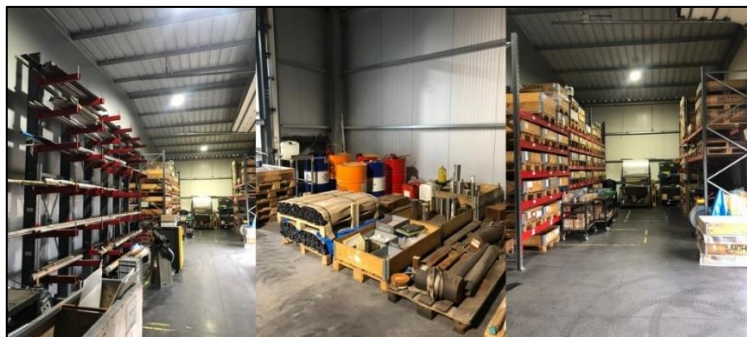
### 2.7.1. Receção / Expedição

Todo o processo que envolva receção de matéria-prima, ferramentas, ou qualquer outro tipo de mercadoria dá entrada neste departamento.

Este setor é organizado por um sistema de stock em PHC com as localizações de matéria-prima e material acabado ou semiacabado.

É neste local que também é feito o embalagem e a expedição do material para envio, conforme mostra a figura 5.

O embalagem das peças maquinadas é uma parte muito importante da expedição, pois cada referência exige um tipo específico de embalagem, consoante o seu formato, fragilidade ou tipo de material. Para isso são utilizados diversos acessórios de embalagem como paletes, caixas de cartão de diferentes dimensões, plástico de bolha para proteção, etc.



**Figura 5: Setor de Receção / Expedição de matéria**

### **2.7.2. Acabamentos Manuais e Oxidação**

Tudo o que envolve manufaturação, necessita de uma predisposição a transformar as qualidades dos homens em recursos para que o trabalho feito seja concluído com sucesso.

Assim, este é um setor que envolve grande perícia e concentração por partes dos colaboradores. Todo o trabalho que envolva manufatura de material passa por aqui.

O trabalho desenvolvido envolve principalmente a limpeza de rebarbas das peças produzidas, limpeza de roscas, escareamento de furos, limpeza de arestas vivas, chanframentos, soldaduras, entre outros.

Para complementar todo este processo, estão à disposição neste departamento uma diversidade de equipamentos como são exemplo alguns demonstrados na figura 6.



**Figura 6: Vários equipamentos do setor do manual**

### 2.7.3. Planeamento

É um setor fundamental para que todas as operações da empresa sejam desenvolvidas e organizadas entre si com o objetivo de fornecer ao cliente um serviço o mais eficiente possível.

Sem planeamento, as ações nunca seriam concluídas com sucesso.

Neste departamento são executadas ações tais como: planejar produções; escolha de máquina onde se produz determinada peça; gestão de stocks; etc.

### 2.7.4. Corte de Matéria

A preparação da matéria para produção é a primeira operação a que esta está sujeita. Consoante o tipo de peças a maquinar é necessário cortar a matéria-prima em diferentes tamanhos e/ou formatos. Para isso, a RRMP dispõe de dois equipamentos de corte de matéria, um serrote elétrico e um CNC (figura 7).



Figura 7: Serrote CNC e serrote mecânico

### 2.7.5. Ferramentaria

Todas as ferramentas encomendadas, são arrecadados na ferramentaria da RRMP. Tudo o que envolva pastilhas de corte, suportes de ferramenta, pinças, fresas, brocas, machos, mandris, entre outros, são armazenados consoante a sua referência, em armários com localizações definidas.

Cada vez que um colaborador necessita de alguma ferramenta, terá de se dirigir a esta secção, procurar a sua localização através da referência, e apontar a requisição para gestão de stock.

É também na ferramentaria que, no caso dos centros de maquinação, são preparadas as montagens de ferramenta termicamente.

### 2.7.8. Produção

A produção é também ela subdividida em 3 setores: torneamento, fresagem e retificação.

#### Torneamento

O torneamento é responsável pela produção de peças de formato maioritariamente circular, sendo este setor composto por sete máquinas CNC. Três destas máquinas estão preparadas para alta produção, ou seja, têm capacidade para produzir peças vinte e quatro horas consecutivas.

As máquinas que constituem este setor são as seguintes:

**-Okuma Genos L250E:** torno CNC de 2 eixos (figura 8);



**Figura 8: Okuma Genos L250E, (Tatung-okuma co., 2014)**

**-Okuma LB3000 EX:** torno CNC de 4 eixos (figura 9);



**Figura 9: Okuma LB3000 EX, (adaptado de (BFM, 2010))**

-**Okuma LB3000 EXII:** torno CNC de 5 eixos (figura 10);



**Figura 10: Okuma LB3000 EXII, (adaptado de (CISION, 2021))**

-**Tsugami M08DE-II:** torno CNC de 3 eixos (figura 11);



**Figura 11: Tsugami M08DE-II**

-**Tornos Swiss ST26:** torno suíço CNC de 9 eixos (figura 12);



**Figura 12: Tornos Swiss ST26, (ENGINEERING, 2021)**

-**Muratec MT200GT3:** torno CNC de 11 eixos (figura 13).



**Figura 13: Muratec MT200 GT3, (Machinery, 2021)**

## Fresagem

A fresagem é o setor responsável pela produção de peças de formato maioritariamente plano, retangular, podendo também produzir peças de geometria circular.

É composto por cinco centros de maquinação estando dois deles preparados para alta produção  
As máquinas que constituem este setor são:

**-Matsuura VX-1000 (2 unidades):** centro de maquinação vertical de 3 eixos (figura 14);



Figura 14: Matsuura VX-1000, (Maquinsler, 2016b)

**-Makino PS105:** centro de maquinação vertical de 3 eixos (figura 15);



Figura 15: Makino PS105, (My Cam Post, 2021)

**-Matsuura H-Plus 400:** centro de maquinação horizontal de 4 eixos preparado para alta produção. Esta máquina contém 2 paletes que permitem o seu trabalho 24 sobre 24 horas, ou seja, enquanto uma paleta está a maquinar, a outra paleta está disponível para que o operador faça a troca da peça acabada por matéria-prima (figura 16);



Figura 16: Matsuura HPlus-400, (Maquinsler, 2016a)

-**Makino a51nx**: centro de maquinação horizontal de 4 eixos preparado para alta produção (figura 17).



**Figura 17: Makino a51nx, (Makino, 2021)**

### 2.7.9. Retificação

O setor da retificação é a área pela qual a RRMP se distingue da concorrência graças ao elevado número de anos de experiência, que confere um enorme grau de conhecimento nesta área.

Nesta empresa, as áreas de experiência predominantes são a Retificação Plana, a Retificação Cilíndrica, a Retificação por Coordenadas e a Retificação *Centerless*.

O objetivo deste setor, é não só fazer com que as peças maquinadas atinjam cotas com precisão superior ao micrómetro, mas também atingir valores de rugosidade inferiores à décima de micrómetro ( $Ra < 0,1 \mu m$ ).

As máquinas que constituem este setor são:

-**Studer**: retificadora CNC cilíndrica externa (figura 18);



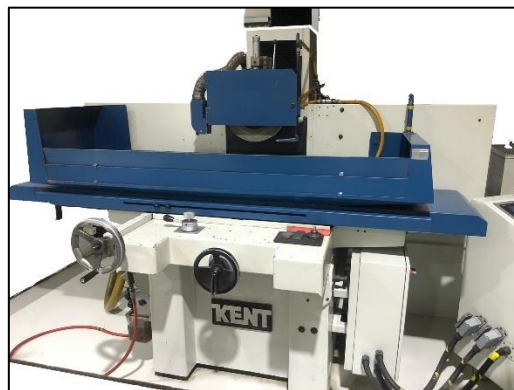
**Figura 18: Studer**

**-Hauser:** retificadora por coordenadas (figura 19);



**Figura 19: Hauser, (adaptado de (RRMP, 2020))**

**-Kent:** retificadora plana (figura 20);



**Figura 20: Kent**

**-Fanuc Robocut:** máquina de corte a fio (figura 21).



**Figura 21: Fanuc Robocut, (FANUC, 2019)**

### 2.7.10. Controlo de Qualidade

Todas as peças produzidas pela RRMP são sujeitas a um rigoroso controlo de qualidade, com o objetivo de fornecer ao cliente a máxima qualidade de produto e assim alcançar a confiança necessária para o negócio prosperar. O controlo final é acompanhado de um relatório que será depois fornecido ao cliente.

As produções são acompanhadas pelo preenchimento de relatórios de performance de produção, para garantir que os operadores controlam as cotas mais críticas das peças produzidas. Antes do envio para o cliente, a encomenda é ainda controlada por amostragem pelo departamento de controlo de qualidade. Se demonstrar necessário, o controlo é elaborado a 100% da encomenda.

Peças que se encontrem em não conformidade com a exigência dos clientes são descartadas, e, analisa-se a existência da possibilidade da sua reparação.

O controlo de qualidade rege-se pelo fluxograma da figura 22.

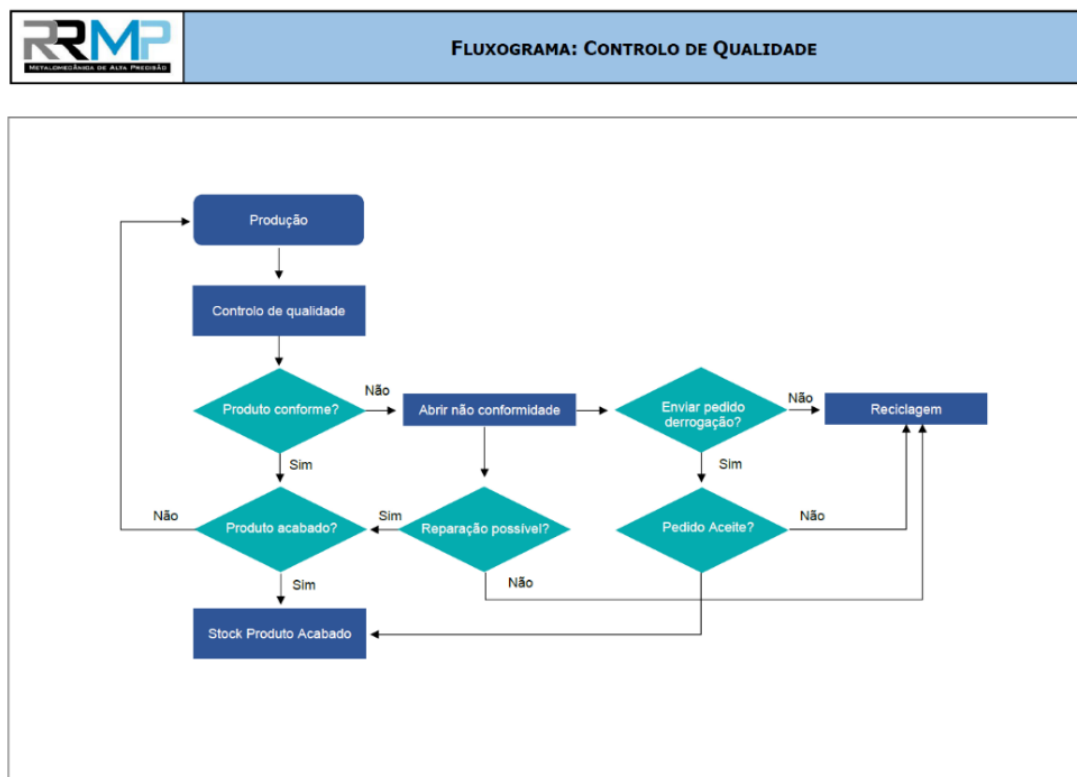


Figura 22: Fluxograma de controlo de qualidade, (Portugal, 2019)

O controlo de qualidade é um procedimento metuculoso, que exige muita capacidade de concentração por parte dos intervenientes.

A RRMP dispõe, também neste setor, de um conjunto de equipamentos de topo, para garantir a máxima precisão e o máximo rigor na aquisição de dados relativos a cotas de peças, sendo elas de maior ou menor complexidade.

O relatório de controlo de qualidade final é quase sempre realizado através de uma máquina de alta qualidade e precisão. Esta máquina é a *Zeiss Accura II*.

A *Zeiss Accura II*, que é demonstrada na figura 23, procede à aquisição de dados através de um sistema de coordenadas. Para isso utiliza um apalpador, *Vast XT*, de alta sensibilidade que permite medir peças de geometria complexa através de contacto. Os dados adquiridos são depois transpostos para um *software* que realiza o relatório de medição. Na figura 24, observa-se a mesa de medição, juntamente com os acessórios utilizados usualmente para fixar as referências.



**Figura 23: Zeiss Accura II**



**Figura 24: Probe e mesa com acessórios de fixação da máquina Zeiss Accura II**

### 3. CARACTERIZAÇÃO DO TORNEAMENTO

O torneamento é um dos diversos processos de maquinação existentes. Consiste numa operação em que um determinado sólido, acoplado a um sistema de fixação da máquina-ferramenta, gira em volta de um eixo da mesma, sendo esta máquina-ferramenta denominada torno. A peça a maquinar toma forma com recurso a ferramentas que se deslocam em determinadas trajetórias (Santos, 1998).

Segundo Relvas (2018) o torneamento é caracterizado por três tipos de movimentos que possibilitam a elaboração da peça: o Movimento principal de corte; o Movimento de avanço e o Movimento de penetramento.

O primeiro consiste no movimento de rotação da peça e exprime-se em m/min ou em rpm dependendo se se utilizar a velocidade de corte ou a velocidade angular, respetivamente (representado na figura 25, item 1).

O segundo representa o movimento longitudinal da ferramenta sobre a peça. É este movimento que define a espessura da avara. É dada em mm/min ou em mm/rot (representado na figura 25, item 2).

Já o último movimento é caracterizado pelo movimento transversal da ferramenta em relação à peça, determina a altura da avara e é expresso em milímetros (representado na figura 25 item 3) (Relvas, 2018).

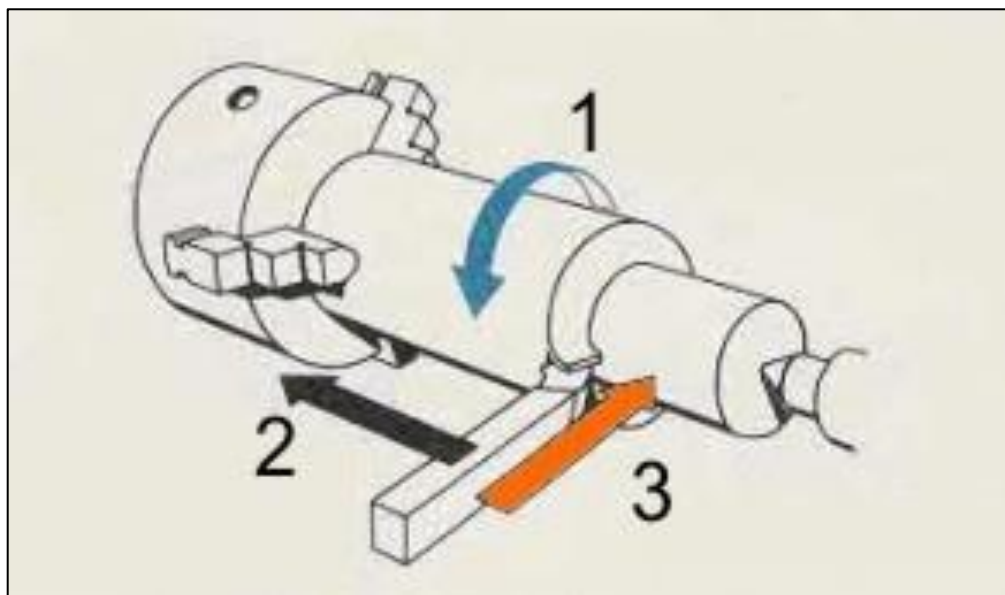


Figura 25: Movimentos do torneamento, (Djair, 2012)

### 3.1. Tornos Convencionais vs. Tornos CNC

A mais antiga das máquinas-ferramenta é o torno. Segundo Davim, os primeiros tornos foram construídos com o objetivo de trabalhar a madeira, no entanto, desde a mais remota antiguidade, começaram-se também a trabalhar neles os metais. Como prova disso, foram encontrados, na cidade do Antigo Egipto, Tebas, utensílios produzidos pelos egípcios, que conservam marcas da utilização de uma ferramenta do tipo torno (Davim, 2008).

Ao longo dos anos o torneamento tem sofrido uma evolução no que toca a processos e tecnologias de fabrico. Desde o primeiro torno existente, o torno de vara, passando pelo torno de fuso e pelo torno de *Leonardo da Vinci*, entre outros (Neves, 2017), tornos cada vez mais complexos foram desenvolvidos a partir destes mais rudimentares. Foram desenvolvidos os tornos de pontos, usualmente denominados de tornos paralelos (figura 26). É o torno mecânico mais convencional e que ainda hoje é dos mais utilizados na indústria metalomecânica (Mendes, 2019).

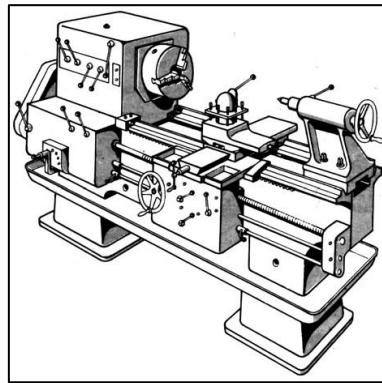


Figura 26: Torno paralelo, (WG Indústria e Comércio, 2016)

Para além do torno paralelo, foram desenvolvidos outros tipos de tornos, representados na figura 27, como o torno de placa, utilizado para maquinar peças de maior diâmetro, o torno vertical, com eixo de rotação vertical, especialmente desenhado para maquinação de peças mais pesadas, e o torno revólver que foi o primeiro torno construído com objetivo de alta produção, ou seja, o fabrico de pequenas peças em série. Este torno semiautomático possui um veio principal que é oco, com o objetivo de fazer passar pelo seu interior uma barra de matéria-prima, (Neves, 2017; Mendes, 2019).



Figura 27: Torno de placa, vertical e de revólver, respetivamente, (adaptado de (RML, 2020))

Os tornos equipados com “Controlo Numérico Computorizado” (figura 28), ou seja, um sistema de controlo remoto eletrónico, são o tipo de tornos mais utilizados pela indústria atual. Os movimentos de maquinação nestas máquinas são todos previamente programados, qualquer que seja o tipo de movimento: movimento das ferramentas; movimentos de avanço; movimentos de profundidade de corte, etc. (Santos, 1998).



**Figura 28: Torno CNC, (Industry, 2021)**

O torno CNC é uma poderosa máquina-ferramenta que permite o fabrico de peças complexas, sem ser necessária a constante atenção por parte do operador, uma vez que são máquinas de maquinação automáticas e programáveis com recurso a programação direta por código G, ou então por programação assistida por computador (CAM) e posteriormente transformada em código G por um pós-processador. Geralmente este pós-processador é definido para cada máquina.

Segundo Moreira (2012), o Controlo Numérico Computorizado utiliza um computador como unidade de controlo de uma determinada máquina-ferramenta. Este tem a função de elaborar cálculos e operações lógicas necessárias à completa maquinação de uma peça. São imensas as vantagens do CNC na indústria, entre elas o aumento de produtividade, a redução de controlo por parte do operador, oferece maior segurança ao operador, maior precisão e elaboração de peças mais complexas (Moreira, 2012). Na figura 29 é demonstrado um esquema da implementação do CNC.



**Figura 29: Implementação do CNC, (adaptado de (Relvas, 2018))**

Os tornos dotados de Controlo Numérico Computorizado sofreram também eles alterações e evoluções ao longo dos anos. De acordo com Ferrari (2003), os tornos CNC podem ser distinguidos por diferentes maneiras, sendo uma delas o número de fusos que possuem: tornos monofuso são tornos que possuem apenas um fuso, portanto uma árvore, tornos bifusos apresentam dois fusos e conseqüentemente duas árvores, e os tornos multifusos que apresentam mais que dois fusos (Ferrari, 2003).

## **3.2. Principais Constituintes de Um Torno CNC**

São vários os componentes que trabalham em uníssonos para que estas máquinas funcionem nas melhores condições e com a melhor precisão possível.

Segundo Rabe (2001), existem três sistemas principais que fazem parte de um torno. Um sistema de fixação e acionamento do movimento da peça, um sistema de fixação da ferramenta e um sistema de posicionamento e coordenadas (Rabe, 2001).

### **3.2.1. Sistema de Fixação e Acionamento da Peça**

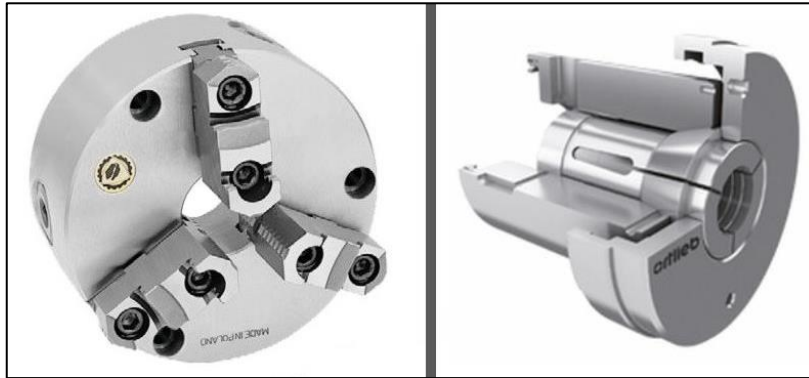
Do primeiro sistema fazem parte o fuso e a árvore usualmente chamada de cabeçote ou *spindle*. O fuso está acoplado à árvore e permite o movimento de rotação da mesma numa determinada gama de velocidades, dependendo de cada máquina. Os tornos podem conter um fuso e uma árvore, dois fusos com duas árvores, ou até mesmo mais, como se verá mais à frente.

A fixação da peça é proveniente da interação entre a árvore e outro componente específico que pode ser de vários tipos, como por exemplo: bucha de três, quatro ou seis grampos; pinças; prato liso ou fixada entre pontos. Destes, o mais utilizado é sem dúvida o sistema de fixação recorrendo a bucha de 3 grampos, seguido do sistema de fixação por pinça.

O atrito é o elemento físico que promove a boa fixação da peça no elemento de fixação em causa. Esta força de atrito deve ser superior às forças exercidas pela maquinação, de modo a que a peça não se desloque relativamente ao elemento de fixação, conforme se encontra ilustrado na figura 30.

As buchas podem ser de aperto manual ou hidráulico. Neste último caso, as mesmas têm um determinado curso de diâmetro de aperto, no entanto, se se pretender maquinar peças de diâmetros diferentes, os grampos (mordentes) podem ser ajustados ao diâmetro necessário. Por vezes é necessário torner grampos para estes terem a geometria de aperto de acordo com a peça a fixar, sendo este processo denominado de retificação de grampos. As mesmas podem ainda fixar peças tanto pelo seu exterior ou pelo seu interior, dependendo da geometria ser em veio ou tubular, respetivamente (Rocha, 2016).

As pinças são muito utilizadas na maquinação de peças a partir de barras, sendo o sistema que permite a maior precisão, pois reduz as vibrações de maquinação graças ao aperto uniforme por toda a superfície da peça (Lopes, 2017).



**Figura 30: Sistema de fixação por bucha (à esq.) e pinça (à dir.), adaptado de, (WGM-Maschinen, 2021; GmbH, 2018)**

Para além dos componentes mencionados, existe um outro conjunto de dispositivos que tem como objetivo o auxílio da maquinação de peças de comprimento relativamente longo.

Nestas peças é necessário um apoio extra para, não só, prevenir esforços de flexão aquando da maquinação, mas também para prevenir vibrações indesejadas.

O contraponto é o dispositivo mais comum para prevenir este tipo de situação, no entanto existe outro método de fixação da peça longa, a utilização de uma luneta.

Enquanto que o contraponto segura a peça pela extremidade oposta à árvore e necessita um furo prévio na peça para poder acoplar (geralmente feito por uma broca de ponto), a luneta apoia no intermédio entre a árvore e o contraponto, sendo necessária a maquinação prévia da área onde este irá acoplar (Lopes, 2017).

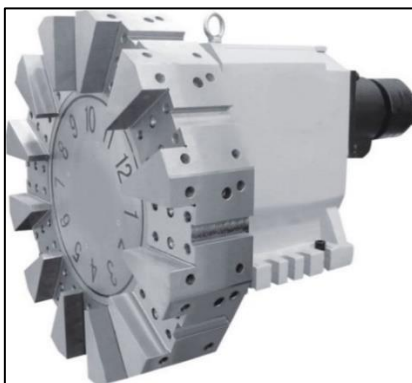
A utilização destes dispositivos é necessária quando se verifica um comprimento total da peça superior a quatro vezes o seu diâmetro, dependendo também do material.

### **3.2.2. Sistema de Fixação da Ferramenta**

Os sistemas de fixação de ferramenta permitem manter a ferramenta fixa no momento da maquinação com o objetivo de não deixar a mesma se deslocar, relativamente, devido às forças de corte provenientes. Estes sistemas são compostos por um componente em geral denominado carrocel, torreta ou porta-ferramentas.

## Torreta

A torreta, representada na figura 31, permite o acoplamento de um determinado número de suportes de ferramenta dependendo do número de posições que a mesma suporta. Esta gira a sua posição consoante a ferramenta que se pretende utilizar na maquinação.

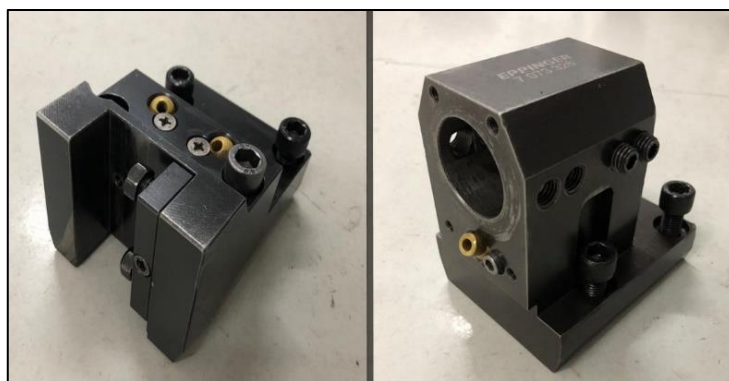


**Figura 31: Torreta de 12 posições, (Focus Technology, 2021)**

## Suportes de ferramenta

Os suportes de ferramenta, segundo Lopes (2017), são o elemento de ligação entre a máquina e a ferramenta, sendo descritos a seguir consoante o seu tipo que pode ser: suporte de ferramenta exterior ou interior (figura 32); e suportes de ferramenta motorizada no caso dos tornos que possuem esta tecnologia, que geralmente são os tornos de mais de dois eixos como se verá mais à frente.

Estes suportes permitem o acoplamento de uma variada gama de ferramentas, desde ferros de torneamento, brocas, mandris, escareadores, etc. São utilizados suportes de ferramenta exteriores para realizar operações de torneamento exterior, e são utilizados os suportes de ferramenta de interiores para utilização de ferramentas que permitam a elaboração de operações de torneamento interior ou furação.



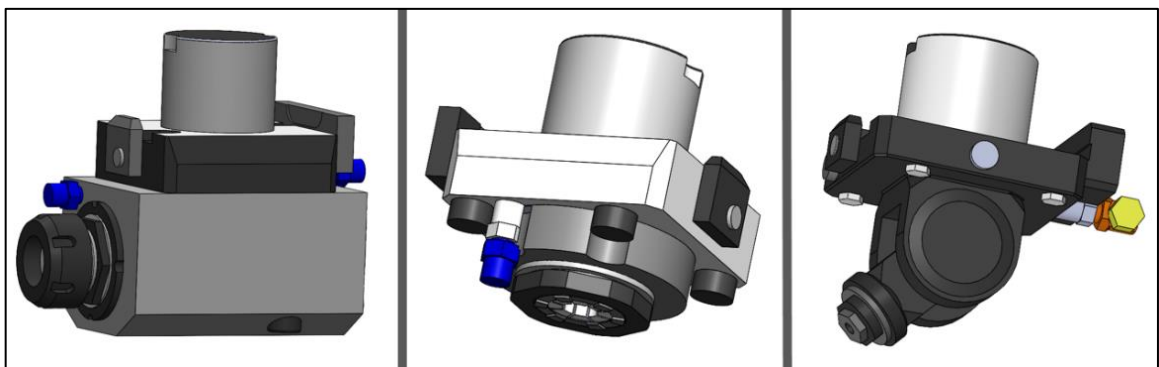
**Figura 32: Porta-ferramentas exterior (à esq.) e interior (à dir.)**

### Suportes de ferramenta motorizada

Atualmente, os suportes de ferramenta motorizada para utilização de ferramentas rotativas são cada vez mais utilizados nos tornos CNC de três ou mais eixos. São várias as operações que é possível elaborar através da utilização deste sistema, desde furações, mandrilamentos, fresagens, roscagens, entre outras (Rocha, 2016).

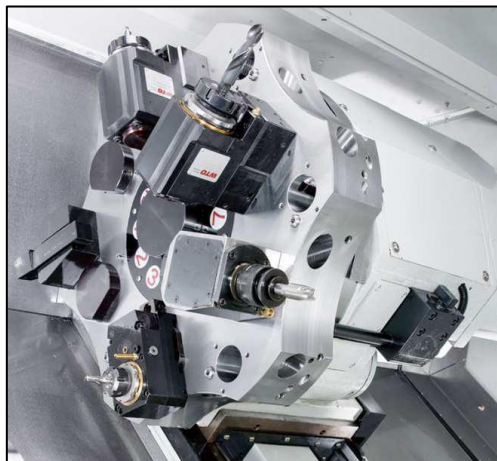
O controlo angular da árvore através do eixo **C** permite obter geometrias que não seriam possíveis de obter num torno de dois eixos. Com a conjugação do eixo **C** com os restantes eixos lineares da máquina, garante-se o correto posicionamento da peça para a operação a executar, indexando angularmente e mantendo a posição estaticamente da árvore onde está acoplada a peça através do sistema de fixação (Lopes, 2017).

Existem três tipos de suportes para ferramenta motorizada, os suportes radiais, os suportes axiais e os suportes angulares (figura 33). Uma ferramenta axial opera paralelamente ao eixo **Z** da máquina, já uma ferramenta radial opera paralelamente ao eixo **X** da máquina (Rocha, 2016), por outro lado os suportes angulares operam segundo o ângulo definido.



**Figura 33: Suportes motorizados: axial (à esq.); radial (centro) e angular (à dir.)**

Depois de montados na torreta, os suportes para ferramentas motorizadas apresentam o aspeto representado na figura 34.



**Figura 34: Suportes motorizados montados numa torreta de um torno CNC, (Reis, 2014)**

### 3.2.3. Sistema de Posicionamento e Coordenadas

É o sistema responsável pelo correto posicionamento da ferramenta em relação à peça a maquinar. Permite executar com a maior precisão possível as trajetórias definidas pelo código G. Estes posicionamentos são baseados num referencial (Rabe, 2001).

Para garantir estes posicionamentos são utilizados alguns componentes tais como: guias; motores de passo; engrenagens; polias, entre outros (Reis, 2014), sendo alguns destes possíveis de observar na figura 35.

Estas máquinas utilizam também um sistema metrológico para garantir todas as cotas à maquinação, através de um controlo da ativação das guias de movimento controlado por componentes eletrónicos como por exemplo *encoders*, que são dispositivos de medida da posição e de deslocamento (Rabe, 2001; Reis, 2014).

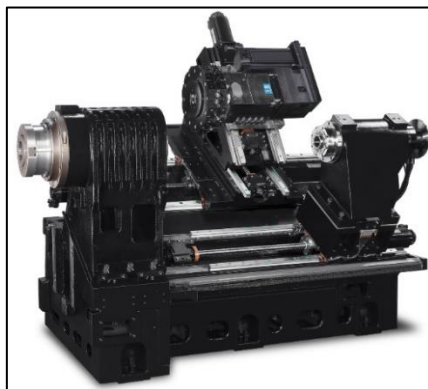


Figura 35: Torno CNC, (HURCO, 2021)

#### Sensor medidor de ferramenta

O medidor de ferramenta, demonstrado na figura 36, é um sensor que funciona por contacto, e tem como objetivo calcular a medida exata das ferramentas posicionadas na torreta. O medidor tem a capacidade de medir ferramentas segundo dois eixos, **X** e **Z**, e gravar os dados de cada ferramenta na memória da máquina.

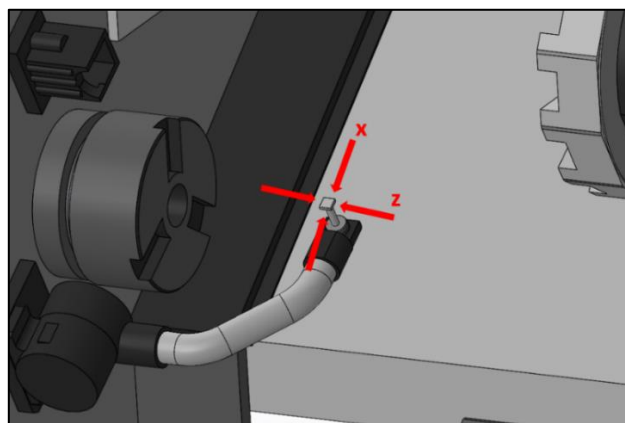


Figura 36: Medidor de ferramenta num torno CNC

### 3.3. Tipologias de Tornos CNC

#### 3.3.1. Tornos 2 Eixos

Segundo Rocha (2016), um torno CNC é, geralmente, composto por dois eixos lineares, **X** e **Z**. Estes são os tornos mais simples da categoria dos tornos CNC, na qual o eixo **X** é o eixo transversal ao eixo de rotação da peça, e que define os diâmetros pretendidos na peça. Já o eixo **Z** é o eixo paralelo ao eixo de rotação do sólido a maquinar e define os comprimentos definidos pelos desenhos técnicos de cada peça (Rocha, 2016).

O sentido positivo do eixo **X** é o sentido do afastamento da ferramenta do eixo de rotação, já o sentido positivo do eixo **Z** corresponde ao sentido do afastamento da ferramenta da peça a maquinar (Rocha, 2016) como demonstrado na figura 37.

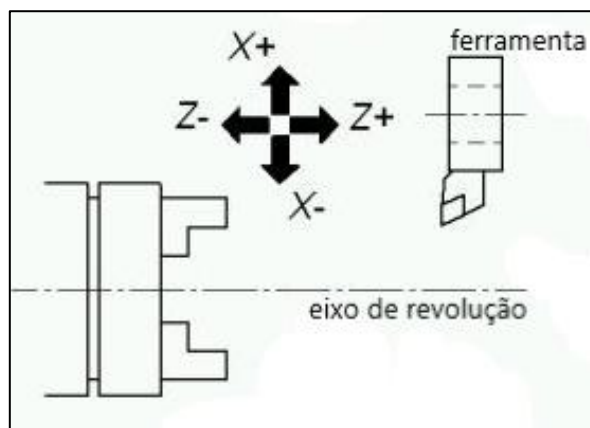


Figura 37: Sentido de translação dos eixos X e Z

#### 3.3.2. Tornos 3 Eixos

A utilização do eixo **C** é uma característica dos tornos a partir de três eixos. O eixo **C** permite o controlo da posição angular da árvore (figura 38). O objetivo principal da utilização deste eixo é definir a posição de entrada da ferramenta, bem como o posicionamento da árvore para a utilização de ferramentas motorizadas (Rocha, 2016).

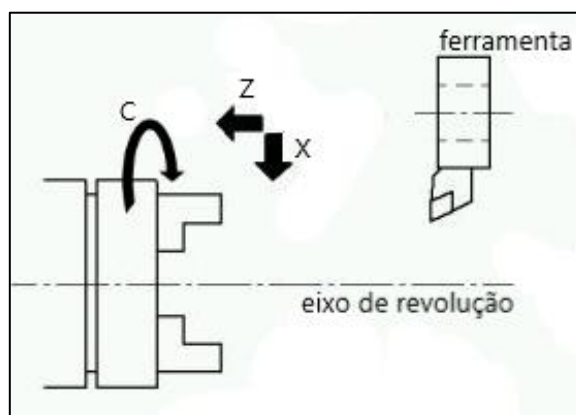


Figura 38: Cinemática de eixos num torno 3 eixos



(tipos de tornos acima descritos). Nestas máquinas, é a ferramenta que se desloca no sentido da peça.

Por outro lado, os tornos de cabeçote móvel são utilizados na maquinação de peças com diâmetros relativamente pequenos (até 32 mm), ou quando a relação “comprimento-diâmetro” é elevada. Este tipo de tornos são também chamados de tornos suíços por terem sido criados na Suíça, e são desenhados para fabrico de peças exclusivamente a partir de barras (Ferrari, 2003).

Nos tornos suíços, a disposição das ferramentas é bastante diferente das demais máquinas-ferramentas de torneamento. Estas encontram-se acopladas lado a lado em várias carros porta-ferramentas. A maior diferença comparando os dois tipos de tornos, é que, nos tornos de cabeçote móvel, é a peça que se desloca na direção da ferramenta graças à movimentação da árvore segundo o eixo **Z**.

O torno suíço (figura 40) possui geralmente sete eixos ou mais, dependendo do número de árvores (normalmente possui duas árvores), do número de carros porta-ferramenta e se possui ou não eixos **C** para utilização de ferramentas motorizadas (Lopes, 2017). O funcionamento deste tipo de torno será explicado com maior detalhe mais à frente.

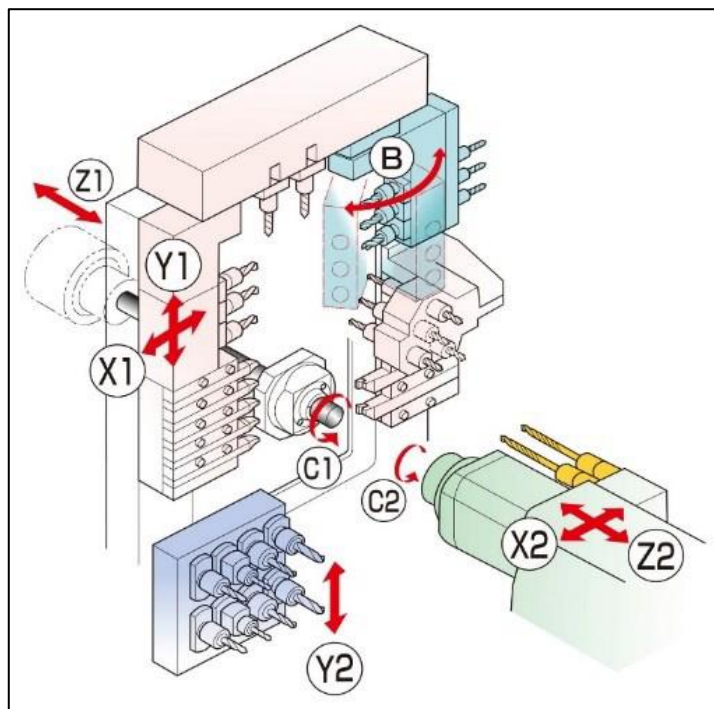


Figura 40: Cinemática do torno suíço, (Lopes, 2017)

### 3.4. Tipos de Operações no Torneamento e Ferramentas Utilizadas

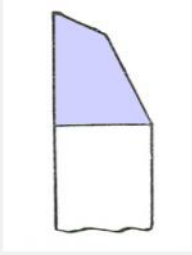
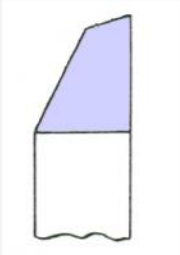
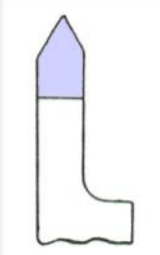
São inúmeras as operações possíveis de executar num torno CNC. Consoante a operação que se pretende efetuar, existe uma panóplia de ferramentas dos mais diversos tipos e formatos, sendo cada tipo específico para cada operação.

Existem dois tipos de maquinação principais no torneamento, a externa e a interna. Nas operações de maquinação externa são utilizadas ferramentas designadas de ferramentas

externas. Consequentemente para as operações de maquinação internas são utilizadas ferramentas classificadas como internas (Rocha, 2016).

As classificações acima mencionadas são ainda subdivididas segundo o seu sentido de corte que pode ser esquerda, direita ou ao centro. Estas classificações são imprescindíveis quando se trata de elaborar a programação da maquinação de uma peça, qual o sentido de rotação da árvore, e qual a posição de montagem da ferramenta no torreta (Rocha, 2016).

**Tabela 1: Tipos de ferros no torneamento, (imagens adaptadas de, (Simões, 2021))**

<i>Tipo</i>	<i>Direita</i>	<i>Esquerda</i>	<i>Ao Centro</i>
<i>Ilustração</i>			

As ferramentas utilizadas no torneamento são compostas por um suporte em aço de construção. A estes são fixadas por meio de soldadura ou fixação mecânica pastilhas de corte de metal duro (Completo et al., 2009).

São apresentadas em seguida as operações mais comuns no torneamento CNC, bem como as ferramentas mais utilizadas para os tipos de operações em específico.

### 3.4.1. Torneamento Cilíndrico

O torneamento cilíndrico, que se encontra representado na operação 1 da tabela 2, é a operação mais utilizada no torneamento. É uma operação onde a ferramenta se desloca, na sua maioria, paralelamente ao eixo de rotação da peça (Relvas, 2018), mas pode também deslocar-se segundo o contorno da peça. Sendo que a última se denomina torneamento cilíndrico de cópia (Rocha, 2016).

Todos estes tipos de torneamento cilíndrico podem ser tanto exteriores ou interiores, sendo as ferramentas utilizadas denominadas de ferros de debaste exteriores e interiores e ferros de acabamento exteriores e interiores.

Os ferros de debaste apresentam uma geometria bastante robusta, com pastilhas de aproximadamente 90° ou 80° entre as faces na maior parte dos casos, com o objetivo de suportar esforços de maquinação em operações de remoção de muito material (Rocha, 2016).

Já os ferros de acabamento têm uma geometria desenhada para conferir bom acabamento nas superfícies maquinadas, sendo que as pastilhas dos mesmos apresentam ângulo inferior às de debaste, geralmente entre 35° e 55° entre as faces.

### 3.4.2. Facejamento

No facejamento descrito na operação 2 da tabela 2, desloca-se uma ferramenta perpendicularmente ao eixo de rotação da peça e pode ser feito externa ou internamente. Esta operação é normalmente a primeira operação a realizar, pois a face facejada passa a ser a referência para as restantes operações, ou seja, é onde é calculado o zero-peça (Rocha, 2016).

É uma operação que requer atenção, pois se a peça tiver um comprimento considerável, pode implicar esforços de flexão que poderão não ser suportados pelo sistema de fixação, correndo o risco de a peça se soltar do mesmo (Relvas, 2018).

### 3.4.3. Furação e Mandrilagem

A operação de furação, ilustrada na operação 3 da tabela 2, consiste na abertura de furos, bem como o seu alargamento ou acabamento. Estes furos podem ser do tipo passante ou cego (Completo et al., 2009).

A furação num torno CNC, quando não são utilizadas ferramentas rotativas, requer especial atenção pois é necessário o correto alinhamento da ferramenta com o eixo de rotação da peça, para que o furo elaborado obtenha o diâmetro requerido (Relvas, 2018).

As ferramentas utilizadas para furação são na maior parte dos casos brocas que podem ser de diversos tipos, sendo as mais utilizadas as brocas helicoidais pois oferecem uma elevada variedade de geometria de hélice e uma boa precisão de furação (Lopes, 2018). Para além deste tipo de brocas existem também outros tipos como brocas de ponto, para fazer pequenos furos de forma a acoplar um contra-ponto, brocas de pastilha, brocas de coroa, brocas de canhão, entre outras.

Nas operações de alargamento e/ou acabamento de furos são utilizadas ferramentas denominadas de mandris, denomina-se então esta operação de mandrilagem. Um mandril é uma ferramenta constituída por navalhas cortantes, e é utilizada após a abertura de um furo até  $\pm 20$  mm com o objetivo de alargar ou retificar as dimensões do mesmo para tolerâncias mais rigorosas (Rocha, 2016).

É também nesta categoria que se enquadra o escareamento que tem como objetivo quebrar as arestas vivas de entrada em furos e não só, através da elaboração de um chanfre recorrendo uma ferramenta denominada de escareador. Os escareadores mais comumente utilizados neste tipo de operações podem ter uma geometria de corte de  $60^\circ$  ou  $90^\circ$  com o diâmetro apropriado ao furo a escarear.

#### **3.4.4. Roscagem**

Esta é uma operação também ela muito frequente na maquinagem CNC, podendo ser feita através de várias formas. A roscagem, representada na operação 4 da tabela 2, pode ser interior ou exterior, sendo que no primeiro caso necessita de um furo prévio (Completo et al., 2009). No caso da roscagem interior, em furos até  $\pm 20$  mm, pode ser obtida recorrendo a um macho, que pode ser de esmagamento ou de corte, ou pode ser obtida recorrendo a um buril quando o furo passa a ser consideravelmente maior e não existam machos de tamanho suficiente para proceder à elaboração da rosca. Já nas roscas exteriores é utilizado somente o buril.

A operação de roscagem requer dois movimentos que são a rotação da peça e a translação da ferramenta (em mm/rot). Para isto, a máquina sincroniza os dois movimentos, de modo que a cada volta da árvore, a ferramenta se desloque uma distância igual ao passo que terá a rosca (Rocha, 2016).

#### **3.4.5. Ranhurar**

A operação de ranhurar, que se encontra ilustrada na operação 5 da tabela 2, tem como finalidade abrir canais ou ranhuras exteriores e interiores. Esta abertura de ranhuras pode ser feita frontalmente seguindo um paralelismo ao eixo **Z** e também paralelamente ao eixo **X**, uma vez que as ferramentas podem ser acopladas na torreta segundo estas duas direções (Rocha, 2016).

As ferramentas utilizadas para realizar este tipo de operações são os ferros de ranhurar exteriores e interiores, e apresentam geralmente forma quadrada.

#### **3.4.6. Sangrar**



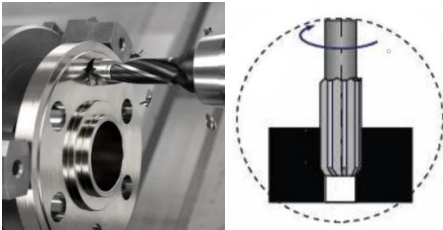



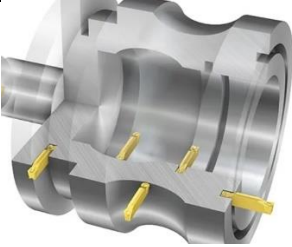

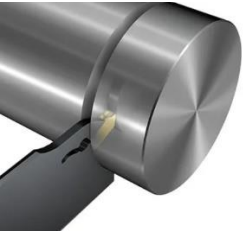

O sangramento ilustrado na operação 6 da tabela 2 incide sobre a separação da peça maquinada do material em bruto restante que se encontra fixado pelo sistema de fixação. O avanço por rotação deve ser reduzido em 75% a aproximadamente 2 mm do centro da peça de forma a aumentar a vida útil da ferramenta, uma vez que assim se reduzem as forças de corte. Já no perímetro da geometria da peça, devem ser utilizados avanços superiores com o objetivo de aumentar tanto a produtividade como a vida útil da ferramenta (Rocha, 2016).

As ferramentas geralmente utilizadas para o processo de sangramento são ferros de sangrar ou noutros casos lâminas de sangrar. A diferença entre estes dois assenta no facto de as lâminas de sangrar terem a capacidade de cortar peças de diâmetros maiores sem correr o risco de ocorrer uma colisão entre a peça em rotação e o corpo da ferramenta.

São utilizados em ambos os casos, acoplados aos corpos das ferramentas, pastilhas de sangrar das mais diversas geometrias.

3.4.7. Tabela de Operações e Ferramentas Utilizadas

Tabela 2: Operações e ferramentas no torneamento CNC, (imagens adaptadas de, (SANDVIK, 2021))

Designação	Operação	Ferramentas
1. Torneamento cilíndrico		
2. Facejamento		
3. Furação e Mandrilagem		
4. Roscagem		
5. Ranhurar		
6. Sangrar		

### 3.5. Parâmetros de Corte no Torneamento

A qualidade de um processo de maquinagem, ou seja, o bom acabamento superficial da peça maquinada e a durabilidade das ferramentas utilizadas, depende de diversos fatores de entre os quais fazem parte os parâmetros de corte.

Estes parâmetros de corte são constituídos pela velocidade de rotação da árvore ( $n$ ), pela velocidade de corte ( $V_c$ ), pela velocidade de avanço ( $f_n$ ) e profundidade de corte ( $a_p$ ). Uma escolha incorreta destes parâmetros resulta muitas vezes em vários problemas, como vibrações indesejadas, desgastes rápidos de ferramenta, mau acabamento superficial, entre outros problemas (Rocha, 2016).

A qualidade do acabamento superficial, geralmente aumenta com o aumento da velocidade de corte, principalmente nos metais (Davim, 2008)

A velocidade de corte depende de dois fatores: o diâmetro da peça a torneiar ( $d_c$ ) e a velocidade de rotação da árvore ( $n$ ). Quanto maior o diâmetro da peça, maior a velocidade de corte a  $n$  constante. Ou seja a  $V_c$  aumenta com o deslocamento da ferramenta do centro para a periferia e diminui da periferia para o centro do diâmetro (Batista, 2010).

Segundo Rocha (2016), é importante que ao longo da maquinação, a velocidade de corte seja o mais constante possível, para isso a máquina terá de compensar as variações de diâmetro com a velocidade de rotação da árvore ( $n$ ). Por exemplo, numa operação de facejamento, com deslocamento da ferramenta da periferia para o centro, existe uma diminuição do diâmetro, logo, a máquina terá de compensar aumentando a velocidade de rotação da árvore ( $n$ ), com o objetivo de manter constante a velocidade de corte. Esta velocidade ( $n$ ) pára de aumentar quando atinge o limite de rotações por minuto pré-definidas, caso contrário aumentaria infinitamente (Rocha, 2016).

A velocidade de corte é dada pela equação 1:

$$V_c = \frac{n * \pi * d_c}{1000} [m/min] \quad (1)$$

Para Davim (2008), a velocidade de avanço ( $f_n$ ) é o fator mais determinante na qualidade do acabamento superficial, pois por influência direta, é responsável pelas marcas deixadas na superfície designadas de estrias. Estas estrias vão influenciar a rugosidade da peça maquinada (Davim, 2008).

Este movimento é caracterizado pelo movimento da ferramenta em relação à peça, e é dado geralmente em mm/rot.

A profundidade de corte ( $a_p$ ) é a diferença entre a superfície maquinada e não maquinada e é dada em mm (Batista, 2010).

### 3.6. Programação CNC

Um programa CNC é composto por várias linhas de código que dão origem a blocos de instrução. Estes blocos estão organizados segundo uma determinada sequência de operações de maquinação.

Existem diversos tipos de programação, consoante o fabricante de controladores numéricos, mas o mais comum e mais universal é o tipo de programação Fanuc, que neste relatório será o tipo de programação de referência.

A programação CNC é composta por dois tipos principais de códigos, o código G e o código M.

O código G corresponde às funções preparatórias. Tem como objetivo informar o controlo da máquina sobre as características das operações a realizar. Serve para programar trajetórias de ferramenta, programar ciclos automáticos, etc. (Rocha, 2016).

Já o código M corresponde a todas as funções auxiliares. Serve para programar funções referentes à máquina e não à ferramenta, como por exemplo, sentido de rotação da árvore, refrigerações, fim de programa, gama de velocidades, etc.

Para além destas duas tipologias de código existem também outras instruções que fazem parte da programação CNC como por exemplo (Rocha, 2016):

- N – Número da linha de código, não é obrigatório;
- S (*speed*) – Velocidade de rotação da árvore ( $n$ ) ou velocidade de corte ( $V_c$ );
- F (*feedrate*) – Velocidade de avanço;
- T (*tool*) – Número da posição que a ferramenta ocupa na torreta e da posição na tabela, em que geralmente o símbolo vem seguido de quatro dígitos (p.e.: T0101), onde os dois primeiros indicam à posição que a ferramenta ocupa na torreta e os dois últimos correspondem à posição da ferramenta na tabela de *offsets* (posição da ferramenta relativa ao zero-máquina).

Nas máquinas CNC em geral, é necessário haver códigos em separado no caso de haver uma ou mais torretas. Por exemplo, se uma máquina tiver uma só torreta, é somente necessário um código, ou seja a programação é feito num canal único, mas se a máquina possuir duas torretas, vai ser necessário haver dois códigos, um para cada torreta, tendo assim dois canais de programação. O mesmo acontece para máquinas de três torretas.

#### 3.6.1. Códigos CNC

Seguem-se duas tabelas com alguns dos códigos G e M utilizados com maior frequência na elaboração de um código CNC para o torneamento.

**Tabela 3: Código G, (Rocha, 2016)**

Código G – Funções preparatórias	
G00	Interpolação linear com avanço rápido
G01	Interpolação linear com avanço de trabalho
G02	Interpolação circular no sentido horário
G03	Interpolação circular no sentido anti-horário
G04	Temporização de pausa
G17	Plano de trabalho nos eixos <b>X</b> e <b>C</b>
G18	Plano de trabalho nos eixos <b>X</b> e <b>Z</b>
G19	Plano de trabalho nos eixos <b>C</b> e <b>Z</b>
G21	Coordenadas em milímetros
G28	Retorno ao ponto de referência
G32	Ciclo de roscar com passagem única
G40	Cancela a compensação do raio da ferramenta
G41	Compensação do raio da ferramenta à esquerda
G42	Compensação do raio da ferramenta à direita
G50	Limita a velocidade de rotação da árvore em rot/min
G52	Define a posição programada como novo zero-peça
G53	Utiliza o sistema de coordenadas da máquina
G54 a G59	Zero-peça
G70	Ciclo de acabamento
G71	Ciclo de desbaste longitudinal
G73	Ciclo de desbaste em cópia
G75	Ciclo de ranhurar radial
G76	Ciclo de roscar longitudinal com várias passagens
G80	Cancela ciclos fixos
G83	Ciclo de furar axial por incrementos
G84	Ciclo de roscar axial
G85	Ciclo de mandrilar axial
G87	Ciclo de furar radial por incrementos
G88	Ciclo de roscar radial
G96	Velocidade de corte constante em m/min
G97	Velocidade de rotação constante em rot/min
G99	Velocidade de avanço em mm/rot

**Tabela 4: Código M, (Rocha, 2016)**

Código M – Funções auxiliares	
M00	Paragem obrigatória do programa
M01	Paragem opcional do programa
M02	Fim de programa
M03	Liga a rotação da árvore no sentido horário
M04	Liga a rotação da árvore no sentido anti-horário
M05	Paragem da rotação da árvore
M08	Liga a refrigeração
M09	Desliga a refrigeração
M24	Liga o extrator de limalhas
M25	Desliga o extrator de limalhas
M30	Fim de programa com salto para o início
M33	Liga a rotação da ferramenta motorizada no sentido horário
M34	Liga a rotação da ferramenta motorizada no sentido anti-horário
M35	Desliga a rotação da ferramenta motorizada
M78	Avanço da manga do contraponto
M79	Recuo da manga do contraponto
M84	Torreta roda no sentido horário
M85	Torreta roda no sentido anti-horário
M88	Travão do eixo c (árvore) baixa pressão
M89	Travão do eixo c (árvore) alta pressão
M90	Desliga travão do eixo C
M98	Chamada de subprograma ou sub-rotina
M99	Fim de subprograma ou sub-rotina

## 4. CARACTERÍSTICAS DOS TORNOS CNC DA RRMP

### 4.1. Descrição Geral das Máquinas de Torneamento

Neste capítulo são descritas de forma breve as características principais das máquinas de torneamento que fazem parte da RRMP.

#### 4.4.1. Okuma Genos L250E

Este torno CNC apresentado na figura 8 possui dois eixos e um contraponto. É o torno mais simples da empresa e é utilizado para o fabrico de peças de menor complexidade geométrica. No entanto, é uma máquina de grande precisão e grande estabilidade, sendo um dos tornos mais robustos da RRMP, cujas principais características são apresentadas na tabela 5.

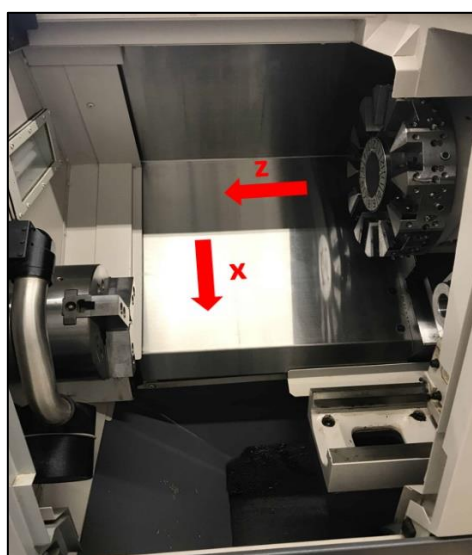
**Tabela 5: Características principais do torno Genos**

<i>Eixos</i>	$\phi_{m\acute{a}x.} [mm]$	<i>Nº posições</i>	<i>S [rpm]</i>	<i>P [kW]</i>
2	220	12	107-4500	7,5

Possui uma torreta com capacidade de albergar 12 ferramentas, podendo estas ser: ferros de torneiar exterior ou interior, brocas, escareadores, mandris, machos, ferros de ranhurar radiais ou axiais, ferros de sangrar e ferros de roscar. Pode também ser utilizado um batente para marcar a referência do zero-peça.

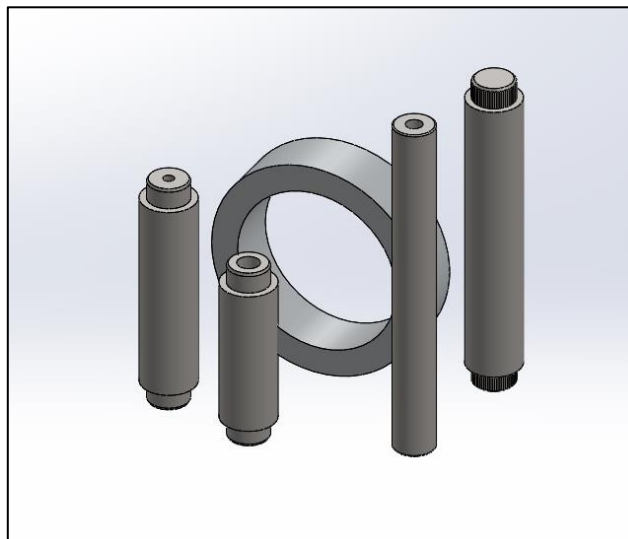
O facto de não possuir um *sub-spindle* (segunda árvore do lado oposto à árvore principal) obriga a que, na maior parte dos casos, as peças maquinadas nesta máquina sejam retomadas para maquinar a segunda parte.

A cinemática deste torno está demonstrada na figura 41.



**Figura 41: Cinemática do torno de 2 eixos, (Adaptado de (MKE, 2019))**

A torreta pode deslocar-se em **X** e em **Z** e quanto ao tipo de peças produzidas por este torno, são maioritariamente de perfil redondo, como por exemplo casquilhos, veios, anilhas, calibres, conforme apresentado na figura 42:



**Figura 42: Peças possíveis de maquinar no torno de 2 eixos**

#### 4.1.2. Okuma LB3000 EX

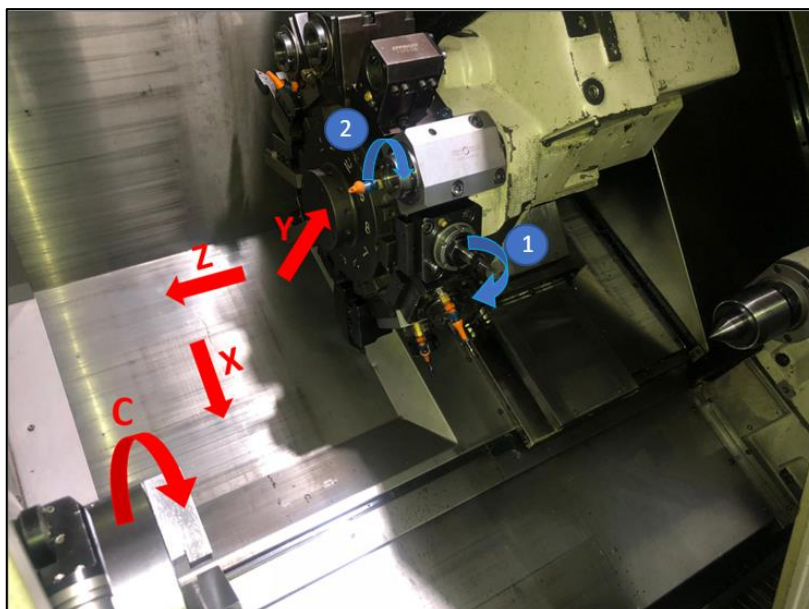
É um torno CNC de 4 eixos com contraponto, apresentado anteriormente na figura 9. É utilizado para fabrico de peças de elevada complexidade geométrica. Para além dos três eixos principais, **X**, **Y** e **Z**, este torno possui também um eixo **C**, que representa o controlo da rotação do *spindle* (árvore principal) angularmente para utilização de ferramentas motorizadas. As características principais são apresentadas na tabela 6.

**Tabela 6: Características principais do torno LB3000 EX**

<i>Eixos</i>	$\phi_{m\acute{a}x}$ [mm]	<i>Nº posições</i>	<i>S</i> [rpm]	<i>P</i> [kW]
4	410	12	45-5000	22

Com uma torreta de 12 posições pode albergar 12 ferramentas dos mais variados tipos, a grande diferença deste torno para o Okuma Genos L250E é o facto de possuir uma torreta com motorização interna com o objetivo de se utilizar as ferramentas motorizadas para fazer operações de furação, fresagem, roscagem ou escareamento descentrados em relação ao centro do *spindle*.

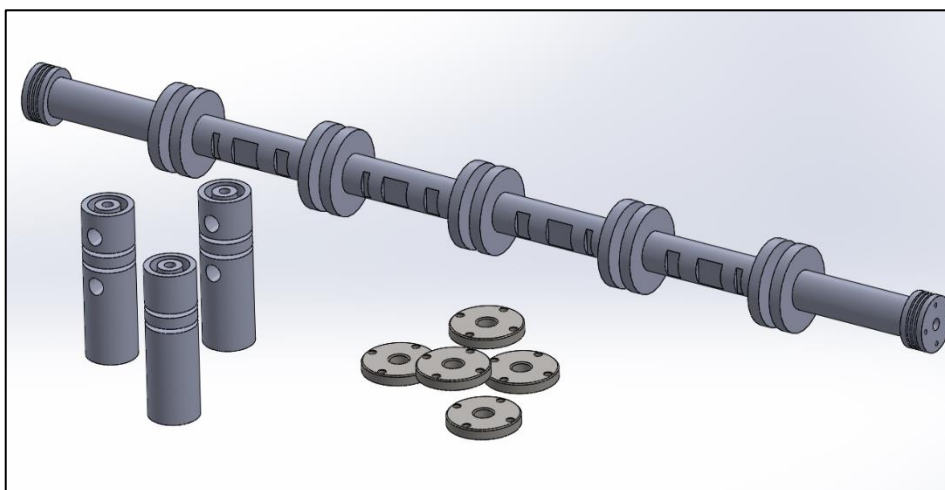
A cinemática do Okuma LB3000 EX é a seguinte (figura 43).



**Figura 43: Cinemática do torno de 4 eixos**

O eixo C representado é o eixo de controlo angular do *spindle*. A ferramenta motorizada, que roda a uma velocidade máxima de 6000 rpm, utiliza um eixo de rotação não contabilizado (representado a azul), em que o número 1 diz respeito a uma ferramenta rotativa radial e o número 2 a uma ferramenta rotativa axial.

Este torno permite a elaboração de peças de alta complexidade e numa alta gama de comprimentos graças à existência do contraponto. Para além das mesmas peças que a máquina anterior, este torno permite o fabrico de peças com furos descentrados, tal como é exemplo as peças apresentadas na figura 44.



**Figura 44: Peças possíveis de maquinar no torno de 4 eixos**

#### 4.1.3. Okuma LB3000 EXII

Este equipamento apresentado na figura 10, é um torno CNC de 5 eixos com *sub-spindle*. A vantagem da utilização desta máquina em vez do Okuma LB 3000 EX, é a sua capacidade de maquinar uma peça por inteiro sem ser necessária a retoma da peça à máquina, uma vez que é possível trabalhar a peça de um lado (no *spindle* principal), e logo de seguida fazer a transferência para o *sub-spindle* e maquiná-la do outro lado.

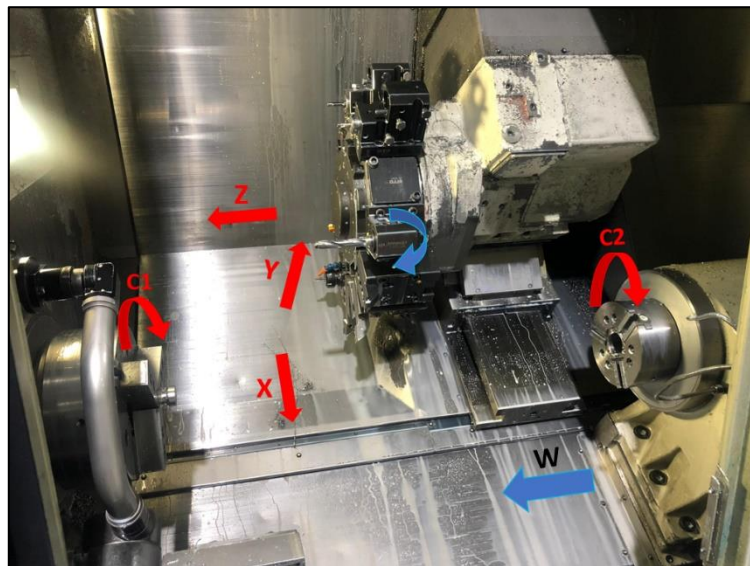
Para isso, este torno utiliza uma torreta com 12 posições, mas com capacidade de envergar 24 ferramentas com suportes de ferramenta duplos, sendo metade para maquinar do lado do *spindle* e a outra metade para maquinar do lado do *sub-spindle*. As suas principais características estão na tabela 7.

**Tabela 7: Características principais do torno LB3000 EXII**

Eixos	$\phi_{m\acute{a}x}$ [mm]	N <sup>o</sup> posições	S [rpm]	P [kW]
5	410	24	45-5000	22

Com a utilização dos eixos principais **X**, **Y** e **Z** e com a opção de controlar angularmente o *spindle* e o *sub-spindle* individualmente, a diversidade do fabrico de peças aumenta muito relativamente ao Okuma LB 3000 EX.

A sua cinemática encontra-se demonstrada na figura 45.



**Figura 45: Cinemática do torno de 5 eixos**

A diferença para o torno anterior como já referido, é a introdução do *sub-spindle* e com ele um novo eixo de controlo angular **C2**. O eixo não contabilizado **W** permite o avanço do *sub-spindle*, com o objetivo de fazer a transferência da peça em fabrico (figura 45). Este eixo não é contabilizado uma vez que não exerce movimentação nas operações de maquinação.

De seguida, a peça é maquinada do outro lado recorrendo a suportes de ferramenta duplos. A torreta trabalha num *spindle* de cada vez, ou seja, existe um lado que fica sempre à espera do outro. A peça acabada sai posteriormente por uma gaveta que abre e recolhe a mesma.

Quanto às peças que é possível produzir são do mesmo tipo que do LB 3000 EX com a diferença de serem maquinadas dos dois lados, não sendo necessária uma retoma posterior à máquina.

#### 4.1.4. Tsugami M08DE-II

É um torno CNC de 3 eixos (figura 11) preparado para alta produção. Os 3 eixos são compostos pelo eixo **X**, **Z** e pelo eixo **C** referente, como já mencionado, ao controlo de rotação do *spindle* para utilização de ferramentas motorizadas.

Esta máquina tem a vantagem de maquinar peças 24 sobre 24 horas, pois possui um alimentador automático de matéria-prima em formato de barra, e, por isso, não necessita de presença constante de um operador. Possui um tapete rolante de descarga de peças, para maior eficiência de tempos de produção.

A desvantagem desta máquina é o facto de maquinar as peças de um só lado em alta produção. Se a peça em causa necessitar de maquinação do outro lado, terá de fazer a retoma uma a uma à máquina. As características principais da Tsugami M08DE-II encontram-se descritas na tabela 8.

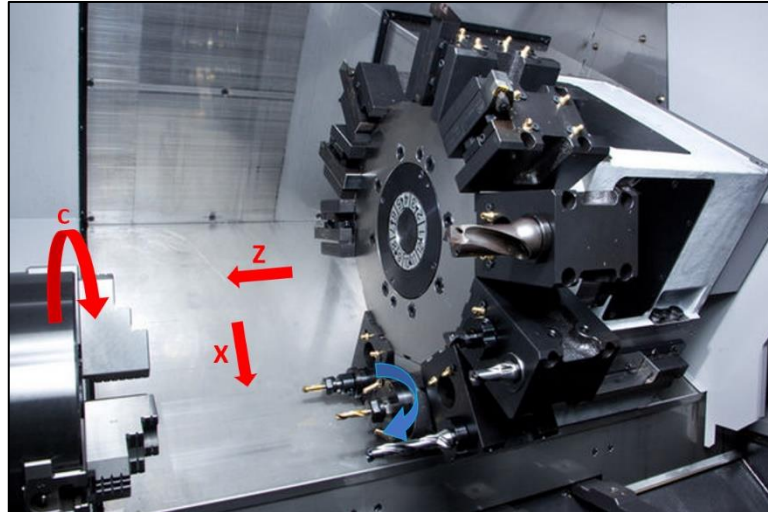
**Tabela 8: Características principais do torno Tsugami**

<i>Eixos</i>	$\phi_{m\acute{a}x}$ [mm]	<i>Nº posições</i>	<i>S</i> [rpm]	<i>P</i> [kW]
3	280 / 60 (barra)	12	50-4500	11

Este torno possui um contraponto para a maquinação de peças de comprimento maior que 4x o seu diâmetro. O diâmetro possível de maquinar quando é elaborada uma produção recorrendo a maquinação em série, ou seja, utilizando o alimentador de barras, é reduzido para 60 mm. No entanto é possível maquinar matéria-prima com diâmetro até 280 mm não utilizando o alimentador automático.

A sua torreta permite o acoplamento de suportes de ferramenta motorizada tanto axial como radial para operações de furação, fresagem, roscagem ou escareamento descentrados e, assim, a elaboração de peças com maior complexidade geométrica

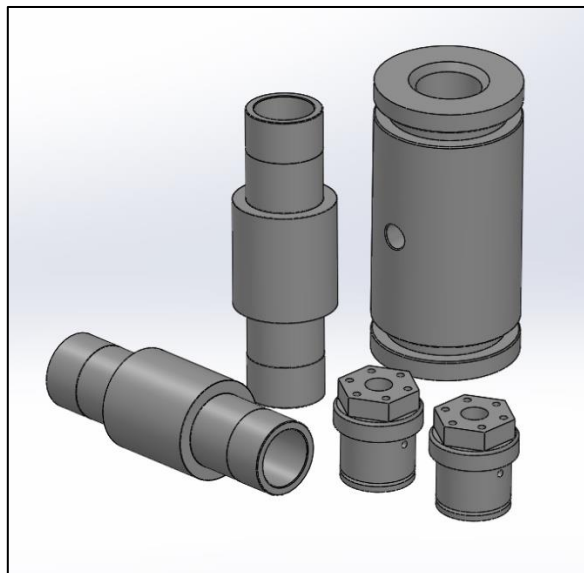
A cinemática deste torno rege-se pela figura 46.



**Figura 46: Cinemática do torno de 3 eixos, (Adaptado de (WAMATEC, 2021))**

Sendo esta uma máquina de alta produção, as peças saem por uma gaveta que as descarrega num tapete rolante.

O tipo de peças que é possível produzir são peças de complexidade geométrica elevada como demonstrado na figura 47.



**Figura 47: Peças possíveis de maquinar no torno de 3 eixos**

#### 4.1.5. Tornos Swiss ST26

É o único torno do tipo suíço da RRMP, já apresentado na figura 12. Possui 9 eixos e é uma máquina destinada a alta produção tal como a Tsugami M08DE-II, possuindo também um alimentador automático de matéria-prima e um tapete rolante de descarga de peças.

As ferramentas neste tipo de máquina estão dispostas de maneira diferente, encontrando-se agrupadas lado a lado em dois carros porta-ferramenta.

Conforme indicado na figura 48, o movimento em **Z** realizado pelo *spindle* principal (eixo **Z1**) e pelo *sub-spindle* (eixo **Z4** e **XB4**) é a principal diferença em relação aos outros tornos cnc. Este movimento desloca a peça em direção à ferramenta, ao contrário das restantes máquinas da empresa, onde a ferramenta se desloca na direção da peça a maquinar.

As vantagens deste tipo de torno são:

- ➔ A quantidade de ferramentas que se conseguem acoplar aos suportes;
- ➔ A diversidade de processo que é possível obter, ou seja, muitas formas diferentes de chegar ao mesmo resultado;
- ➔ O facto de possuir um *sub-spindle*, que permite a transferência de peça de um *spindle* para o outro e conseqüente maquinação simultânea de duas peças, uma na primeira parte (no *spindle*) e outra na segunda parte (no *sub-spindle*).

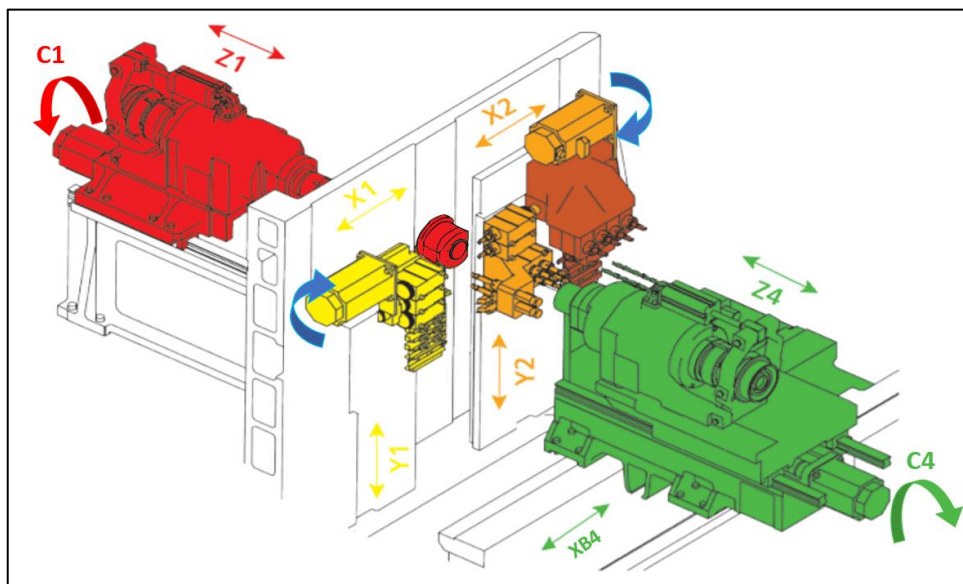
As características principais deste torno encontram-se descritas na tabela 9.

**Tabela 9: Características principais do torno suíço Tornos**

Eixos	$\phi_{m\acute{a}x}$ [mm]	Nº posições	S [rpm]	P [kW]
9	25.4	100	10000	11

As desvantagens deste tipo de máquina são a limitação de diâmetro máximo da peça a maquinar (25,4 mm) e a alta complexidade de programação derivado da quantidade de ferramentas e processos inerentes.

A cinemática do torno suíço está descrita na figura 48.



**Figura 48: Cinemática do torno suíço, (Adaptado de (TORNOS, 2017))**

Observando a figura 48, o material é alimentado pela parte vermelha (*spindle*) através do alimentador automático, uma pinça hidráulica permite o aperto da bucha para maquinação da primeira parte da peça. Esta maquinação recorre às ferramentas que se encontram acopladas nas partes amarelo, laranja e castanho.

Depois de maquinada a primeira parte, a peça é agarrada pelo *sub-spindle* (representado a verde), que avança segundo **Z4**, é sangrada (transferência) e posteriormente maquinada do outro lado. Ambas as fases da maquinação acontecem em simultâneo, o que resulta num significativo aumento de produtividade.

As ferramentas estão fixas nos carros porta-ferramenta e são movidas somente em **X** e **Y**. O movimento em **Z** é feito pelos *spindles* como já referido. Neste torno existem dois carros porta-ferramenta, sendo que um está representado a amarelo e é controlado pelos eixos **X1** e **Y1**, e o outro que se encontra representado a laranja e castanho. Este é controlado pelos eixos **X2** e **Y2**.

As peças produzidas (figura 49) são geralmente de alta complexidade, devido à existência dos eixos **C1** e **C4**, correspondente respetivamente ao controlo angular do *spindle* e do *sub-spindle* que permitem o uso de ferramentas motorizadas.

No torno suíço da RRMP é somente possível acoplar ferramentas motorizadas axiais e radiais, sendo que existem outros tipos de tornos suíços que permitem a utilização de ferramentas motorizadas angulares.

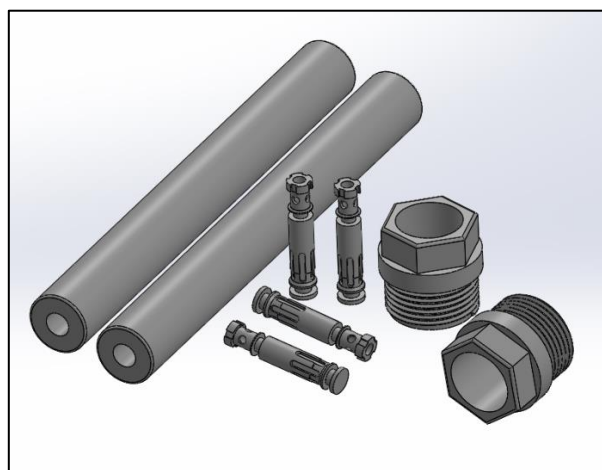


Figura 49: Peças possíveis de maquinar no torno suíço

#### 4.1.6. Muratec MT200GT3

É um torno cnc de 11 eixos destinado a alta produção de peças de grande complexidade e de maiores dimensões. Esta é a maior máquina da empresa tendo uma massa de 12 toneladas.

Possui um alimentador automático de matéria-prima em barras e possui também um braço robotizado, que pode ter como função carregar as peças a maquinar e descarregar as peças maquinadas.

Estes podem também ser utilizados em simultâneo, ou seja, o carregador automático alimentar a máquina com matéria em barra, e o braço robótico descarregar as peças maquinadas.

As características principais deste torno são as seguintes (tabela 10).

**Tabela 10: Características principais do torno Muratec**

<i>Eixos</i>	$\phi_{m\acute{a}x}$ [mm]	<i>Nº posições</i>	<i>S [rpm]</i>	<i>P [kW]</i>
11	210 / 80 (barra)	42	50-4500	15

Esta máquina é composta por um *spindle* e um *sub-spindle* que permite a transferência de peça e conseqüente maquinação simultânea de duas peças.

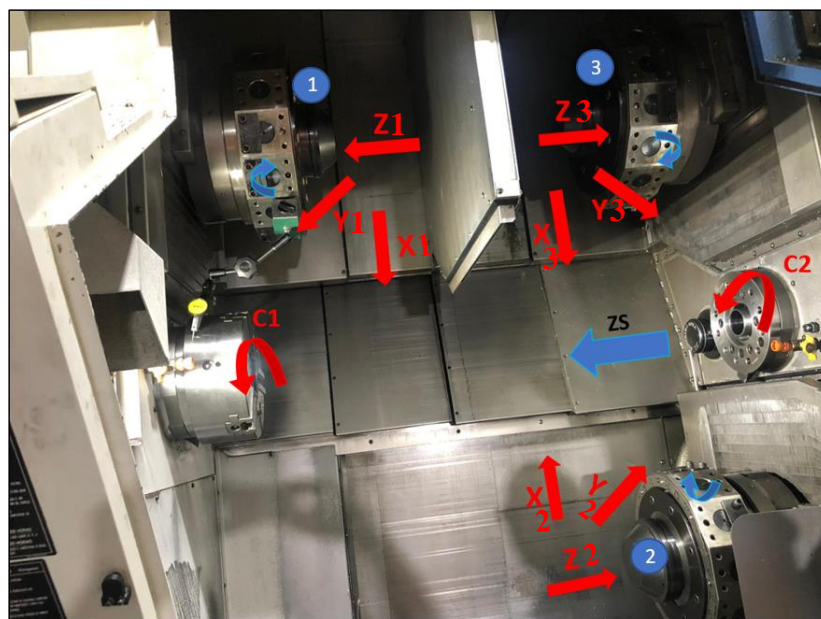
É composta por três torretas, a torreta *Upper* (figura 50, item 1), a torreta *Lower* (figura 50, item 2), e a torreta *Right* (figura 50, item 3). A torreta *Upper* e a torreta *Right* são compostas por 15 bases cada uma, em que cada uma destas bases corresponde uma única posição de ferramenta.

A torreta *Lower* é composta por 12 bases, no entanto esta torreta é capaz de posicionar em “meias indexações”, ou seja, é capaz de posicionar em 24 posições.

Esta torreta tem a particularidade de conseguir trabalhar em ambos os spindles. Pode ou não trabalhar em simultâneo com a torreta *Upper*, no *spindle* principal, e com a torreta *Right* no *sub-spindle*.

A Muratec é programada através de 3 canais, sendo cada um deles pertencentes a cada torreta. As ações em simultâneo e as esperas são elaboradas através de sincronizações.

A cinemática do torno é descrita pela figura 50 e explicada na página seguinte.



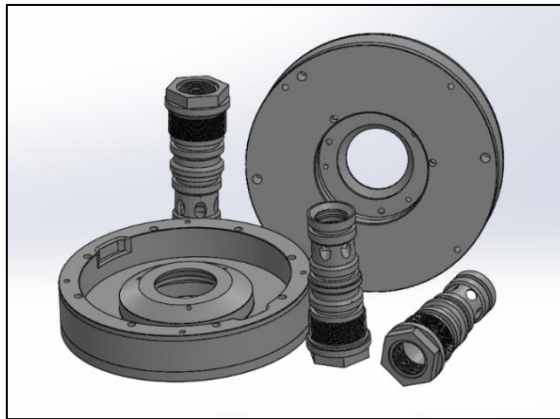
**Figura 50: Cinemática do torno de 11 eixos**

Com esta máquina é possível a produção de peças de alta complexidade. Cada torreta tem a capacidade de se movimentar em **X**, **Y** e **Z**, tendo cada uma delas capacidade de albergar suportes para ferramentas motorizadas em todas as suas bases.

O controlo angular do *spindle* e do *sub-spindle* é providenciado pelos eixos **C1** e **C2** respetivamente.

O eixo **ZS** representado a azul, caracteriza o movimento de avanço do *sub-spindle*, para a realização da transferência, não sendo contabilizado como um eixo, uma vez que não existe movimentação deste eixo durante as operações de maquinação.

Alguns exemplos de peças que esta máquina tem a capacidade de produzir são ilustrados na figura 51.



**Figura 51: Peças possíveis de maquinar no torno de 11 eixos**

## 4.2. Características Principais dos Controladores CNC

O controlador tem como objetivo principal facilitar a interação entre o operador e a máquina. Para isso é necessário haver um conhecimento básico de como o utilizar e como aplicar as suas funções mais básicas.

Na RRMP, o setor do torneamento está munido de duas marcas de controladores, a Okuma e a Fanuc (figura 52).

A Okuma fornece os seus próprios controladores para as suas máquinas. Já a Fanuc pode fornecer uma grande variedade de marcas, equipando, neste caso, os tornos das seguintes marcas: Tsugami, Tornos e a Muratec.



**Figura 52: Conjunto de controladores CNC**

#### 4.2.1. Controlador Okuma

Na figura 53 pode ser observado um controlador Okuma pertencente ao torno de 2 eixos Genos L250E. Este controlador possui um ecrã táctil e um teclado *qwerty*.



Figura 53: Controlador Okuma

As principais funções deste controlador são enumeradas em seguida:

Botão (1): coloca a máquina em modo automático (MEM), ou seja, a máquina neste modo está pronta a começar a ler as linhas do código CNC;

Botão (2): coloca a máquina em modo MDI. Este modo permite inserir linhas de código manualmente para que a máquina os leia de imediato. É possível maquinar uma peça inteira através deste modo;

Botão (3): coloca a máquina em modo manual. Utiliza-se quando se pretende fazer alguma operação manualmente, como rodar a torreta para montar ou desmontar ferramentas, colocar a torreta na posição de origem, etc.;

Botão (4): abre o menu de programas que estão guardados na máquina;

Botão (5): acede ao menu zero-peça;

Botão (6): acede ao menu de compensação de ferramenta;

O conjunto de botões (7) utilizam-se no modo manual, para seleccionar o eixo que se pretende mover, bem como a velocidade da movimentação;

Manípulo (8): movimenta os eixos manualmente;

Botão (9): usa-se aquando da testagem do programa, quando se quer uma paragem a cada linha de código. Ou seja, a máquina para a cada linha de código executada. É o botão de *single block*;

Botão (10): paragem opcional em qualquer parte do programa. Esta paragem dá-se quando a máquina lê uma barra (/) no programa. Esta barra pode ser colocada em qualquer lugar do programa;

Botão (11): tem o mesmo objetivo do botão anterior, com a diferença de que as paragens opcionais dão-se quando a máquina encontra um código M01 (*opcional stop*), vindo geralmente este código no fim de um bloco de operações;

Botão (12): permite operar a máquina manualmente quando esta se encontra em modo automático e está a executar um programa. Geralmente utiliza-se para abrir a porta a meio de algum programa;

Botão (13): desliga a refrigeração;

Botão (14): liga e desliga a luminosidade da máquina;

Botão (15): liga a refrigeração;

O conjunto de botões (16) utilizam-se em modo manual para movimentar a torreta em **X** e em **Z**;

Botão (17): roda a torreta no sentido anti-horário;

Botão (18): roda a torreta no sentido horário;

Manípulo (19): tem o nome de potenciómetro e serve para seleccionar a velocidade de avanços. Serve para os avanços rápidos (G00) e para os avanços programados (G01);

Botões (20): controlam a velocidade de rotação do *spindle* em modo manual;

Botão (21): paragem de rotação do *spindle*;

Botão (22): roda o *spindle* em M04;

Botão (23): roda o *spindle* em M03;

Botão (24): *Reset*;

Botão (25): *ON*;

Botão (26): *OFF*;

O conjunto de botões (27) são botões de interação com o ecrã;

Botão (28): emergência;

Botão (29): permite a iniciação do programa;

Botão (30): pára um programa a meio (Stop).

## Menus do Controlador Okuma

Quanto aos diferentes menus deste tipo de controlador, podem ser acedidos facilmente, por exemplo, ao carregar no botão (1) da figura 53 permite aceder ao seguinte menu (figura 54), que representa o modo MEM.

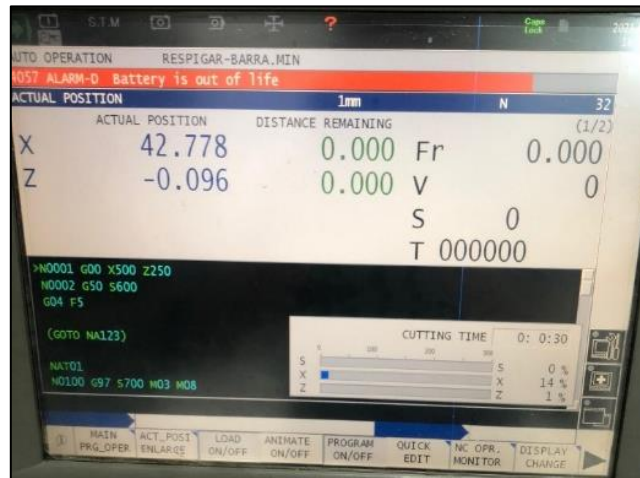


Figura 54: Menu de visualização

Ao pressionar o botão (4) da figura 53 acede-se ao seguinte menu (figura 55), para fazer edições no código programa se necessário.

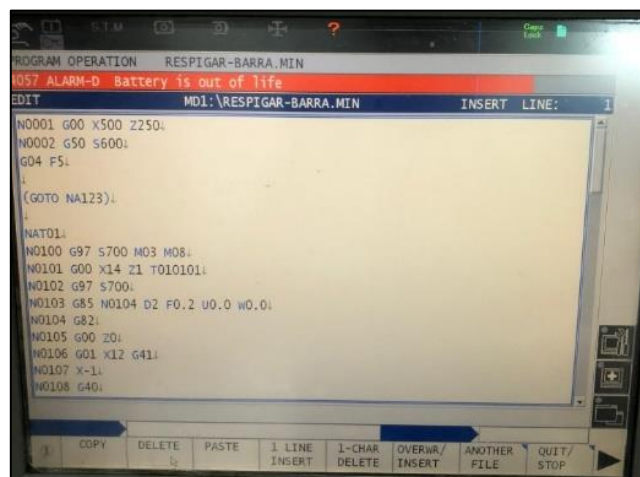


Figura 55: Menu de edição

O botão (6) da figura 53 permite o acesso ao menu de compensação de ferramentas (figura 56). É neste menu também que se coloca os raios das pastilhas a utilizar bem como os quadrantes a operar. Os quadrantes de maquinação servem para que a máquina saiba em que posição se encontra a ferramenta relativamente à peça para que sejam efetuadas as compensações de raio necessárias. Os quadrantes encontram-se ilustrados em anexo no ponto 1.



Figura 56: Menu de compensação de ferramenta

Para proceder ao cálculo do zero-peça, é necessário recorrer ao botão (5) da figura 53 para aceder ao menu representado na figura 57.



Figura 57: Menu de zero-peça

#### 4.2.2. Controlador Fanuc

Os controladores Fanuc são bastante diferentes dos Okuma, contudo, existem algumas semelhanças no que diz respeito a algumas funções dos botões.

Na RRMP existem 3 tipos de controladores Fanuc (figura 58), cada um para as 3 máquinas, o Tornos Swiss ST26, a Tsugami M08DE-II e a Muratec MT200GT3. Cada um diferente dos outros e com diferentes funções uma vez que as próprias máquinas são também elas muito diferentes, possuindo diferentes componentes, e por isso necessitam de opções de programação específicas.



Figura 58: Controladores Fanuc

Menus do Controlador Fanuc

Menu de seleção de planos de trabalho e calculo de zero-peça (figura 59):



Figura 59: Menu Fanuc 1

Menu de seleção de programas (figura 60):

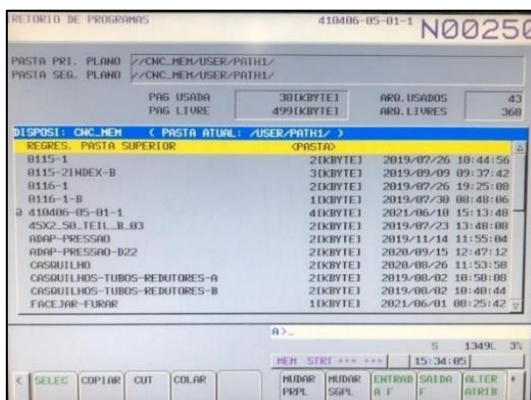


Figura 60: Menu Fanuc 2

Menu de visualização da leitura do programa com gráfico de esforço (figura 61):

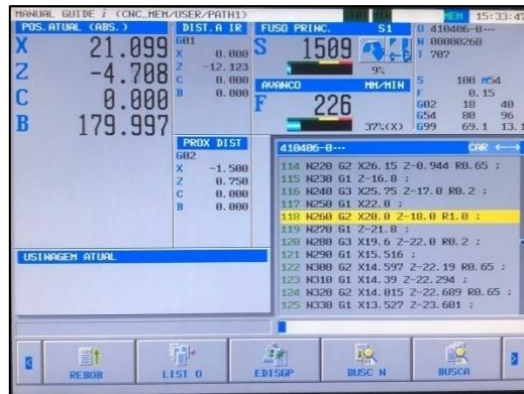


Figura 61: Menu Fanuc 3

Menu de alteração de parâmetros da máquina (figura 62):



Figura 62: Menu Fanuc 4

Menu de visualização da leitura do programa com as distâncias, parâmetros linhas de código seguintes, para um melhor controlo aquando da testagem de um programa (figura 63):

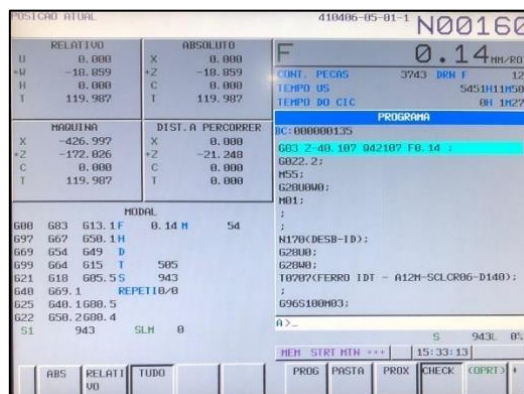


Figura 63: Menu Fanuc 5

Menu de compensações de ferramenta, alteração dos raios de pastilha e alteração do quadrante de trabalho (figura 64):

NO.	EIXO X	EIXO Z	R	F	
G 001	-352.886	-0.554	0.000	0	RELATIVO
G 002	-354.180	-0.411	0.400	0	U 444.668
G 003	-344.555	-1.141	0.000	0	U 169.617
G 004	-476.964	89.766	0.000	0	H 0.000
G 005	-426.997	32.849	0.000	0	+T 173.985
G 006	-485.051	54.895	0.000	0	
G 007	-464.568	16.359	0.000	0	ABSOLUTO
G 008	-418.654	0.031	6.000	0	X 444.668
G 009	-405.139	31.342	0.000	0	Z 169.617
G 010	-434.640	-85.376	0.000	0	C 0.000
G 011	-412.630	-85.376	0.000	0	+T 188.000
G 012	-387.389	-2.816	0.000	0	
G 013	-383.425	0.000	0.000	0	PIQUINA
G 014	0.000	0.000	0.000	0	X 0.000
G 015	0.000	0.000	0.000	0	Z 0.000
G 016	0.000	0.000	0.000	0	C 0.000
G 017	0.000	0.000	0.000	0	+T 188.000

Figura 64: Menu Fanuc 6

Menu de edição de programa (figura 65):

NO.	VALOR	NO.	VALOR
G02Z:2;		G0X29.95922;	
M55;		M10001X29.957;	
G28U000;		M19001X27.66420;	
M01;		M20002X26.4422-0.42800.65;	
:		M21001X26.2282-0.722;	
:		M22002X26.152-0.94400.65;	
:		M230012-16.8;	
M170 (DESB-ID);		M24003X25.752-17.000.2;	
G28U0;		M25001X22.0;	
G28W0;		M26002X20.02-18.001.0;	
T0707 (FERRO 1DT - A12H-SCLOR06-D140);		M270012-21.8;	
:		M28003X19.62-22.000.2;	
G965100M03;		M29001X15.516;	
M54;		M30002X14.5972-22.1900.65;	
G99;		M31001X14.392-22.294;	
G0X13.49922;		M32002X14.0152-22.68900.65;	
G71U1.000.000.75;			
G71P10003300-0.400.2F0.15;			

Figura 65: Menu Fanuc 7

## 5. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O ESTÁGIO

Como já foi dito anteriormente, o autor passou grande parte do seu tempo de estágio no setor do torneamento, como tal foi nos tornos que desenvolveu a maior parte do seu trabalho.

As primeiras atividades que desenvolveu foi somente como operário, começando por operar uma máquina, onde as tarefas eram as mais simples. Tarefas essas que se centravam em alimentar a máquina manualmente e controlar as cotas críticas das peças fabricadas. As cotas fora de tolerância eram corrigidas no menu do controlador, referente à tabela correspondente à introdução do valor de desgaste da ferramenta.

Mais tarde, o autor começou a operar duas máquinas ao mesmo tempo, que foram as máquinas de alta produção, o Tornos Swiss ST26 e a Tsugami M08DE-II. Foi a partir desta etapa que o autor começou a desenvolver mais o seu sentido crítico, pois estas são máquinas que costumam dar vários erros. Erros esses que o autor tentava sempre resolver sozinho antes de pedir ajuda a um superior.

Com a evolução de conhecimento e do sentido de responsabilidade, foi proposto ao autor operar em 3 máquinas ao mesmo tempo, acrescentando-se às duas máquinas anteriores a Muratec MT200 GT3. Com isto o autor desenvolveu muito o sentido de organização no trabalho. Sem este atributo, seria impossível operar três máquinas com sucesso, pois a organização é um fator importantíssimo neste ramo. Com mais ou menos dificuldade, o autor levou a tarefa a avante, dividindo o seu tempo consoante o tempo de maquinação de cada peça em cada máquina, e o tempo que cada peça demorava a controlar. Quando uma máquina parava com erro, se fosse um erro já conhecido o autor resolvia o mais rapidamente possível. Se fosse um erro desconhecido, o autor certificava-se primeiro de que as outras duas máquinas estavam a trabalhar sem problemas e tentava resolver o problema sozinho. Se não conseguisse, solicitava ajuda e a próxima vez que esse erro acontecia, já sabia resolver autonomamente.

Com isto o autor arrecadou uma panóplia de conhecimento acerca de erros nas diferentes máquinas de alta produção e as respetivas resoluções, o que se tornou numa mais-valia, uma vez que estava já praticamente 100% autónomo.

Com o passar do tempo, o autor começou a desenvolver trabalhos de maior responsabilidade, como a maquinação de alguns conjuntos de grampos e a preparação de algumas máquinas para novas produções, iniciando também muitas das vezes, algumas dessas mesmas produções, montando e elaborando programa manualmente. Depois testava e iniciava a produção. A todo este processo de montar máquina, fazer e testar um programa dá-se o nome de *setup*.

## 5.1. Atividades Desenvolvidas por Setor

### 5.1.1. Setor da Qualidade

Face às necessidades da empresa na altura em que o autor começou o estágio, o mesmo foi deslocado para a parte do controlo de qualidade. Neste setor esteve em contacto com os mais variados instrumentos de medida.

A empresa estava com imensas necessidades de ter um controlo de qualidade em 100% das peças enviadas, e não só um controlo por amostragem, que é o mais normal. Em cinco mil peças teriam de ser controladas cinco mil em todas as cotas críticas determinadas pelo cliente.

Este cliente tinha uma encomenda que era composta por bastantes referências diferentes, cada uma com grau de complexidade bastante elevado, o que exigia um controlo de qualidade bastante apertado. A origem do controlo a 100% está em algumas das encomendas feitas por este cliente conterem lotes inteiros de peças não conforme.

Para a elaboração deste controlo de qualidade o autor esteve desde cedo em contacto com os mais variados instrumentos de medida.

#### **Instrumentos mais utilizados para controlo de qualidade:**

**Paquímetros** → Utilizar para medir diâmetros exteriores, interiores e profundidades.

- Digitais: precisão de  $\pm 0,01$  mm
- Analógicos: precisão de  $\pm 0,1$  mm

**Micrómetros** → Podem ser classificados por:

- Interiores analógicos: Medir diâmetros interiores com precisão de  $\pm 0,005$  mm
- Exteriores analógicos: Medir diâmetros exteriores com precisão de  $\pm 0,005$  mm
- Exteriores digitais: Medir diâmetros exteriores com precisão de  $\pm 0,003$  mm
- De profundidade analógicos: Medir profundidades com precisão de  $\pm 0,005$  mm

**Calibres** → Oferecem um controlo de qualidade baseado no “Passa/ Não passa”. De um lado do calibre tem o “Passa” composto por um dos limites de uma determinada tolerância imposta, e do outro lado o calibre tem o “Não Passa” composto pelo outro limite da mesma tolerância.

Podem ser do tipo:

- Furo;
- Veio;

- Rosca interior ou exterior.

**Rugosímetro** → É utilizado para medir a rugosidade média ( $R_a$ ) e/ou a rugosidade máxima ( $R_z$ ) nas superfícies acabadas das peças fabricadas. Estes tipos de rugosidades podem ou não ser referenciadas nos desenhos pelo cliente.

**Graminho de medição** → Serve para medir alturas com precisão de  $\pm 0,01$  mm.

**Coluna de medição TESA hite 700** → Serve para medir alturas com precisão de  $\pm 0,005$  mm.

Na figura 66 encontram-se ilustrados alguns dos instrumentos de medição referidos acima.



Figura 66: Diferentes instrumentos de medição da RRMP

**Zeiss Accura II** → Para peças de maior complexidade geométrica era necessário recorrer à máquina de medição de alta precisão Zeiss Accura II. Esta máquina tem uma precisão de  $\pm 0,002$  mm e oferece um relatório completo com todas as cotas críticas e respetivas tolerâncias.

A medição nesta máquina pode ser feita através de um programa pré-elaborado, ou pode ser feita manualmente. No primeiro caso a peça a medir é colocada numa prensa, previamente colocada em cima da pedra da máquina, numa posição específica de acordo com o programa a correr.

No caso da medição manual, a peça é colocada na prensa ou numa outra posição que o operador ache melhor. É então selecionado o *probe* (cabeça de medição) mais adequado à medição em causa e são utilizados os manípulos do controlo manual da máquina para realizar as aproximações e medições necessárias.

### Tabelas de tolerâncias para furos e veios

Em todas as operações relacionadas com a qualidade, está sempre presente o conceito de tolerância. Tolerância é o desvio de dimensão para o qual uma determinada peça possa

funcionar corretamente, ou seja, é a variação entre a dimensão máxima e a dimensão mínima permitida.

Por vezes é necessário recorrer a tabelas para verificar qual a tolerância requerida pelo cliente no desenho, para definir que tipo de controlo é feito, por exemplo se vale a pena utilizar um micrómetro ou se um calibre é suficiente.

A passagem pelo setor da qualidade serviu para que o autor desenvolvesse uma capacidade de medição altamente precisa em todos os instrumentos de medida mencionados até agora. O desenvolvimento de técnica para utilizar corretamente os diversos instrumentos de medição foi também um grande passo no seu estágio. Foi desenvolvido também neste processo sentido crítico para avaliar todas as medições feitas e a melhor forma de implementar um controlo de qualidade mais eficaz e mais rápido, com o mesmo rigor. As tabelas referentes às tolerâncias dimensionais de eixos e furos utilizadas ao longo do estágio encontram-se em anexo no ponto 2.

#### **5.1.2. Setor do Trabalho Manual e Expedição**

Estes foram outros dos setores pelos quais o autor passou, no qual desenvolveu alguns trabalhos de caráter manual, que serviu para que o mesmo desenvolvesse sensibilidade no trabalho de alguns tipos de materiais.

O trabalho desenvolvido nestes setores foi baseado em:

- Limar arestas vivas através da utilização de limas de diferentes graus em aços e aços inoxidáveis;
- Remoção de marcas ou sulcos em determinadas peças através de uma máquina vibradora, *scotch brite* e *WD-40*;
- Chanfrar vários tipos de furo com recurso a um engenho de furar e um escareador, em vários materiais (Aços, POM, Alubronze, etc.);
- Lavagem de componentes;
- Vários trabalhos no torno convencional *Schaublin*;
- Trabalhos de lixa e esmeril;
- Embalamento e contagem de peças;
- Organização de stock.

#### **5.1.3. Setor de Corte de Matéria**

O autor teve oportunidade de interagir também com os dois serrotes da RRMP, um serrote mecânico (*DOALL*) e um serrote CNC (*350 SHARK CNC HS 4.0*), embora a passagem pelos mesmos tenha sido um pouco breve, serviu para que o autor tenha desenvolvido capacidade de operar autonomamente, principalmente, o serrote mecânico, para alguma necessidade no futuro.

#### 5.1.4. Setor do Torneamento

Este foi o setor no qual o autor passou mais tempo durante o seu estágio, no qual desenvolveu a maior parte do seu trabalho.

Começou por desenvolver alguns trabalhos mais simples e com o passar do tempo foi aprendendo a operar os diversos tornos CNC que a empresa possui.

A passagem pelos setores da qualidade e trabalho manual, permitiu ao autor ter uma maior sensibilidade, organização e sentido crítico na operação das máquinas.

A determinada altura do estágio, foi proposto ao autor desenhar em 3D a máquina de torneamento de 2 eixos Okuma Genos L250E detalhadamente, utilizando o programa de modelação 3D *Solidworks*.

O objetivo desta atividade seria a implementação de um sistema de simulação de máquina com vista a evitar colisão de máquina aquando da testagem de programa.

O autor começou por desenhar cada componente da máquina em separado, tirando medidas concretas recorrendo a instrumentos de medição como fita métrica, paquímetros e uma suta universal para medir ângulos (figura 67).



**Figura 67: Suta Universal, (LojadoMecanico, 2021)**

Foi desenhada primeiramente toda a estrutura da máquina, a árvore, depois as carnagens móveis bem como o suporte da torreta e a torreta. Finalmente foram desenhados o contra-ponto e a respetiva calha onde o mesmo assenta. A figura 68 apresenta o resultado final obtido para o torno Okuma Genos L250E, encontrando-se em anexo no ponto 3.1 os diferentes elementos desenhados.

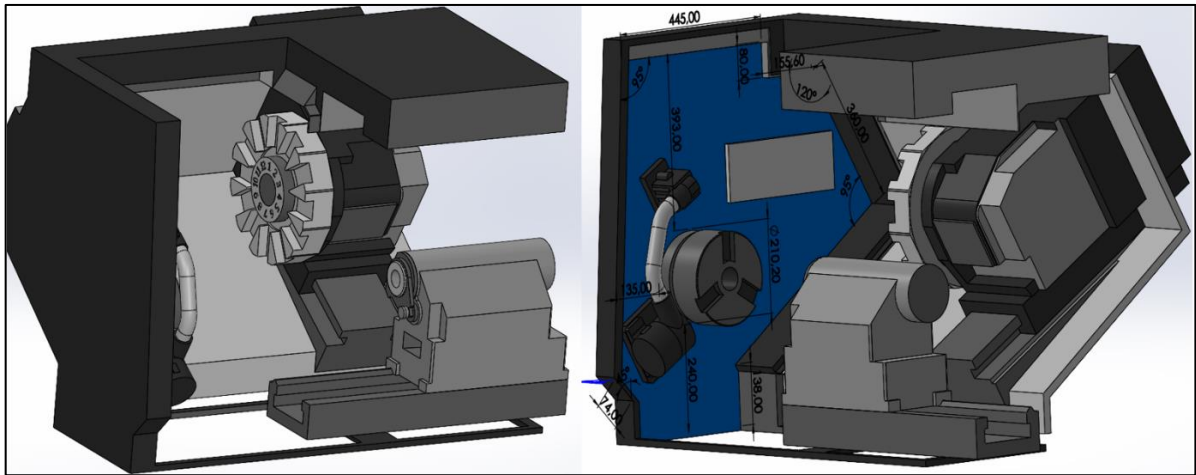


Figura 68: Desenho 3D em SolidWorks do torno Okuma Genos L250E

Foi ainda neste âmbito solicitado ao autor o desenho de alguns dos suportes de ferramenta da máquina Okuma LB3000 EX, bem como o desenho dos centros de fresagem. As imagens dos desenhos encontram-se em anexo nos pontos 3.2 e 3.3 respetivamente.

Contudo, o projeto de simulação de máquinas não foi levado a avante devido a vários fatores, entre eles as necessidades da empresa em direcionar o trabalho do autor para outras atividades e problemas com fornecedores de um determinado programa necessário à sua elaboração.

## 5.2. Setup de uma Peça no Torno 11 Eixos

### 5.2.1. Preparação e Montagem de Máquina

Este foi talvez o teste mais difícil pelo qual o autor passou ao longo do seu estágio na RRMP. Elaborar o *setup* completo de uma referência no torno de 11 eixos.

A peça que se pretendia fabricar é feita em aço cementado 1.1141 (propriedades físicas e mecânicas do material em anexo ponto 4) e está representada na figura 69.

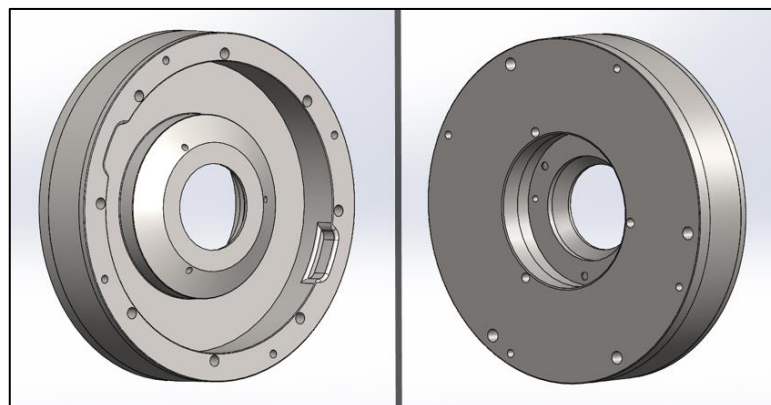


Figura 69: Peça a elaborar, visualizada em diferentes perspetivas

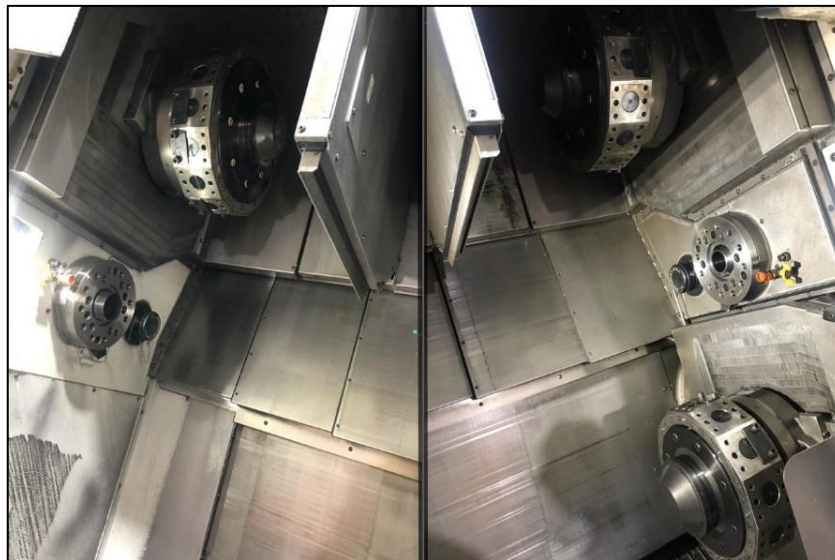
As primeiras tarefas a executar tiveram que ver com a desmontagem da máquina, pois esta encontrava-se a fabricar uma referência diferente.

Antes de começar a desmontar a máquina da produção da referência anterior, o autor mediu os OHL (representado na figura 72 a amarelo) das ferramentas montadas, apontando os valores medidos, para que da próxima vez que a máquina fosse montada para esta referência, o técnico de *setup* saber mais ou menos as medidas que as ferramentas têm de estar fora do suporte. Foram também apontadas todas as posições de todos os suportes e ferramentas, e por último foram apontadas as posições de zero-peça nas três torretas.

Posteriormente, a máquina foi totalmente desmontada, ou seja, foram retiradas todas as ferramentas, retirados todos os suportes de ferramentas em todas as três torretas que fazem parte da máquina. Nos locais onde estavam acoplados os suportes de ferramenta motorizada, teve de se voltar a colocar o tampão para que as engrenagens não ficassem expostas. Foram desmontadas também as duas pinças que estavam a servir de sistema de aperto para a produção anterior.

Logo depois, a máquina foi limpa recorrendo à pistola de ar.

Como a peça que a máquina estava a produzir antes desta era em aço inoxidável, a máquina teve de ser muito bem limpa, conforme se observa na figura 70. Inclusivamente, o tapete descarregador de limalha foi também limpo, para que não se misturassem tipos diferentes de limalha no contentor da mesma.

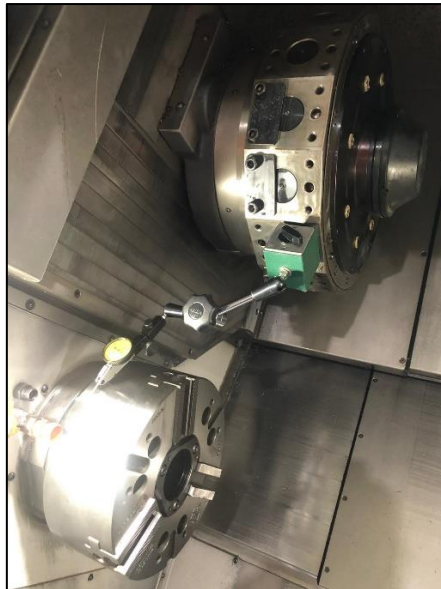


**Figura 70: Limpeza da máquina**

Com a máquina totalmente limpa e os acessórios desmontados, deu-se início à sua montagem.

A peça em causa tem um diâmetro considerável, e a sua matéria-prima vem cortada em bolachas com uma determinada espessura, como tal o sistema de aperto tem de estar de acordo com o tipo de matéria a maquinar. Optou-se por utilizar um sistema de buchas com grampos para realizar o aperto da matéria, tendo em conta o diâmetro da mesma. As buchas foram montadas e verificado o seu alinhamento com recurso a um comparador. Conforme se observa na figura

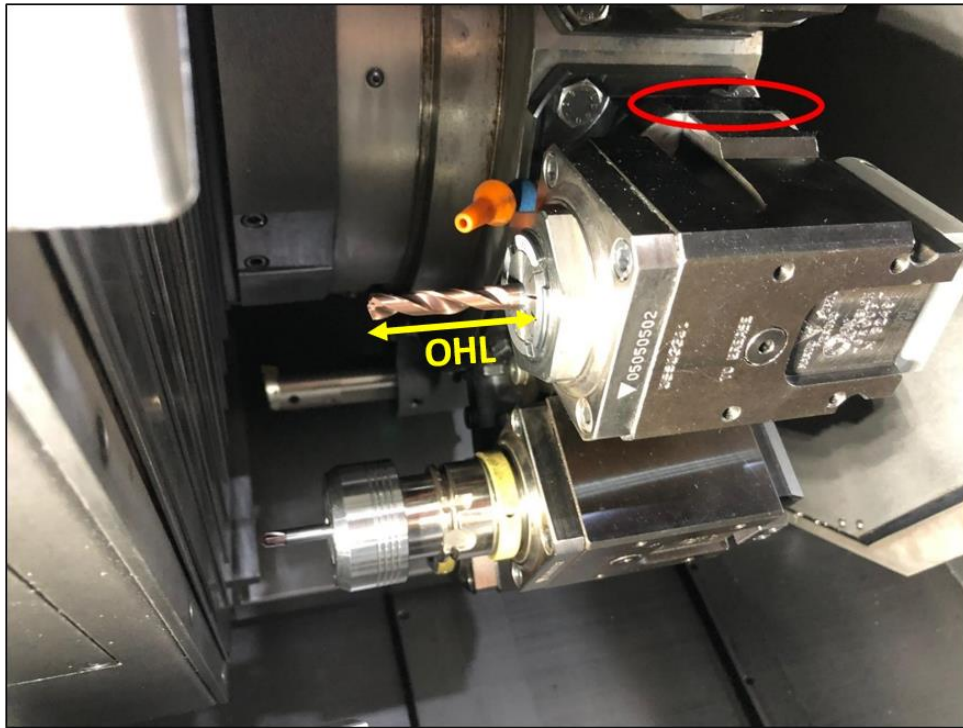
71, o método utilizado consistiu em apertar ligeiramente os parafusos que apertam a bucha e colocar o comparador na face da mesma e no seu diâmetro. Ao rodá-la, observa-se o desnível no comparador, e com um pedaço de matéria, dá-se umas pancadas nas partes mais desniveladas, com o objetivo de reduzir o desnível. Quando este desnível é o mais reduzido possível (menos de 1 centésima de milímetro), apertam-se os parafusos com pouco aperto de cada vez e numa sequência em estrela. Verifica-se então se o desnível se mantém no intervalo pretendido e apertam-se os parafusos com o torque requerido pelo fabricante.



**Figura 71: Alinhamento da bucha com comparador**

Após montagem dos acessórios da máquina, seguiu-se a montagem dos suportes de ferramenta. Os primeiros suportes a serem montados são os suportes de torneamento exteriores frontais e radiais, e de torneamento interiores. Estes são os suportes que exigem menor precisão de montagem, dada as operações mais simples que executam, dessa forma, não sendo necessário compará-los para verificar se estão alinhados com os eixos da máquina. Estes são montados de acordo com as folhas de processo em anexo no ponto 5, que indica o tipo de suporte e a sua respetiva posição de torreta.

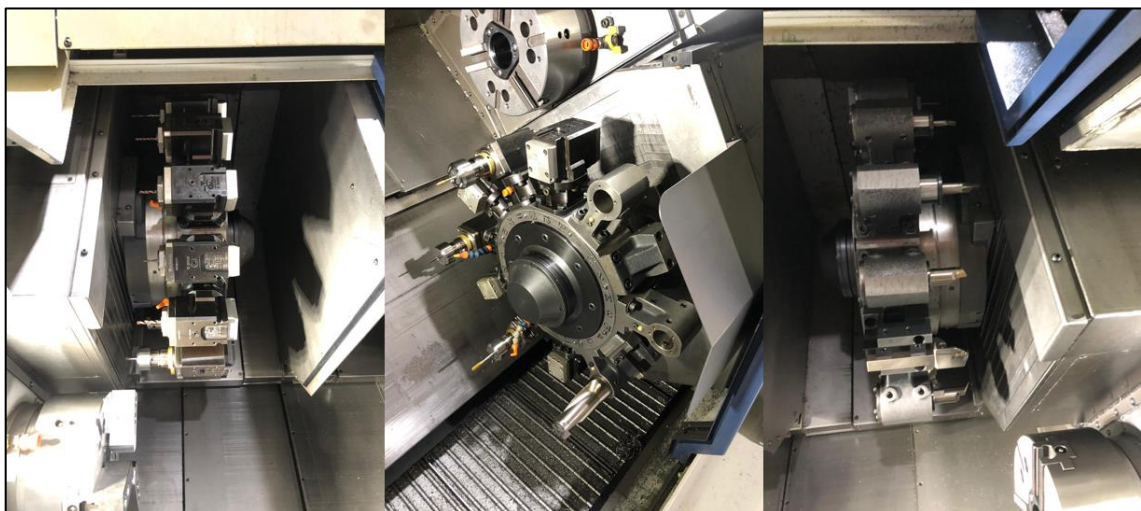
Os suportes de ferramentas motorizadas são de seguida montados, também eles nas posições indicadas na folha de processo. Para esta referência são necessários somente suportes de ferramentas motorizadas axiais, sendo necessárias 18 ferramentas rotativas axiais distribuídos pelas 3 torretas, uma vez que tudo o que é ferramentas de furação, roscagem, escareamento e fresagem vão trabalhar axialmente. Estes suportes necessitam de uma precisão de montagem muito superior aos suportes de torneamento, já que tem de se garantir que a maquinação fique perfeitamente alinhada com o eixo **Z** da máquina, de maneira aos furos ficarem direitos e no lugar correto. Para isso é necessário alinhar os suportes motorizados aquando da sua montagem, recorrendo à mesma estratégia utilizada para alinhar as buchas, mas desta vez passando o comparador na zona assinalada a vermelho na figura 72.



**Figura 72: Representação do OHL e da zona de alinhamento de suporte**

O comparador é colocado na zona representada a vermelho na figura acima, e de seguida move-se a torreta segundo o eixo **Z**. O desnível é reduzido através de pequenas pancadas com um pedaço de matéria no suporte e, quando apresenta um desnível abaixo do pretendido, apertam-se os parafusos do suporte.

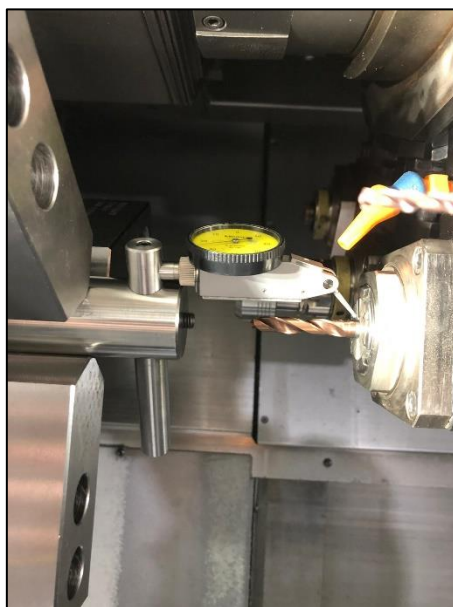
Com todos os suportes de ferramenta montados e alinhados, dá-se início à montagem das ferramentas nos suportes respetivos (figura 73). Na folha de processo encontram-se as indicações das posições onde são montadas as ferramentas bem como os OHL mais indicados de cada uma. Há que ter atenção às pinças utilizadas na montagem das ferramentas, pois as brocas que possuem refrigeração interna utilizam um tipo específico de pinça com vedante, com o objetivo de a refrigeração sair pela broca com uma maior pressão.



**Figura 73: Ilustração das 3 torretas com todas as ferramentas montadas**

Os grampos que foram utilizados nesta maquinação são dois conjuntos de grampos torneados, um conjunto para cada bucha e cada um adaptado aos diâmetros pretendidos.

Recorrendo a um dispositivo comparador que permite ser acoplado aos grampos (figura 74), o passo seguinte consistiu em comparar todas as ferramentas montadas nos suportes motorizados. Contudo, desta ação resultaram vários problemas que atrasaram em muito a atividade de *setup*. Este dispositivo possui a desvantagem de só conseguir comparar ferramentas mais curtas. Mas possui ao mesmo tempo a vantagem de não sofrer o efeito de queda. Por exemplo, o comparador normal quando está virado para baixo sofre uma queda de aproximadamente 0,2 mm devido à gravidade, o dispositivo em causa não sofre este efeito quando está virado para baixo.



**Figura 74: Alinhamento de ferramentas motorizadas com comparador**

A estratégia para medir as ferramentas onde não é possível utilizar o dispositivo no qual a gravidade não tem efeito indesejável, foi comparar primeiro com o mesmo uma broca possível de medir e, mexendo a torreta em **X** e **Y**, conseguir que o desnível observado fosse 0 em toda a volta. Depois, coloca-se o comparador normal com a torreta exatamente no mesmo sítio e aponta-se a queda que sofre em **X** e a queda que sofre em **Y**. A queda em **X**, neste caso foi de 0,22 mm e em **Y** de 0,18 mm.

Depois comparou-se as restantes ferramentas com o comparador normal aplicando o desconto observado em **X** e **Y**. Uma vez que a ferramenta se encontra na posição pretendida, gravam-se as suas coordenadas através do controlador no menu de *offsets* em geometria, selecionando a ferramenta e colocando **X0** ou **Y0**. Para finalizar carrega-se no botão medir.

Procedeu-se então à medição das ferramentas, recorrendo ao medidor da máquina. Este medidor pode ser colocado do lado do *spindle* principal para medir as ferramentas da torreta *Upper* e as ferramentas da torreta *Lower* que operam neste *spindle*, e pode também ser colocado do lado *sub-spindle* para medir as ferramentas da torreta *Right* e as ferramentas da torreta *Lower* que operam no *sub-spindle*. Contudo, reparou-se que também este aparelho estava com problemas,

uma vez que as distâncias em **X** não correspondiam à realidade. Já as medições em **Z** eram precisas, portanto foram medidas primeiramente todas as ferramentas segundo este eixo.

Para medir as ferramentas, desloca-se manualmente a torreta até ao sensor do medidor, coloca-se o controlador em modo MDI/JOG, seleciona-se a torreta pretendida e, com o potenciómetro a 50% da velocidade avança-se em *Zjog*. Os valores são gravados automaticamente.

Nas ferramentas posicionadas na torreta *Lower*, o modo de medição necessita de um passo extra pois existem ferramentas viradas para o *spindle* e outras viradas para o *sub-spindle*. Para medir do lado do *spindle* principal coloca-se em MDI o código M98 P0001, e para medir do lado do *sub-spindle* coloca-se M98 P0002. Estes códigos têm o objetivo de chamar um subprograma guardado na memória da máquina que permite selecionar os respetivos planos de trabalho.

Para continuar a atividade de *setup*, os grampos do lado do *spindle* foram afinados para o diâmetro da matéria-prima e apertados. Foi colocada uma bolacha de matéria-prima nos mesmos e foram fechados. Depois foram introduzidos os zero-peças das várias torretas recorrendo aos menus de zero-peça. De notar que a torreta *Lower* possui dois zero-peças, um para cada plano de trabalho. Estes valores vêm apontados também eles na folha de processo como se pode ver na figura 75.

Work Shift: <i>Upper</i>	X	Z	C	Y
	0	104,882	0	0
Work Shift: <i>Lower</i>	#612		#613	
	49,112		259,738	
Work Shift: <i>Right</i>	X	Z	C	Y
	0	96,06	0	0

Figura 75: Posições de zero-peça das 3 torretas

Para assegurar que o medidor de ferramentas da máquina mede de uma forma precisa em **Z**, chama-se uma ferramenta a 0 através de MDI, e, com a matéria-prima colocada nos grampos, verifica-se se a ferramenta chamada coincide com a face da matéria.

Em termos de medições de ferramentas, a única coisa que falta é medir os ferros de torneamento em **X**. Uma vez que o medidor da máquina está descalibrado neste eixo, teve de se arranjar uma forma alternativa de proceder a esta medição.

A alternativa definida foi recorrer ao ferro de desbaste da torreta *Upper*, colocar em MDI o código G54 M03 S50, para fazer rodar o *spindle* principal a 50 rpm, e, manualmente mover a torreta com a ferramenta selecionada para uma coordenada de **X** um pouco abaixo do diâmetro máximo da matéria-prima. De seguida, avança-se com o botão *jog* para torneare a matéria de forma a que fique um diâmetro limpo. Mede-se com um paquímetro o diâmetro torneado, e, a partir daí deslocam-se os ferros exteriores até tocarem neste diâmetro, recorre-se ao menu de geometria de ferramentas e coloca-se o valor medido pelo paquímetro. Repete-se o processo para todos os ferros de torneamento externo.

Para medir em **X** os ferros de torneamento interiores, tem primeiro de ser feito um furo com uma broca relativamente grande, neste caso foi utilizada a broca que será usada nesta produção.

Furou-se a bolacha de matéria-prima, mediu-se o furo com o paquímetro, e por fim foram medidos os ferros de interiores pelo mesmo processo que os exteriores.

Antes de começar a testar o programa há ainda alguns pormenores que requerem atenção, como é o caso do afinamento de todas as mangueiras de refrigeração, e a verificação de que todas as ferramentas de refrigeração interna se encontram de acordo com o desejado. Outra das coisas a verificar são os raios das ferramentas e os respetivos quadrantes onde operam. Para alterar estas definições tem de se recorrer ao menu de *offsets* de ferramenta (figura 76). A coluna R representa o raio de ferramenta e a coluna T representa o quadrante da ferramenta.

NO.	X	Z	R	T	Y AXIS
W 001	0.000	0.000	0.000	3	0.000
W 002	0.000	0.000	0.000	3	0.000
W 003	-0.098	0.000	0.000	3	0.000
W 004	0.000	0.000	0.000	0	0.000
W 005	-0.060	0.050	0.000	3	0.000
W 006	-0.010	-0.060	0.000	0	0.000
W 007	0.010	0.000	0.000	0	0.000
W 008	0.000	0.000	0.000	0	0.000
W 009	0.000	0.000	0.000	0	0.000
W 010	0.000	-0.040	0.000	0	0.000
W 011	-1.200	-0.600	-0.075	0	0.000
W 012	0.000	-0.100	0.000	0	0.000
W 013	0.000	0.000	0.000	0	0.000
W 014	0.000	0.000	0.000	0	0.000
W 015	0.000	0.200	0.000	0	0.000
W 016	0.000	0.000	0.000	0	0.000
W 017	0.000	0.000	0.000	0	0.000

RELATIVE  
+U1 -247.111  
W1 -36.925  
H1 240.000  
V1 0.114

ABSOLUTE  
\*X1 28.746  
Z1 -41.000  
C1 0.000  
Y1 0.000

MACHINE  
\*X1 -247.113  
Z1 -36.927  
C1 0.000  
Y1 0.110

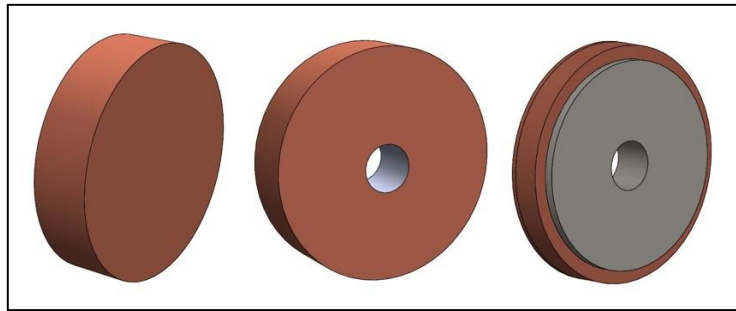
Figura 76: Tabela de *offsets*

### 5.2.2. Validação do Programa

A validação do programa foi feita por etapas, uma vez que esta máquina possui 3 torretas. Primeiramente foi testada a primeira parte da maquinação, feita no *spindle* principal, e utilizando a torreta *Upper* e a torreta *Lower*.

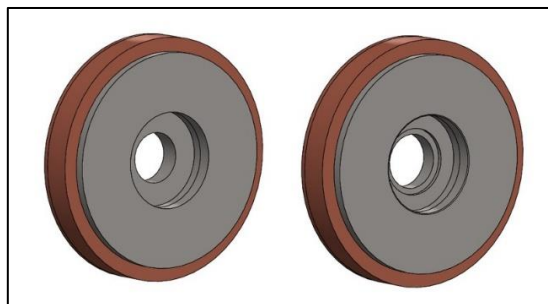
A matéria foi colocada manualmente nos grampos, e a primeira operação a ser executada foi uma furação, utilizando uma broca de pastilhas, pois o diâmetro do furo é consideravelmente grande. Logo depois foi feito o facejamento e torneamento em desbaste ficando a peça com o aspeto observável na figura 77. A broca encontrava-se situada na torreta *Lower* e o ferro exterior de desbaste na torreta *Upper*, portanto foi necessária a utilização de sincronizações para o desbaste exterior ocorrer só depois da furação terminar.

Ao realizar estas operações é sempre importante ter em atenção as distâncias a que as ferramentas se encontram da matéria, se existe espaço suficiente para realizar a operação, bem como se existe ou não a possibilidade de qualquer outra ferramenta/ suporte de ferramenta que não esteja a maquinar, colidir ou com a matéria ou com os grampos em rotação.



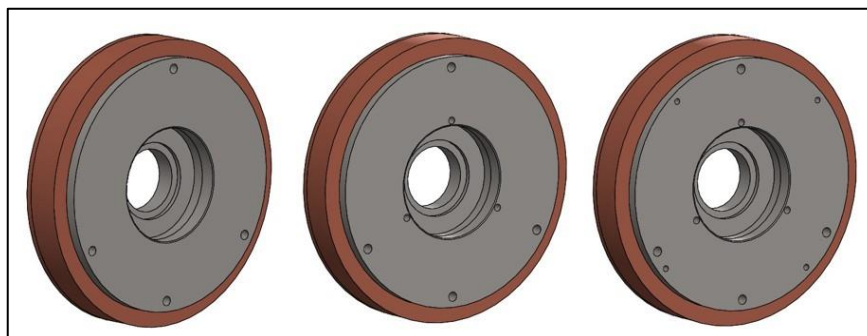
**Figura 77: Etapas 1, 2 e 3 da maquinação**

Depois foi utilizado um ferro de interior para proceder ao desbaste interior conforme demonstrado na figura 78. Foi feito o acabamento exterior e interior para as cotas pretendidas, respetivamente com um ferro de exteriores e um ferro de interiores. Todos estes ferros encontravam-se posicionados na torreta *Upper*.



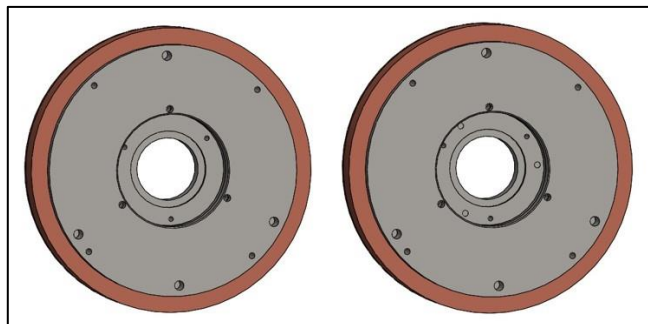
**Figura 78: Etapas 4 e 5 da maquinação**

O passo seguinte consistiu nas furações descentradas. Estas furações foram feitas recorrendo a brocas de diferentes diâmetros consoante as cotagens dos furos como representado na figura 79. Estas brocas encontram-se acopladas aos suportes de ferramentas motorizadas situados em ambas as torretas utilizadas. É neste tipo de operação que é utilizado o eixo **C**, controlado angularmente.



**Figura 79: Etapas 6, 7 e 8 da maquinação**

A operação que procedeu às furações foram os escareamentos de todos os furos. Para isso foi utilizado um só escareador montado num suporte motorizado para todos os furos de diferentes diâmetros. Para os furos de diâmetro superior ao diâmetro do escareador foi elaborado um código de contorno. Depois dos escareamentos foi feita a roscagem dos furos pretendidos, utilizando diferentes machos de corte montados também eles em suportes de ferramentas motorizadas (figura 80).



**Figura 80: Etapas 9 e 10 da maquinação**

Com isto a maquinação da primeira parte é finalizada como é observável na figura 81 e a peça encontra-se pronta para ser realizada a transferência para o *sub-spindle*.

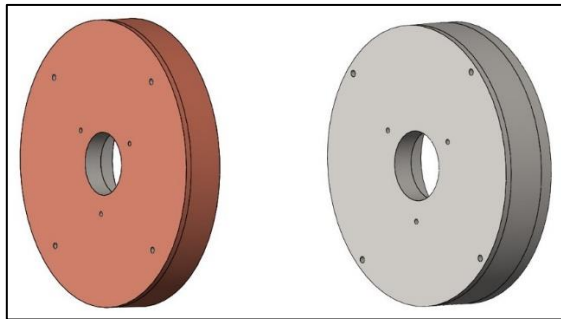


**Figura 81: Maquinação do primeiro lado concluída**

Depois de fornecer a informação necessária à máquina de que no *sub-spindle* não se encontra matéria nos grampos e que no *spindle* principal se encontra a peça acabada, dá-se então a transferência, onde o *sub-spindle* avança segundo o eixo **ZS**, e, num movimento de rotação sincronizado com o *spindle* principal, agarra a peça presa no mesmo até então. Os grampos do *sub-spindle* fecham apertando na parte da peça em que o diâmetro já se encontra acabado, enquanto que os grampos do *spindle* principal abrem. Há que ter atenção, na primeira vez que isto é testado, se não existe colisão com os grampos de ambos os *spindles*.

O *sub-spindle* volta então à sua posição de origem, já com a peça, e dá-se início à testagem da maquinação da segunda parte. Esta testagem utiliza a torreta *Right* e a torreta *Lower*.

Na figura 82 pode ser observada como se encontra a peça após ter sido transferida para o *sub-spindle* (à esquerda), e também possível ver como se encontra a peça após finalizada a primeira operação desta segunda parte da maquinação, o desbaste com facejamento e torneamento (à direita). O ferro utilizado está montado na torreta *Right*.

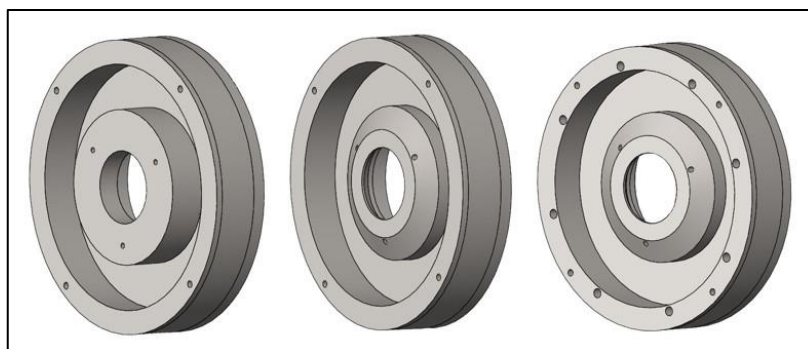


**Figura 82: Etapas 11 e 12 da maquinação**

A operação realizada a seguir é a abertura de uma caixa (fig. 83 à esquerda) recorrendo a ferros de ranhurar frontais. Esta operação é particularmente demorada e, por isso, são utilizados dois ferros frontais em simultâneo, um na torreta *Right* e outro na torreta *Lower*. As duas torretas operam em simultâneo, abrindo esta caixa com recurso a *peckings* (avanço incremental da ferramenta).

Posteriormente dá-se o acabamento da caixa, recorrendo a dois ferros de interiores, um esquerdo e um direito com o objetivo de alcançar todas as partes da caixa. A peça fica com o aspeto da imagem do meio da figura 83.

Quando finalizada a abertura e o acabamento da caixa, são então feitos os furos observados na imagem mais à direita da figura 83, os respetivos escareamentos e as roscagens. As brocas, o escareador e os machos encontram-se todos acoplados em suportes de ferramenta motorizada na torreta *Lower*.



**Figura 83: Etapas 13, 14 e 15 da maquinação**

Depois das operações de furação concluídas, é efetuada a fresagem dos rebaixos laterais. As ferramentas utilizadas foram duas fresas de topo plano, sendo uma para desbaste e uma para acabamento, e uma fresa de raio de canto para realizar os raios nas arestas (figura 84).

A última operação de maquinação a ser realizada diz respeito ao acabamento do diâmetro para a cota pretendida com recurso a um ferro de acabamento localizado na torreta *Right*.



**Figura 84: Etapas 16, 17 e 18 da maquinação**

Com isto, a testagem do programa está finalizada e o resultado final encontra-se demonstrado na figura 85. Em anexo no ponto 6 encontra-se um excerto de programação dos três canais.



**Figura 85: Maquinação do segundo lado concluída**

O passo seguinte é afinar o braço robótico, de maneira a que este consiga agarrar a matéria para colocar na bucha do *spindle* principal, e apanhar a peça acabada do *sub-spindle* e colocar no local próprio de descarregamento.

O braço robótico utiliza grampos, possíveis de observar na figura 86, que tiveram de ser ajustados ao diâmetro das peças. Depois teve de se gravar no programa do braço robótico as coordenadas em que são realizadas as diferentes ações. Estas coordenadas são gravadas por aprendizagem, movimentando manualmente o braço robótico até a posição de, por exemplo,

apanhar matéria, carrega-se em *teach* na secção do programa de apanhar matéria e ele grava as coordenadas. O mesmo sucede para todas as ações que desempenha: ensinar a posição de colocação da peça na máquina (no *spindle* principal); ensinar a posição que ele recolhe a peça acabada (no *sub-spindle*), e ensinar a posição que ele descarrega a peça acabada.

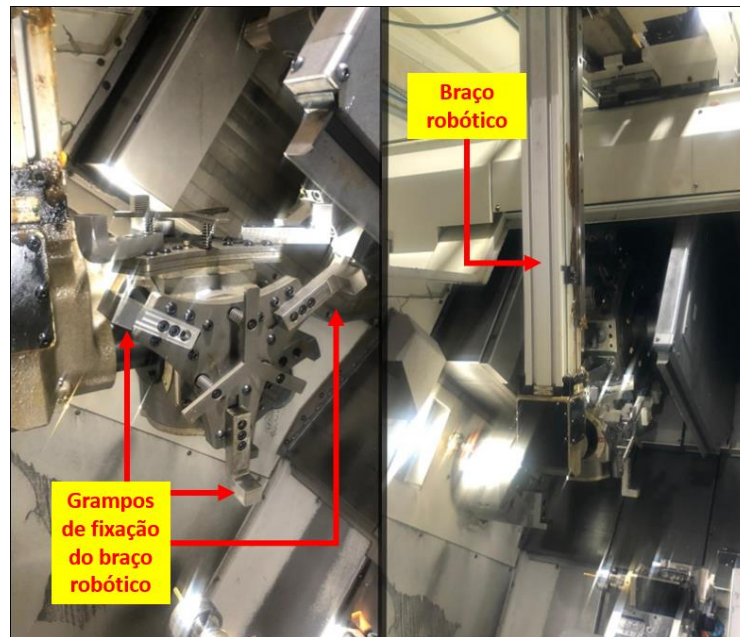


Figura 86: Ilustração do braço robótico no interior da máquina

A zona de carregamento da matéria-prima e descarregamento da peça acabada são demonstrados na figura 87.

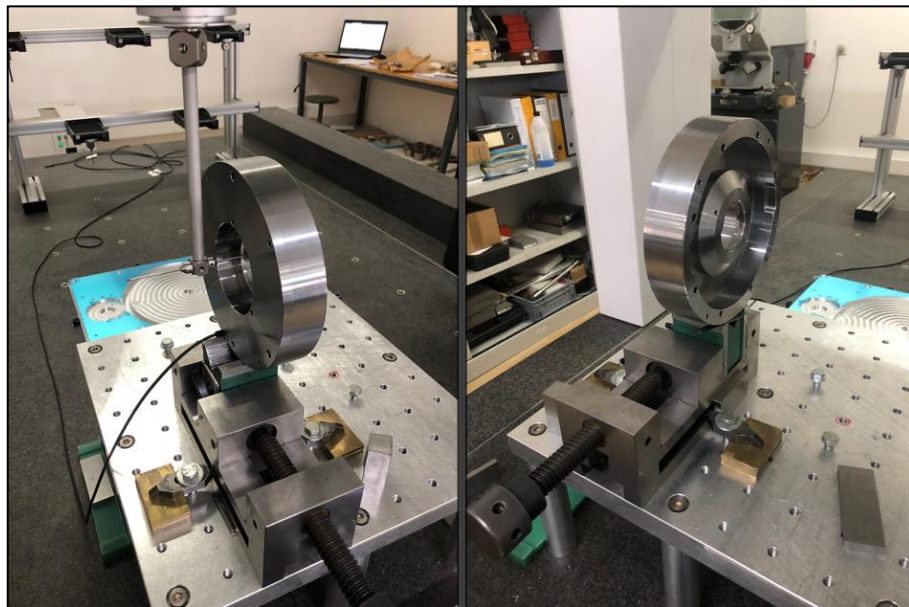


Figura 87: Zonas de carregamento e descarga

### 5.2.3. Controlo Dimensional

Com todas as funcionalidades mecânicas da máquina devidamente afinadas, dá-se início ao controlo dimensional da peça elaborada aquando da testagem do programa, com o objetivo de verificar se todas as cotas estão corretas e se tudo corresponde rigorosamente ao desenho fornecido pelo cliente.

Este controlo dimensional é realizado na *Zeiss Accura II*. É elaborado um programa específico de controlo de todas as cotas existentes na peça. Algumas das cotas em causa seriam impossíveis de medir manualmente com recurso a instrumentos de medida devido à complexidade das medições, como por exemplo cotas de centramento de furos, ângulos, entre outros. Na figura 88 é demonstrado o posicionamento da peça na máquina de medição.



**Figura 88: Medição na Zeiss Accura II da peça maquinada**

No final da medição da peça, é emitido um relatório com todas as cotagens que se encontram dentro de tolerância e todas as que se encontram fora de tolerância.

É com este relatório que se afinam as ferramentas da máquina. Cada cota é acabada por uma determinada ferramenta, logo se alguma cota se encontra fora de tolerância, tem de se recorrer ao menu de compensação de ferramenta em geometria e fazer as devidas compensações. No caso do posicionamento dos furos, se algum apresentar um posicionamento incorreto, o primeiro passo é verificar se a broca que faz este furo se encontra devidamente comparada com recurso ao aparelho comparador. Se mesmo assim se encontrar fora do posicionamento, tem de se alterar no código a rotação do eixo **C** até atingir a posição correta.

Todas as informações deste relatório são analisadas atentamente, e verifica-se quais as cotas onde é preciso intervir alterando as compensações.

Os parâmetros de corte utilizados nesta maquinação são todos aplicados de acordo com os fabricantes das ferramentas, mas se se verificar que os acabamentos não estão de acordo com o

pretendido, alteram-se os mesmos de forma a atingir um melhor resultado de maquinação, tendo sempre como objetivo a máxima durabilidade da ferramenta.

Tendo as cotas e os parâmetros devidamente afinados, dá-se início à produção, tendo a máquina a maquinar sem parar graças às ações do braço robótico.

#### 5.2.4. Início de Produção

A função do operador a partir de agora, é medir todas as cotas críticas das peças que saem da máquina, fazer as compensações de ferramenta que achar necessárias, verificar se não existe nenhuma ferramenta danificada, e no caso de existir, trocar e medir a ferramenta em causa. A medição pode ser feita na peça, com recurso a uma folha de papel conforme ilustrado na figura 89. Tem de se deslocar a ferramenta até à superfície da peça, onde se encontra também o zero-peça, e, colocando a folha de papel entre a ferramenta e a peça, deslocar a ferramenta em **Z** até prender o papel. Depois tem de se colocar no menu de geometria, na ferramenta pretendida, **Z0** e carregar em medir.

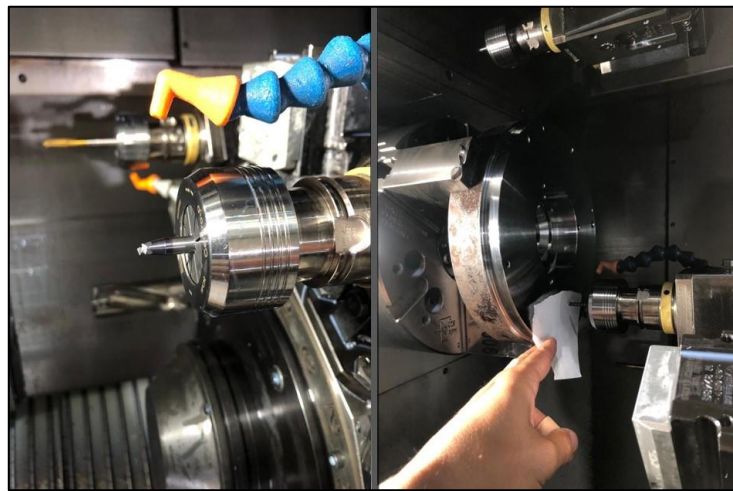


Figura 89: Exemplo de quebra de ferramenta e montagem

#### 5.2.5. Controlo de Tempo de Operações e Conclusões

O tempo de *setup* engloba todas as atividades que tenham que ver com a nova peça a desenvolver. No caso da peça referida acima, a programação CNC já tinha sido elaborada anteriormente, pois não era a primeira vez que esta produção estava a ser concebida na empresa, no entanto todas as outras atividades de *setup* foram cronometradas pelo autor.

Reduzir os tempos de *setup* e produção é um dos principais focos das empresas hoje em dia, e a RRMP não foge à regra.

Esta redução do tempo de *setup* visa diminuir os gastos gerais da empresa, e, assim, aumentar a produtividade e consequentemente os lucros da mesma, uma vez que quanto menos tempo durar a elaboração de um *setup* de uma peça que se pretende fabricar, mais rapidamente ela

começa a ser produzida e menos tempo o cliente estará à espera da chegada da encomenda. A satisfação do cliente é um dos fatores principais na área da maquinação CNC, portanto cabe a todos os trabalhadores da empresa fazerem todos os esforços necessários para que os prazos de entrega de encomendas sejam cumpridos com o menor número de contratempos possível. Ainda assim, é quase impossível haver uma produção que não os tenha, daí, advém a necessidade de a empresa possuir trabalhadores qualificados para que todos os contratempos e todos os problemas sejam resolvidos o mais rapidamente possível.

Segue um conjunto de tabelas que demonstram as principais atividades desenvolvidas pelo autor ao nível do *setup* da peça referida, separadas por dia de elaboração das atividades.

**Tabela 11: Tempos das atividades de *setup* no primeiro dia**

<b>Atividades de <i>setup</i></b>	<b>Tempo decorrido</b>
Medir OHL das ferramentas da produção anterior	20min
Desmontar todas as ferramentas e todos os suportes de ferramenta da produção anterior	2h 40min
Limpar a máquina, despejar limalha, limpar zona de trabalho	40min
Desmontar pinças e montar buchas	2h 30min
Afinar buchas com comparador e afinar sensores de <i>clamp</i> e <i>unclamp</i> das duas buchas	1h 50min

**Tabela 12: Tempos das atividades de *setup* do segundo dia**

<b>Atividades de <i>setup</i></b>	<b>Tempo decorrido</b>
Montar suportes de ferramenta segundo a folha de processo	3h
Alinhar os suportes de ferramenta motorizada em <b>Z</b>	2h 30min
Montar as ferramentas com os OHL descritos na folha de processo aproximados	2h 20min
Montar grampos torneados na bucha da árvore principal	10min

**Tabela 13: Tempos das atividades de *setup* do terceiro dia**

<b>Atividades de <i>setup</i></b>	<b>Tempo decorrido</b>
Comparar ferramentas motorizadas em <b>X</b> e <b>Y</b>	5h 20min
Medir ferramentas em <b>Z</b> com medidor da máquina	30min
Afinar grampos torneados para o diâmetro da matéria e cortar matéria para medição em <b>X</b> (estratégia utilizada ver pág. 61)	1h 40min
Medir ferramentas em <b>X</b>	1h 40min

**Tabela 14: Tempos das atividades de *setup* do quarto dia**

<b>Atividades de <i>setup</i></b>	<b>Tempo decorrido</b>
Alinhar e afinar os bocais de refrigeração	25min
Verificar compensações de raio e quadrantes de ferramenta	20min
Testar programa	7h 20min

**Tabela 15: Tempos das atividades de *setup* do quinto dia**

<b>Atividades de <i>setup</i></b>	<b>Tempo decorrido</b>
Medir primeira peça e fazer compensações de ferramenta necessárias	2h 20min
Programar e afinar braço robótico	1h 30min

É importante referir o facto de que a pouca experiência do autor contribuiu para que os tempos de *setup*, no geral, fossem um pouco mais extensos do que o habitual. No entanto, para uma máquina com a complexidade da Muratec, é normal que os tempos sejam mais extensos do que numa máquina com menos eixos.

O tempo de ciclo de elaboração de uma peça completa, uma vez que é possível a maquinação da primeira e da segunda parte em simultâneo (em duas peças diferentes), é sempre igual à parte que demora mais tempo de maquinação, que neste caso é a do segundo lado elaborada no *sub-spindle*.

Contando com o ciclo completo de tempo incluindo os deslocamentos do braço robótico, a elaboração de uma peça tem uma cadência de 25 minutos.

### 5.2.6 Ciclo de Produção

Partindo do princípio que se encontra uma peça a ser maquinada na primeira parte, aquando do final da mesma, dá-se a transferência para o *sub-spindle*. O braço robótico recebe então a informação de que não existe matéria na bucha do *spindle* principal, logo desloca-se em direção à zona de carregamento de matéria observado anteriormente na figura 87, apanha uma bolacha de matéria-prima e desloca-se em direção à bucha do *spindle* principal. Dá-se início à maquinação das duas partes em simultâneo.

Uma vez que, como já referido anteriormente, a segunda parte da maquinação é mais demorada do que a primeira, a peça da primeira parte fica parada em espera para que a da segunda possa ser finalizada.

Quando a segunda parte da maquinação é finalizada, o braço robótico recebe a informação e dirige-se para o *sub-spindle* para recolher a peça acabada, dirigindo-se depois para a zona de descarga da figura 90. Ao mesmo tempo dá-se a transferência da peça do *spindle* principal para o *sub-spindle*, o que dá a informação ao braço robótico que a bucha do *spindle* principal se encontra sem peça e assim um novo ciclo começa.

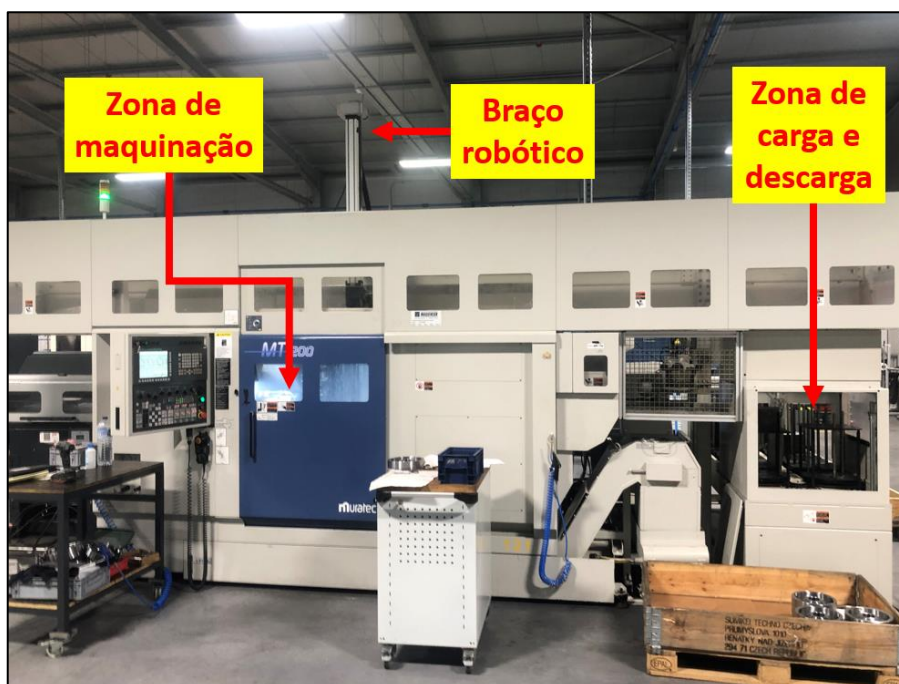


Figura 90: Zona de maquinação, zona de carga e descarga e braço robótico na Muratec

### 5.3. Introdução de um Novo Torno no Setor Produtivo.

Com o aumento de volume de trabalho, a RRMP teve necessidade de obter um novo equipamento de produção, no qual o autor teve um papel importante na sua instalação. O processo inclui formação de como operar a máquina e posteriormente o início do processo de alta produção de uma referência.

#### 5.3.1. Caracterização do Equipamento

O equipamento adquirido pela empresa é um torno fabricado pela CMZ, sendo o seu modelo TTL-66 representado pela figura 91.



Figura 91: CMZ TTL-66, (CMZ, 2021)

É um torno CNC de 10 eixos que possui duas torretas, um *spindle* e um *sub-spindle*, estando preparado para alta produção. As suas características principais estão representadas na tabela 16.

Esta é uma máquina bastante robusta e versátil, sendo capaz de produzir peças de alta complexidade num menor tempo, quando comparada com outras máquinas.

Vem equipada com um alimentador automático de barras de matéria-prima e com um descarregador de peças por tapete rolante.

Tabela 16: Características principais do torno CMZ

<i>Eixos</i>	<i>ømáx [mm]</i>	<i>Nº posições</i>	<i>S [rpm]</i>	<i>P [kW]</i>
10	220 / 66 (barra)	24	4500	35,5

Ambas as torretas têm capacidade de operar nos dois *spindles*, ou seja, tanto podem estar a operar as duas no *spindle* principal, como podem estar a operar as duas no *sub-spindle*, como podem estar a operar individualmente e simultaneamente uma em cada *spindle*.

A cinemática do novo equipamento está ilustrada na figura 92.

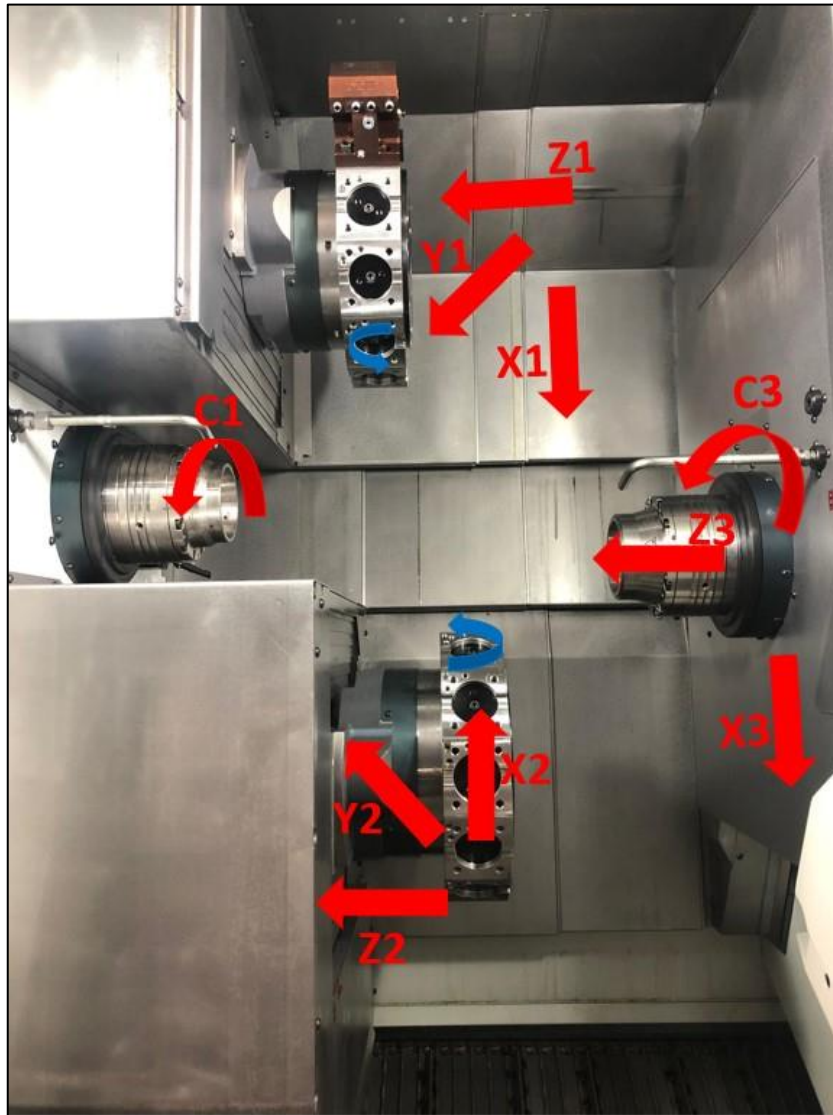


Figura 92: Cinemática do torno de 10 eixos

Como representado na figura acima, cada torreta tem os seus respetivos eixos **X**, **Y** e **Z**.

O *sub-spindle* possui também ele um eixo **X** e um eixo **Z**. Isto acontece devido ao facto de esta máquina operar com 3 canais de programação. O primeiro canal é referente à torreta, o segundo canal à torreta 2 e o terceiro é referente ao *sub-spindle*. Sendo assim é possível controlar a posição do mesmo tanto em **X** como em **Z**. Mais à frente serão explicadas as vantagens desta característica.

Esta máquina possui também os eixos **C** que permitem o controlo angular dos *spindles* para a utilização de ferramentas motorizadas. Em todas as posições das duas torretas é possível acoplar

suportes de ferramentas motorizadas. Estas operam com uma potência de 14 kW e com um máximo de velocidade de rotação de 12000 rpm.

Para além disso, as duas torretas têm capacidade de rodar em meias indexações, logo cada torreta consegue rodar em 24 posições diferentes (12 posições principais mais 12 meias-indexações). Como se pode ver na figura 93, os números de 1 a 12 da torreta correspondem às posições principais da torreta, enquanto que, de 13 a 24, corresponde às meias-indexações. As meias-indexações servem para que, na mesma posição da torreta, seja acoplado um suporte que agrupe duas ferramentas, uma para cada indexação. Por exemplo se for montado um suporte de ferramenta próprio para as meias-indexações na posição 1 da torreta, uma das ferramentas irá operar na posição 1 e a outra na posição 13. O objetivo é fornecer uma quantidade maior de ferramentas disponíveis para maquinar utilizando a maior angularidade de rotação da torreta.

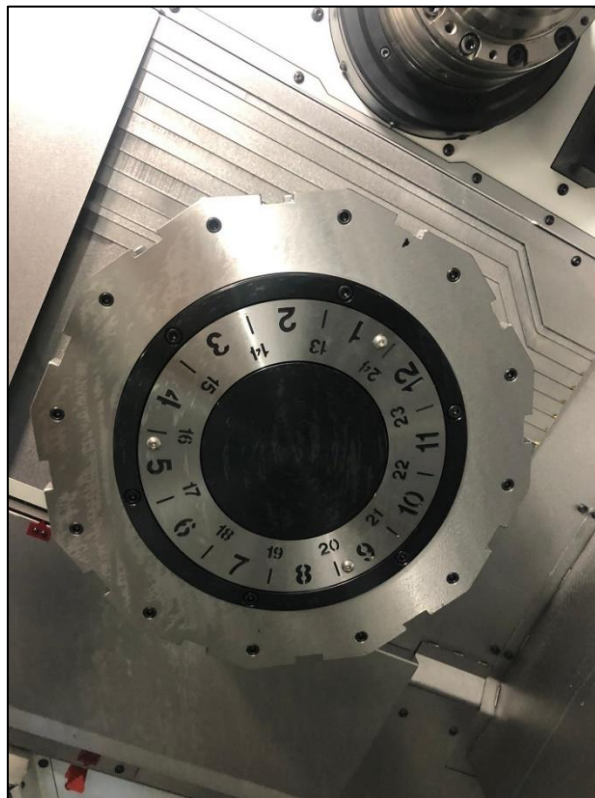


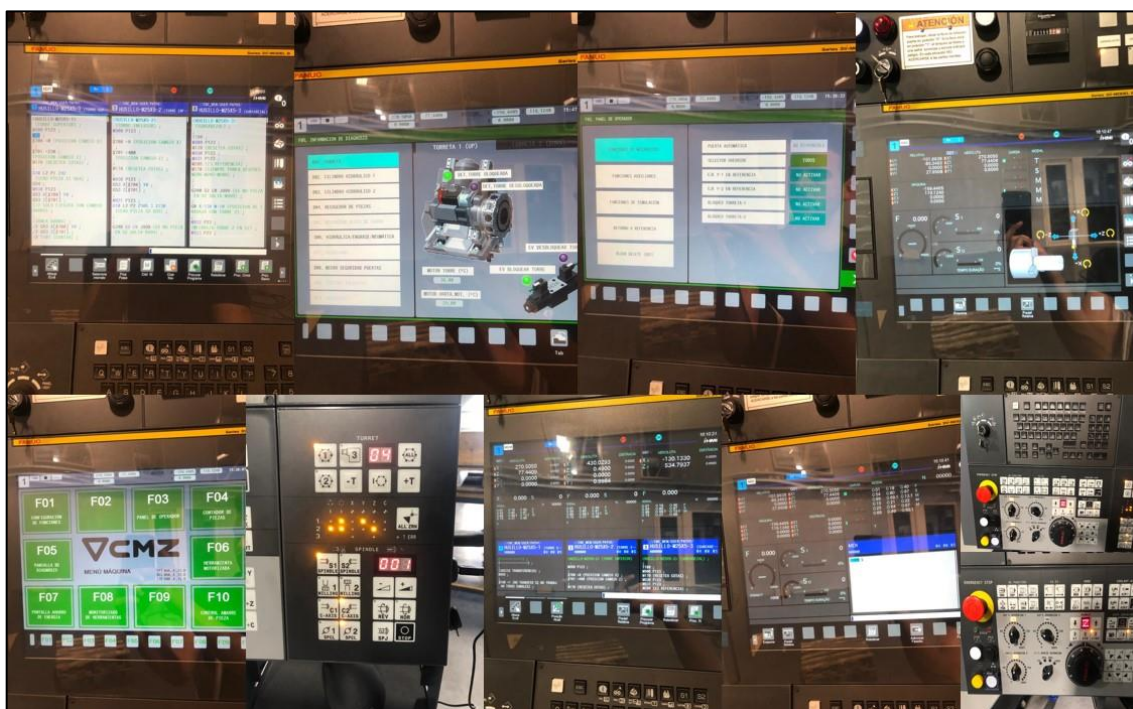
Figura 93: Nº de posições na torreta

O facto de ambas as torretas trabalharem nos dois *spindles*, exige que os corretores das ferramentas sejam diferentes para um lado e para o outro. Por isso é necessário ter em conta que quando as torretas operam no *spindle* principal, o corretor é igual ao número da posição por exemplo, se se quer chamar a ferramenta 7 para maquinar neste *spindle* terá de se pôr em código T0707, em que o primeiro 7 indica o número da posição e o segundo indica o número do corretor. Se a torreta for trabalhar ao *sub-spindle*, o número do corretor é igual ao número da posição mais vinte e quatro, neste caso 7 mais 24. Para chamar esta ferramenta a maquinar neste *spindle* deve-se colocar em código T0731. Tendo sempre em conta que o plano G54 corresponde ao *spindle* principal e o plano G55 ao *sub-spindle*.

### Controlador do Torno CMZ TTL-66

A máquina tem um controlador desenvolvido pela CMZ, que por sua vez utiliza um *software* Fanuc.

Este controlador tem funcionalidades que até agora não seriam possíveis de encontrar nas máquinas da RRMP, tais como monitorização de ferramenta, operações de manutenção de máquina, tipo de manutenção a fazer e quando se deve fazer, criação de novas ferramentas, elaboração de programas com recurso a ciclos e operações padrão, simulação virtual de máquina para evitar colisões, entre outras, sendo alguns dos principais menus visíveis na figura 94.



**Figura 94: Diferentes menus do controlador CMZ**

Para além de todas as novas funcionalidades, este controlador possui modos de operar também eles bastante diferentes do habitual, já que existem botões e certas funcionalidades que são totalmente novos na empresa, bem como os modos de operar a máquina.

Por outro lado, o facto da empresa não possuir ainda um pós-processador para esta máquina, obriga a que toda a programação CNC seja feita diretamente no controlador da máquina, ao contrário do que é feito nas outras máquinas onde toda a programação é elaborada através de um *software* CAD/CAM e no final transferido o programa para a máquina.

### 5.3.2. Potencialidades do Equipamento

Este torno tem capacidade de trabalhar das mais variadas formas possíveis.

O facto do *sub-spindle* se mover em **X** e em **Z**, oferece uma versatilidade de formas de maquinação muito além do tradicional.

Como é possível observar na figura 95, se os *spindles* trabalhassem alinhados um com o outro, as torretas teriam um espaço muito reduzido para operar sem que houvesse colisão entre elas. Para resolver esta situação, foi desenvolvido o eixo **X3** (figura 92) que permite a movimentação do *sub-spindle* verticalmente.

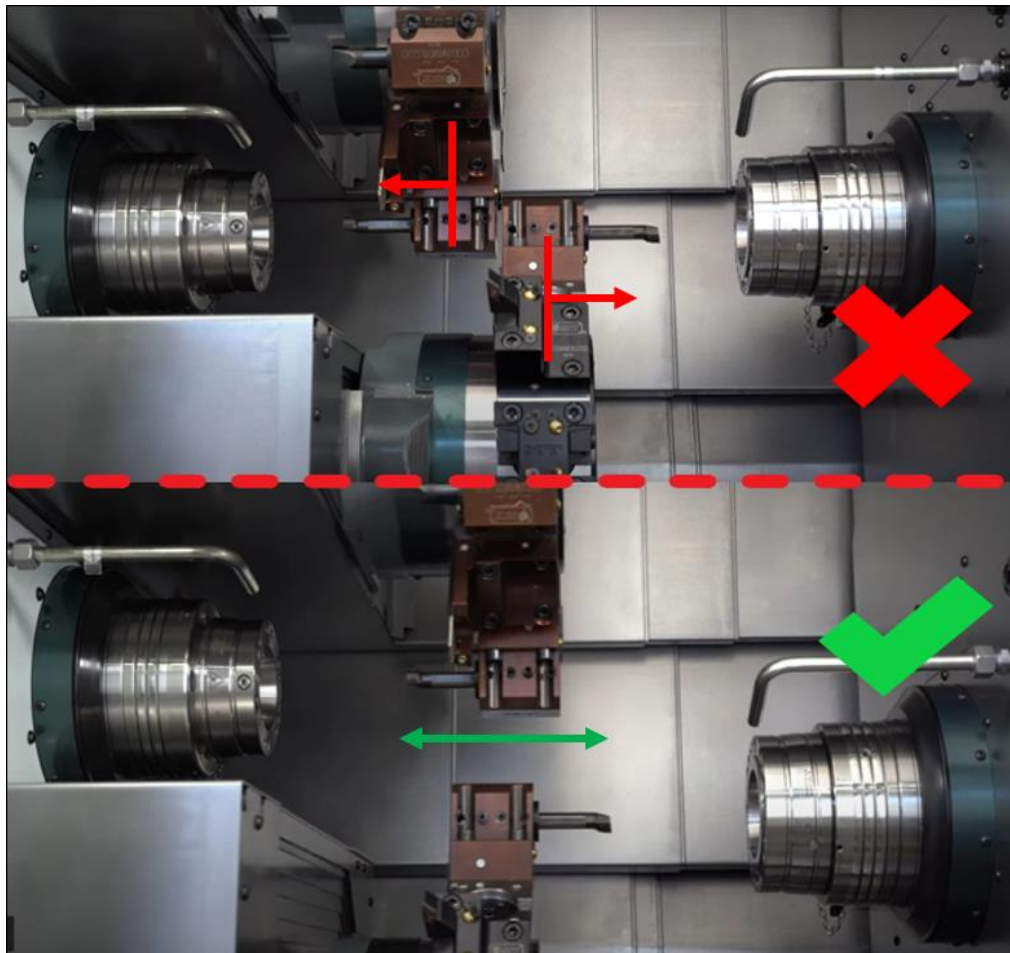


Figura 95: Diferença de espaço de maquinação com *spindles* alinhados e desalinhados, (Adaptado de (CMZ, 2021))

A posição de **X3** é guardada no plano G55. Sempre que este plano é seleccionado, o *sub-spindle* toma a posição pretendida. Já o *spindle* principal opera no plano G54. O que quer dizer que, se por exemplo chamamos a torreta 2 a **X=0**, ela vai percorrer uma distância maior (a- figura 96) quando estiver selicionado o plano G54, comparando com a distância que percorreria se estivesse seleccionado o plano G55 (b- figura 96).

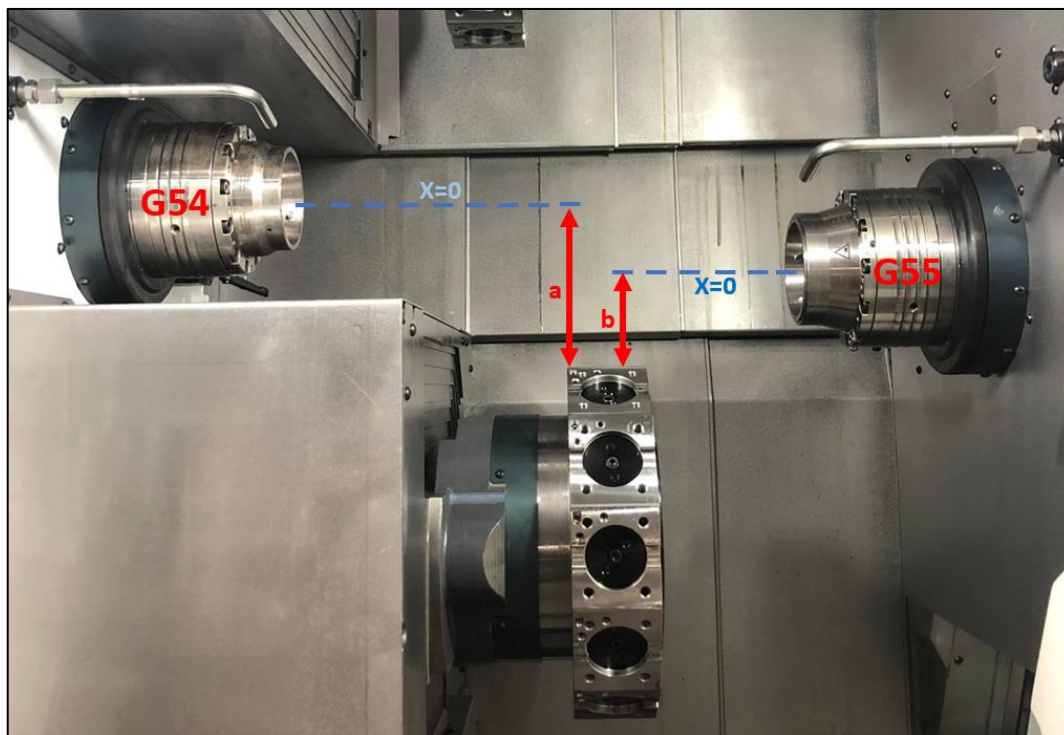


Figura 96: Caracterização de planos de trabalho na CMZ, (Adaptado de (CMZ, 2021))

São várias as operações que esta máquina consegue desenvolver. Seguem-se alguns exemplos das variadas maneiras de conjugar os 10 eixos disponíveis:

- Maquinação com a torreta 1 no *spindle* principal e a torreta 2 no *sub-spindle* com estes alinhados no mesmo **X** (figura 97):

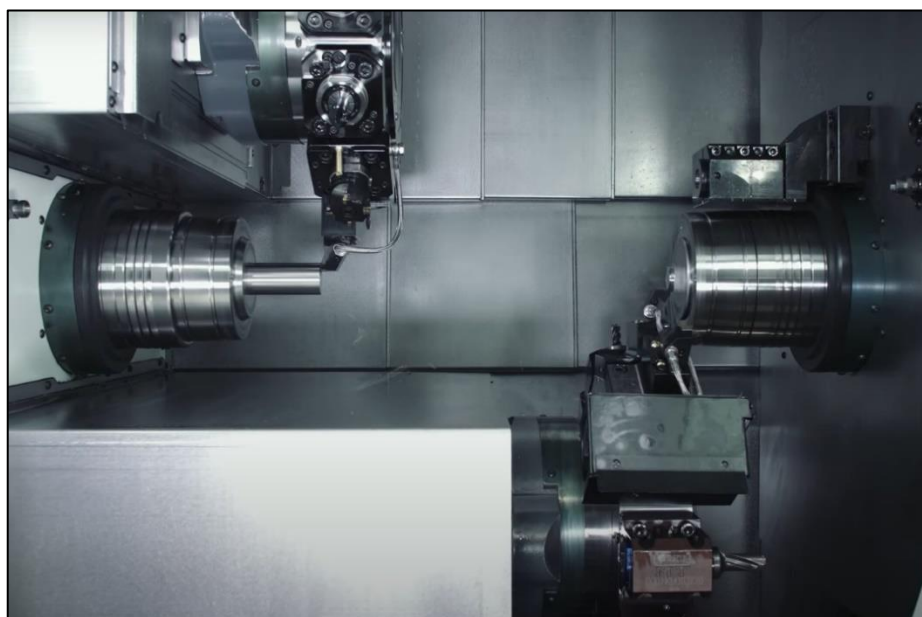
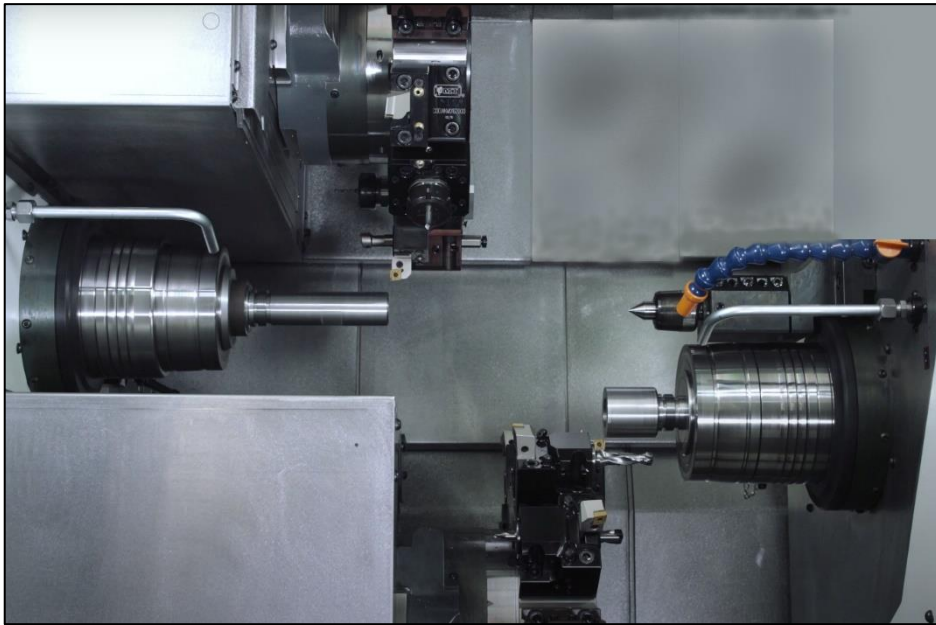


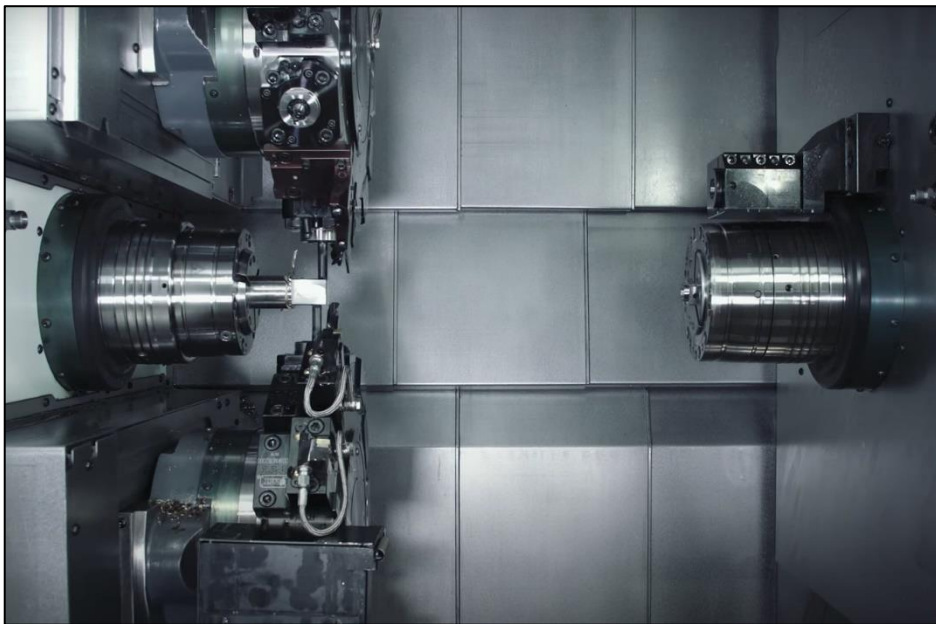
Figura 97: Maquinação com *spindles* alinhados, (Adaptado de (CMZ, 2021))

- Maquinação com a torreta 1 no *spindle* principal e a torreta 2 no *sub-spindle* com estes desalinhados em X (figura 98):



**Figura 98:** Maquinação com *spindles* desalinhados, (Adaptado de (CMZ, 2021))

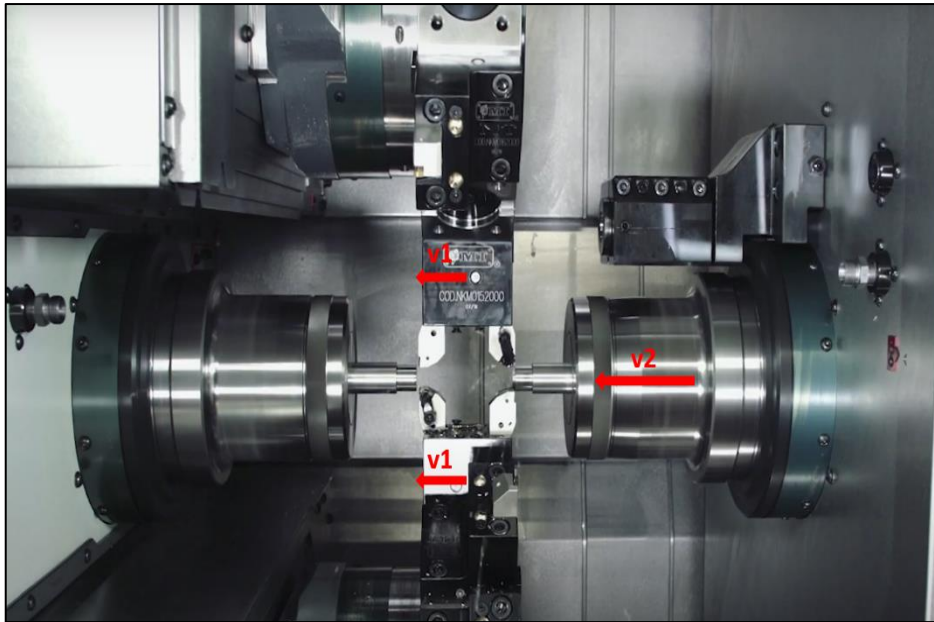
- Maquinação com as duas torretas a trabalhar em conjunto no *spindle* principal (figura 99):



**Figura 99:** Maquinação com duas torretas no *spindle* principal, (Adaptado de (CMZ, 2021))

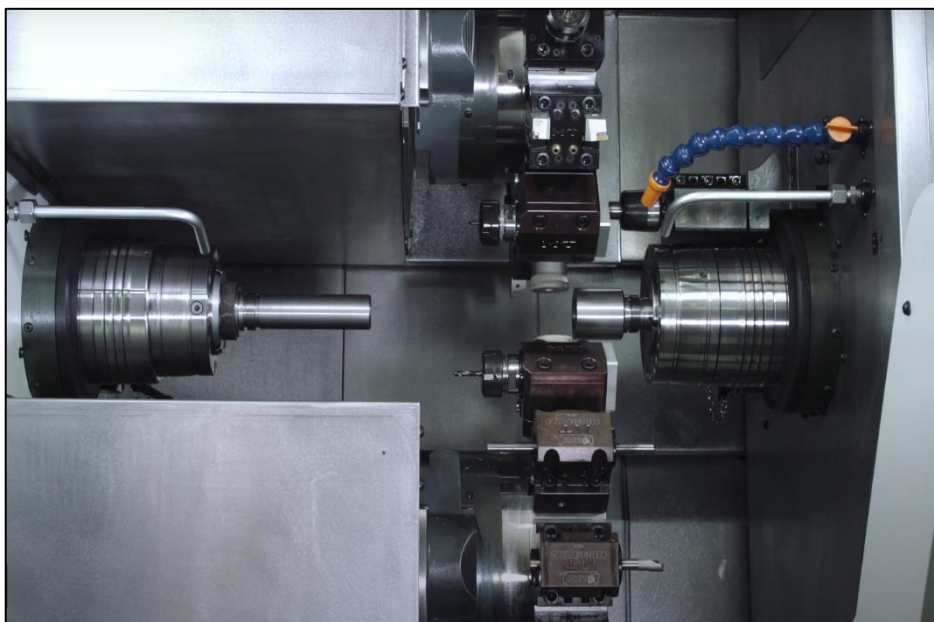
- Maquinação com quatro ferramentas em simultâneo. Para isto são utilizados dois suportes de torneamento exterior duplos, um em cada torreta. Os dois *spindles* estão alinhados em **X** e o *sub-spindle* faz o movimento em **Z**.

Para que o movimento de avanço seja igual dos dois lados da maquinação, e supondo que ambas as torretas se estão a movimentar para a esquerda à mesma velocidade, o *sub-spindle* terá de se movimentar segundo **Z** na mesma direção com o dobro da velocidade para que o avanço seja o mesmo, ou seja  $v_2=2*v_1$  como ilustrado na figura 100:



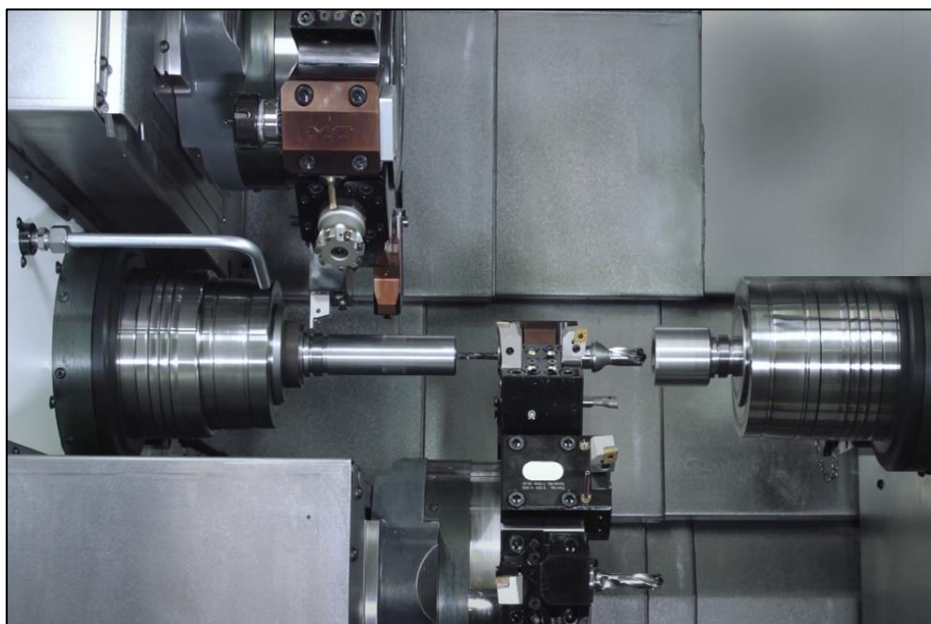
**Figura 100: Maquinação utilizando o eixo Z4 com ambas as torretas a trabalhar em simultâneo em ambos os *spindles*, (Adaptado de (CMZ, 2021))**

- Maquinação em simultâneo com as duas torretas no *sub-spindle* (figura 101):



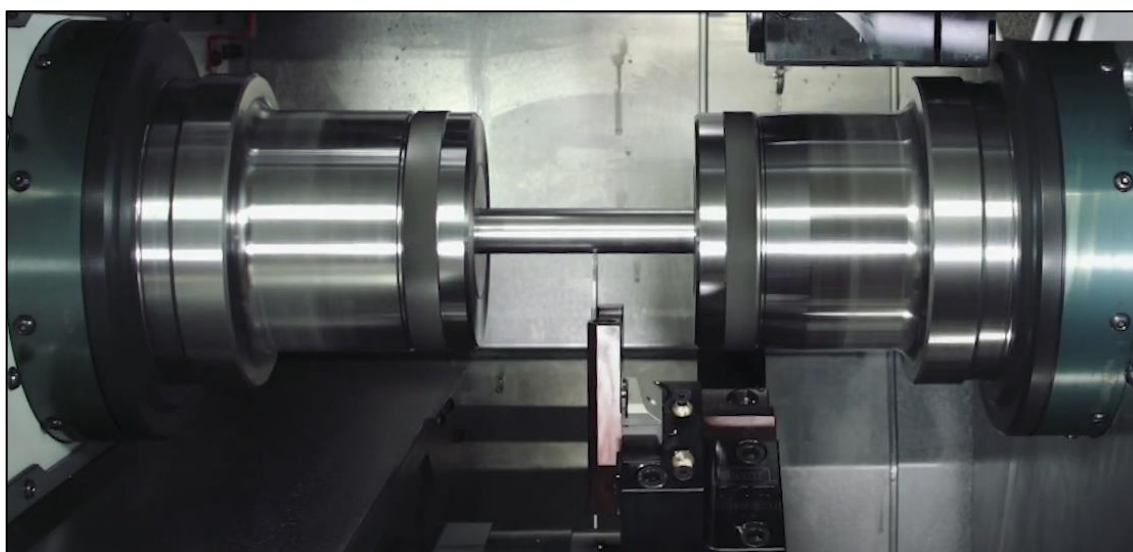
**Figura 101: Maquinação das duas torretas no *sub-spindle*, (Adaptado de (CMZ, 2021))**

- Maquinação com três operações ao mesmo. Neste exemplo estão representadas duas operações de furação e uma operação de torneamento. A torreta 2 faz o movimento da direita para a esquerda e o *sub-spindle* tem de se movimentar em **Z**, conjugando o avanço pretendido de furação, e tendo em conta que a torreta se move no sentido contrário (figura 102):



**Figura 102: Maquinação com a torreta 1 no *spindle* principal e com a torreta 2 em ambos os *spindles*, (Adaptado de (CMZ, 2021))**

- Operação de sangramento para a transferência da peça a maquinar do *spindle* principal para o *sub-spindle* (figura 103):



**Figura 103: Operação de transferência de peça de um *spindle* para o outro recorrendo ao sangramento, (Adaptado de (CMZ, 2021))**

### 5.3.3. Análise Comparativa Com Equipamento Existente

Antes da chegada da CMZ TTL-66, o torno mais complexo da RRMP era a Muratec MT200GT3 de 11 eixos.

As duas máquinas possuem vantagens e desvantagens uma em relação à outra e ambas constituem uma mais-valia para a empresa uma vez que são máquinas potentes, versáteis e precisas. Contudo, o nível de conhecimentos necessários para programar / operar estes tornos terá naturalmente de ser superior, uma vez que são máquinas mais complexas que as demais.

Na tabela 17 estão representadas algumas das diferenças de características entre o novo equipamento e o equipamento já existente, com o objetivo de realizar uma análise comparativa entre elas.

**Tabela 17: Comparação do equipamento CMZ e Muratec**

	<i>CMZ TTL-66</i>	<i>Muratec MT200GT3</i>
<i>Eixos</i>	10	11
<i>Párvores [kW]</i>	35,5	15
<i>P motorizadas [kW]</i>	14	14
<i>Sárvores [rpm]</i>	4000	4500
<i>S motorizadas [rpm]</i>	12000	4500
<i>Nº torretas</i>	2	3
<i>Nº posições</i>	24	42
<i>Nº meias indexações</i>	24 (12 por torreta)	12 ( <i>Lower</i> )
<i>Nº de torretas capazes de trabalhar nos 2 spindles</i>	2	1 ( <i>Lower</i> )
<i>Tamanho da máquina</i>	Menor	Maior
<i>Ø<sub>máx</sub> barras [mm]</i>	66	80
<i>Tempo de montagem de ferramenta</i>	Menor	Maior
<i>Tempo de medição de ferramenta</i>	Menor	Maior
<i>Tempo de testagem de programa</i>	Menor	Maior
<b><i>Tempo de setup</i></b>	<b>Menor</b>	<b>Maior</b>

Como se pode observar na tabela, apesar de a Muratec ter mais um eixo que a CMZ, não significa que seja uma máquina mais versátil uma vez que a CMZ tem apenas 2 torretas enquanto que a Muratec tem 3.

A CMZ possui uma maior potência de *spindle* quando comparada à Muratec, o mesmo não acontece em relação à potência de saída das ferramentas motorizadas, onde ambas têm 14 kW. Significa que a CMZ está mais bem preparada para a maquinação de peças com um diâmetro superior. Por exemplo, ao maquirar uma peça com 200 mm de diâmetro, a CMZ exerceria menos esforço em torneamento do que a Muratec, o que levaria a um menor desgaste de componentes.

Quanto à velocidade de rotação dos *spindles*, a Muratec leva a vantagem pois possui uma velocidade máxima de 4500 rpm, 500 rpm a mais do que a velocidade máxima atingível pelos *spindles* da CMZ. Já na velocidade atingida pelas ferramentas motorizadas, a CMZ supera em muito a Muratec com uma diferença de 7500 rpm entre elas.

Comparando o número de posições onde é possível montar um suporte de ferramentas na torreta, a Muratec possui 42 e a CMZ apenas 24. Isto deve-se ao facto de a Muratec ter uma torreta a mais que a CMZ. No entanto, a CMZ tem um maior número de meias indexações, ou seja, ambas as torretas possuem esta capacidade sendo capazes de rodar em 24 posições cada uma, 48 no total. A única torreta que faz meias indexações na Muratec é a torreta *Lower* com 12, que perfaz 24 a juntar às 12 posições principais. Ambas as máquinas têm vantagens e desvantagens em relação a este tópico, pois se quisermos operar maioritariamente com ferramentas motorizadas, a Muratec oferece 42 posições disponíveis contra apenas 24 da CMZ.

A maior vantagem que a CMZ tem em relação à Muratec é o facto de as duas torretas poderem trabalhar tanto no *spindle* principal como no *sub-spindle*, uma vez que a única torreta com esta capacidade na Muratec é a torreta *Lower*. Isto aliado ao facto de a movimentação do *sub-spindle* ser programável em **X** e **Z**, fazem com que a CMZ seja uma máquina mais versátil do que a Muratec. Isto significa que a quantidade de formas de maquinação diferentes são muito mais nesta máquina.

Quanto ao volume ocupado por estas máquinas, a CMZ leva vantagem pois é um equipamento mais compacto e consequentemente mais leve do que a Muratec.

Em relação ao diâmetro máximo das barras de alimentação a Muratec tem vantagem pois tem capacidade de alimentar barras de maior diâmetro.

Outra grande vantagem que a CMZ possui é o facto de a preparação da máquina para produção, em geral, ser de uma duração mais curta do que a preparação da Muratec. Isto é, tanto o tempo de montagem de suportes e de ferramentas, como o tempo de medição das ferramentas, como o tempo de testagem de programas, são todos mais curtos na nova máquina. Tal se deve ao facto de esta ter menos uma torreta, que reduz os tempos de montagem no geral, reduzindo assim os tempos de *setup*. Os tempos de *setup* vão, no entanto, variar consoante a complexidade da peça a produzir, mas ao produzir a mesma peça numa e noutra máquina, a CMZ acaba por sair com vantagem devido aos aspetos mencionados acima.

Para além de tudo isto, a CMZ oferece um controlador com mais capacidades e mais funções do que o controlador da Muratec.

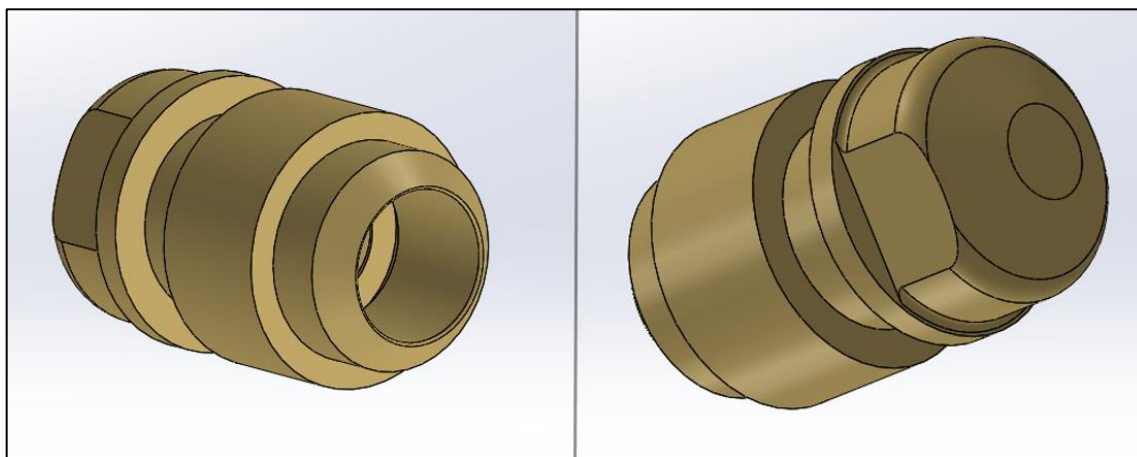
Ambas as máquinas possuem os seus pontos fortes e os seus pontos fracos, mas acima de tudo constituem sem dúvida um ponto forte no setor do torneamento da RRMP.

#### 5.3.4. Setup de uma Referência no Torno CMZ

No âmbito da introdução da CMZ TTL-66 na RRMP, foi proposta a elaboração do *setup* de uma referência em contexto da formação inicial conduzida pela marca fabricante do equipamento.

Como para esta máquina não existe ainda, na RRMP, um pós-processador, toda a programação CNC tem de ser efetuada diretamente no controlador como referido na página 77. Para isso foi fornecido um desenho da referência a produzir com todas as dimensões e procedeu-se à elaboração da estratégia de maquinação, ou seja, definir que operações são feitas, e em que ordem.

A peça a maquinar encontra-se representada na figura 104, sendo uma liga de cobre e alumínio designada de alubronze (propriedades físicas e mecânicas do material em anexo no ponto 4).



**Figura 104: Peça a maquinar na CMZ, visualizada em diferentes perspetivas**

A estratégia de maquinação implica definir quais os procedimentos a implementar para que a maquinação da peça seja feita com os menores erros possíveis e no menor tempo possível. Além disso tem-se também como objetivo estabelecer a ordem das operações tendo em vista montar os suportes de ferramenta nos lugares estratégicos da torreta, para que esta rode o menos possível entre as operações, e assim poupar tempo.

Definida a estratégia de maquinação a seguir, foi feita a montagem dos suportes necessários para a utilização de todas as ferramentas determinadas.

## Montagem da Máquina

A montagem dos suportes observada na figura 105 foi feita tendo em conta as sequências das operações a efetuar e tendo em conta também a distribuição do peso das ferramentas o mais uniformemente possível pela torreta, de modo a esta não ficar desequilibrada.



Figura 105: Máquina antes e depois da montagem dos suportes de ferramenta nas torretas

Nesta montagem foram utilizados suportes de torneamento interiores e exteriores, suporte de lâmina de sangrar, suportes para ferramentas motorizadas axiais que foram alinhados utilizando o mesmo procedimento que o descrito na página 60 e suportes para ferramentas motorizadas radiais (figura 106).

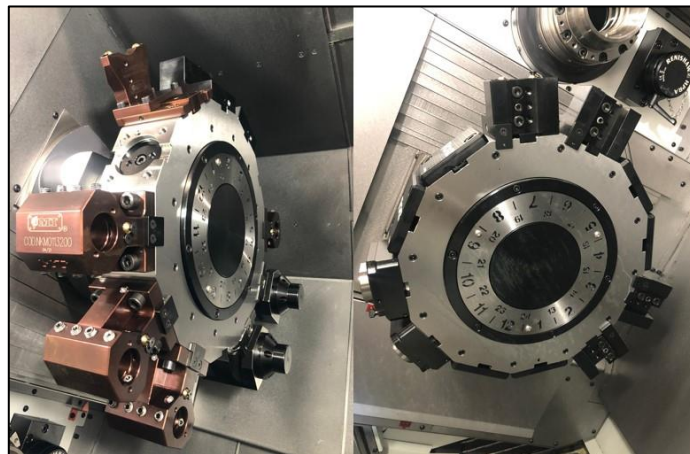


Figura 106: Suportes de ferramenta utilizados na torreta 1 (à esq.) e torreta 2 (à dir.)

De seguida, é feita a montagem das ferramentas nos suportes indicados e medição das mesmas utilizando o sistema de medição incorporado no equipamento. São também inseridos no menu da geometria das ferramentas os valores de *offset* de ferramentas tablados. Isto é, os valores tablados de *offset* em X das ferramentas de furação que trabalham axialmente consoante o suporte, tendo em conta se é um suporte de torneamento interior, ou se é um suporte de uma

ferramenta motorizada axial (figura 107 à esquerda), bem como os valores tablados de *offset* em **Z** nas ferramentas motorizadas radiais (figura 107 à direita), valor este que é 0 uma vez que a referência de coordenadas da máquina, neste caso, se encontra exatamente a meio da largura da torreta, portanto, ao utilizar um suporte de ferramenta motorizada radial, o valor do *offset* em **Z** será 0 pois a ferramenta está posicionada radialmente e o seu centro coincide com metade da largura da torreta, ou seja, com a referência de coordenadas da máquina.



**Figura 107:** Suportes motorizados axial (à esq.), radial (à dir.) e ilustração do *offset* **Z=0**

O passo seguinte consiste em verificar se as ferramentas de furação axial, quando chamadas a **X=0**, coincidem com o centro do *spindle*. Para efetuar esse procedimento, estas ferramentas têm de ser chamadas uma de cada vez a esta coordenada de **X**. O dispositivo comparador é então acoplado ao *spindle* através de um íman ou através da pinça de aperto ou bucha como se pode ver na figura 108. Para verificar se as ferramentas coincidem com o centro do *spindle*, basta tocar com o dispositivo comparador na base da ferramenta, rodar o *spindle* e ver se ao longo dos 360° existe uma variação considerável ( $\pm 0,05$  mm). Se a variação for inferior a este valor a ferramenta está pronta a ser utilizada. Se for superior, terá de ser ajustado o valor fazendo movimentar a torreta em **X** e/ou **Y** para que esta fique perfeitamente alinhada com o centro do *spindle*. No fim deste procedimento basta calcular zero através do controlador, e o *software* guarda automaticamente os valores.



**Figura 108:** Alinhamento de ferramentas com recurso a dispositivo comparador

Deve também ser feita a configuração do alimentador automático, uma vez que a peça será fabricada em alta produção. É necessário também escolher o tipo de perfil da matéria-prima, o diâmetro e definir o comprimento a alimentar.

Ao acoplar as pinças dentro dos *spindles* e fazendo a afinação de todos os bicos de refrigeração (confirmando se estão a apontar para o local pretendido e verificar se as ferramentas com refrigeração interna estão devidamente desentupidas), dá-se por concluída a montagem da máquina, e portanto, passa-se à elaboração do código CNC que permitirá a maquinação da peça e todas as movimentações da máquina necessárias a esta produção.

### Definição de Operações e Programação do Movimento das Ferramentas

A primeira operação a ser elaborada é um desbaste de geometria do primeiro lado conforme ilustrado na figura 109. É utilizado um ferro de desbaste exterior com pastilha de 80° para suportar uma maior carga. É efetuado um facejamento seguido de um ciclo de torneamento onde são dadas as coordenadas de início e de fim de cotas, e quanto material a pastilha tira por passagem. É deixada uma espessura de 0,2 mm para acabamento (medida radial). No código CNC tem de se pôr 0,4 mm pois é a cota diametral que conta nos tornos).

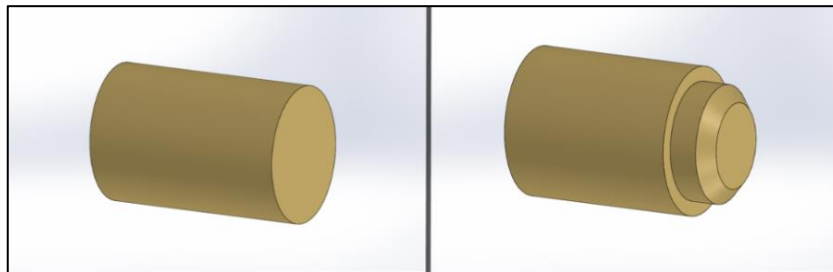


Figura 109: Definição das operações de facejamento e torneamento

As operações realizadas a seguir são furações. Uma vez que as furações são de diâmetros diferentes, pois uma delas tem a finalidade de ser uma rosca, primeiro é feita a furação de maior diâmetro até à distância pretendida (figura 110 à esquerda), e depois a segunda furação tem início no fim da primeira e vai também ela até à distância pretendida (figura 110 à direita). Foram utilizadas duas brocas de aço revestido com os diâmetros pretendidos e com refrigeração interna para fazer esta operação. A mesma foi feita recorrendo a ciclos de furação.

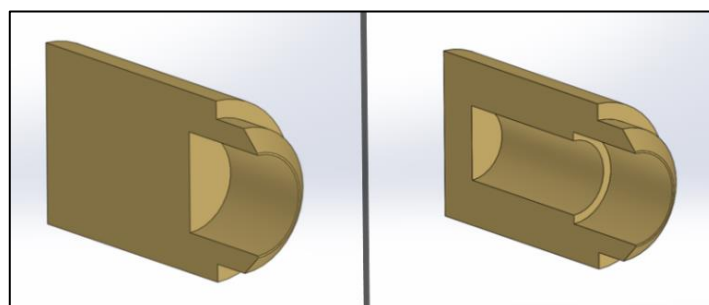
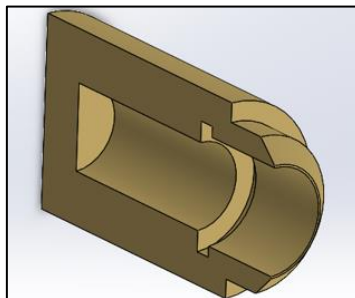


Figura 110: Definição das operações de furação com vista da peça em corte

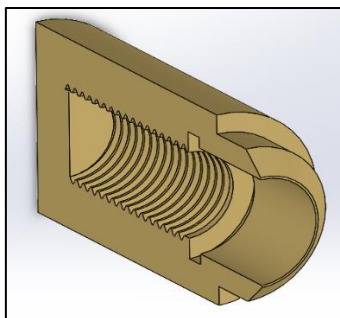
Depois das duas furações, é feita a ranhura interna no local pretendido. Esta ranhura utiliza um ferro de ranhurar interior, e toda a programação é feita em código CNC ISO. Em primeiro lugar é efetuado um desbaste por incrementos sucessivos de profundidade um acabamento logo a seguir em torneamento. A ranhura pode ser observada na figura 111.



**Figura 111: Definição da operação de ranhurar com vista em corte do interior do furo**

A operação que é feita a seguir é a roscagem do interior (figura 112) recorrendo a um macho colocado num suporte de ferramenta motorizada axial. Posteriormente é efetuado o acabamento exterior, onde é utilizado um ferro de exterior com pastilha de 55°, sendo a programação elaborada em código CNC ISO. A razão pelo qual é efetuado o acabamento exterior depois da roscagem, deve-se ao facto da operação de roscagem com macho ser uma operação que aplica elevadas tensões no material. Se estas duas operações fossem realizadas pela ordem inversa, correr-se-ia o risco de o acabamento ficar com cotas menos precisas devido à hipótese de ocorrer a deformação do material.

Ainda em relação ao interior da peça, dá-se também a operação de mandrilagem, utilizando para o efeito um mandril montado num suporte de ferramenta motorizada axial. Esta operação tem como objetivo garantir cotas dentro da tolerância especificada.



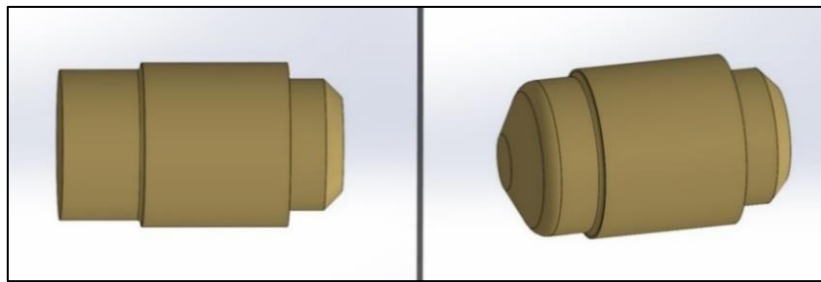
**Figura 112: Definição da operação de roscagem**

Todas as operações descritas anteriormente, foram efetuadas no *spindle* principal com recurso unicamente à torreta 1. Nesta peça a torreta 2 trabalha unicamente no *sub-spindle*, enquanto decorre a maquinação do segundo lado desta peça.

Como tal, a operação seguinte diz respeito à transferência da peça do *spindle* principal para o *sub-spindle*. Para isso, terá de se fazer um avanço segundo **Z3**, agarrar a peça, estando totalmente sincronizado em velocidade de rotação com o *spindle* principal. A peça é então

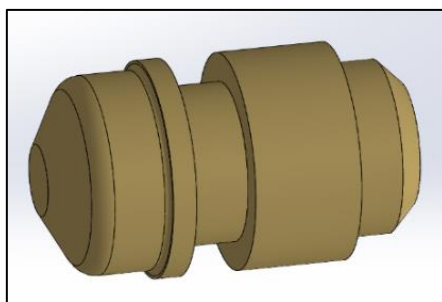
sangrada usando uma lâmina de sangrar. A programação do avanço do *sub-spindle* é feita no terceiro canal e em código CNC ISO, sendo as restantes operações acima indicadas feitas no primeiro canal, correspondente à torreta 1.

Passando à maquinação do segundo lado, a primeira operação consiste em fazer o desbaste correspondente à geometria exterior (figura 113). É utilizado também um ferro de exterior com pastilha de 80°. Na programação foi elaborado um ciclo de torneamento e as coordenadas da geometria (na parte da curva) foram adquiridas através do desenho da peça em *solidworks*. Foi mantida uma espessura de 0,4 mm diametrais como no primeiro lado. O acabamento foi realizado logo de seguida, usando um ferro de exterior de pastilha com 55°. A maquinação foi elaborada em código CNC ISO, mas tendo em conta o facto de que, na programação deste lado, ou seja com a *sub-spindle* a fixar a peça, a programação em **Z** é ao contrário. Portanto, realizar a operação em profundidade na peça, terá de ser para **Z** positivo ao contrário do que acontece no *spindle* principal.



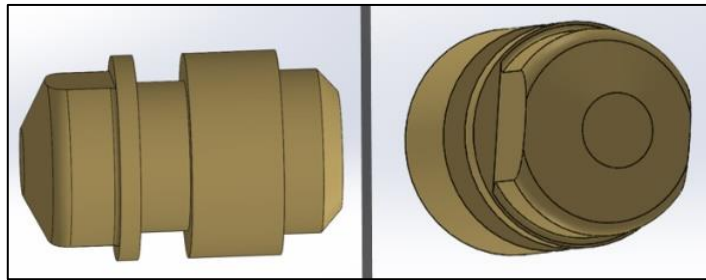
**Figura 113: Definição das operações de desbaste e acabamento do segundo lado**

Depois disto, foi efetuado a ranhura exterior observada na figura 114, recorrendo a dois ferros de ranhurar exteriores, um para desbaste e outro para acabamento. O desbaste é elaborado por incrementos e o acabamento por torneamento. A programação destas duas operações foi toda elaborada em código CNC ISO.



**Figura 114: Definição das operações de ranhurar**

A última operação de maquinação a fazer diz respeito à fresagem das duas saliências (figura 115), utilizando uma fresa de topo plano montada num suporte de ferramenta motorizada axial. Na programação, esta é a única operação a utilizar o eixo **Y**, permitindo uma maior amplitude de trabalho da ferramenta para obter a geometria pretendida.



**Figura 115: Definição das operações de fresagem**

Ainda dentro da programação é necessário programar no terceiro canal o braço robótico que irá apanhar a peça no *sub-spindle* e colocá-la no tapete descarregador. Para isto são utilizados uma variedade de códigos M e sincronizações de espera entre os três canais, para que não existam quaisquer colisões.

Os parâmetros de corte adequados para todas as ferramentas (ferramentas de torneamento, fresagem, furação, roscagem e mandrilagem) foram calculados, e inseridos no código CNC elaborado.

#### 5.3.4.3. Testagem do Programa e Afinamentos Finais

Antes da testagem do programa tem de se elaborar uma tarefa muito importante, que é definir o zero-peça. Uma vez que só temos peça do primeiro lado, ou seja, no *spindle* principal. O zero-peça no segundo lado terá de ser feita depois da primeira transferência.

Para definir o zero-peça do primeiro lado, deve ser deslocada uma ferramenta que irá trabalhar no mesmo lado, cujo **Z** seja o mais próximo da torreta possível para diminuir o erro. Desloca-se até à face da peça, e, com a mesma em movimento giratório, aproximar devagar a ferramenta até riscar a peça. Depois terá de se calcular **Z0** no menu de zero-peça, no plano G54. Este zero-peça é a distância da face do *spindle* principal até à face da peça.

Esta testagem tem de ser elaborada com o máximo de atenção possível pois qualquer distração ou qualquer erro, por mais pequeno que seja pode vir a causar uma colisão.

A testagem do programa dá-se também ela por fases.

A primeira fase é testar o primeiro canal, referente neste caso à maquinação do primeiro lado da peça. É importante testar as operações passo a passo e com a menor velocidade de avanços rápidos possível. O mais importante é conseguir ler o código mais rápido do que a máquina o executa e é para isso que servem os potenciômetros, para ajustar a velocidade de execução à velocidade de leitura do técnico de *setup*. Uma correta leitura do código mais rapidamente do que a máquina o executa pode prevenir uma potencial colisão, por isso é crucial que o técnico seja uma pessoa com capacidades suficientes para lidar com este tipo de situação.

É necessário parar no final de cada operação para verificar se a ferramenta em causa está a cumprir as cotas pretendidas. Se estiver tudo bem, pode avançar-se para a seguinte operação.

Se as cotas estiverem fora de tolerância, deve-se recorrer ao painel de geometria e fazer as afinações necessárias.

O terceiro canal, referente à programação do *sub-spindle*, é posteriormente testado. Este processo tem, nesta fase, unicamente em conta a transferência da peça do *spindle* principal para o *sub-spindle*.

Uma vez testado o primeiro canal e a transferência, é tempo de testar o segundo canal, neste caso correspondente somente à maquinação no *sub-spindle* com a torreta 2.

Em primeiro lugar tem de se efetuar o zero-peça no segundo lado. Aproximar, com a ferramenta mais próxima da torreta e que vá trabalhar neste lado, à peça que já se encontra no *sub-spindle*. O procedimento é exatamente igual ao anterior, com a diferença de no menu zero-peça ter de se seleccionar o plano G55. Este zero-peça é a distância da face da peça até à face do *spindle* principal e não do *sub-spindle*. Por exemplo, se o objetivo for maquinar a peça um pouco mais distante da face do *sub-spindle* (mais fora da pinça), terá de se diminuir o zero-peça para que a distância entre a face da peça e a face do *spindle* principal seja mais pequena.

Todo o procedimento feito para o primeiro canal é também ele repetido para a testagem do programa no segundo canal,

O terceiro canal é então novamente testado, onde é chamado o braço robótico para vir recolher a peça já acabada.

Uma vez que cada canal de programação se encontra testado e não existem quaisquer colisões nem problemas, é efetuada a testagem de todos os canais em simultâneo. Para os canais “comunicarem” entre si, no código têm de ser colocadas sincronizações ao longo do mesmo. Estes códigos são definidos por M900 até M999. Por exemplo, uma torreta só poderá fazer algo, se a outra torreta já tiver acabado de fazer outra coisa, ou o braço robótico só pode ir recolher a peça quando a torreta 2 já tiver acabado de maquinar e a torreta 1 acabar determinada operação. Isto faz-se não só para reduzir os tempos de maquinação, otimizando as sincronizações para ganhar o máximo tempo possível, mas também para diminuir o risco de colisões entre as torretas e/ou o braço robótico.

Com tudo a funcionar corretamente, pode ligar-se o botão de UNI MAG (botão de repetir a maquinação sem parar, com alimentação automática de material), controlar as peças que saem e fazer ajustes nos corretores necessários, caso as cotas variem.

Neste trabalho os tempos de *setup* não foram controlados devido ao facto de esta atividade ter ocorrido em contexto de formação. No entanto, foi possível perceber simplicidade e rapidez de processos, comparativamente com outros equipamentos existentes na empresa.

## 6. CONCLUSÃO

Após a realização deste relatório, conclui-se que os objetivos propostos foram alcançados, pois, o autor, para além de ter compreendido a funcionalidade dos diferentes setores produtivos da RRMP em que participou, adquiriu conhecimentos aprofundados na temática da maquinação CNC, mais concretamente no setor de torneamento.

Foi concluído também que, com a crescente inovação da tecnologia de fabrico de máquinas-ferramenta, que se apresentam cada vez mais precisas e com mais capacidades, existe também uma evolução positiva no modo de operar as mesmas, fazendo com que os tempos de *setup* sejam cada vez mais curtos e, assim aumentar a produtividade da empresa, melhorando igualmente a relação com os clientes.

Como proposta de trabalhos futuros, o autor propõe a continuação do trabalho desenvolvido no âmbito de simulação anticollisão de máquinas referido na página 57 deste relatório, a fim de elaborar a implementação de um sistema de simulação de máquinas na empresa RRMP.

O autor propõe ainda a criação de um sistema de otimização de parâmetros de corte de modo a simplificar processos e aumentar a rentabilidade da produção.

Por último, o autor propõe como trabalho futuro a implementação de um sistema concreto de manutenção dos equipamentos CNC, uma vez que são máquinas potentes que exigem o maior cuidado e manutenção de modo a não darem avarias, e, assim, aumentar ao máximo a sua vida útil de forma a serem o mais precisas e rentáveis possíveis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alloys, C. (2021). *CC332G*. Obtido em Julho de 2021 de [https://www.copperalloys.net/alloys/cc332g?gclid=Cj0KCQjwkIGKBhCxARIsAINMioKi1MF7Owmmo40Na7RtXLPNdi1CZjZC36dvqS6G\\_7y-0vHyyCLzESMaAh4mEALw\\_wcB](https://www.copperalloys.net/alloys/cc332g?gclid=Cj0KCQjwkIGKBhCxARIsAINMioKi1MF7Owmmo40Na7RtXLPNdi1CZjZC36dvqS6G_7y-0vHyyCLzESMaAh4mEALw_wcB)
- Batista, R. (2010). *Tendências do Corte por Arranque de Apara - Maquinagem*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Obtido em Abril de 2021 de <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/58387>
- BFM, macchine utensili. (2010). *Okuma Space turn LB 3000 EX*. Obtido em Julho de 2021 de [https://www.bfmmacchineutensili.it/en/macchine-utensili/OKUMA\\_SPACE\\_TURN-LB\\_3000\\_EX.html](https://www.bfmmacchineutensili.it/en/macchine-utensili/OKUMA_SPACE_TURN-LB_3000_EX.html)
- CISION, Prw. (2021). *Okuma's LB3000 EX-II High Powered CNC Lathe Accommodates Large Workpieces with New Bed Length*. Obtido em Abril de 2021 de <https://www.prweb.com/releases/2016/08/prweb13606349.htm>
- CMZ. (2021). *TTL SERIES*. Obtido em Agosto de 2021 de <https://www.cmz.com/en/cnc-lathe-bar-turning-ttl-series/>
- Completo, A., Festas, A., & Davim, J. P. (2009). *Tecnologias de fabrico*. Publindústria.
- Davim, J. P. (2008). *Princípios da Maquinagem*. 2ª edição. Porto: Publindústria.
- Djair, F. A. (2012). *Torneamento*. Obtida em Junho de 2021 de <http://djairfilipe1.blogspot.com/2012/>
- ENGINEERING, M. (2021). Obtido em Setembro de 2021 de <http://www.mannengineering.ie/2-new-machines-2015/>
- FANUC, E. C. (2019). *Robocut a-C600iB Mechanical specifications*. Obtido em Agosto de 2021 de <https://www.fanuc.eu/pt/pt/robocut-ib/modelos-robocut>
- Ferrari, A. V. F. (2003). *A evolução dos tornos automáticos: do came ao CNC*. São Paulo. Obtido em Junho de 2021 de [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1806743/mod\\_resource/content/1/AF%20Folder%20Evolution%20Ferrari%201.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1806743/mod_resource/content/1/AF%20Folder%20Evolution%20Ferrari%201.pdf)
- Focus Technology, C. Id. (2021). Obtido em Agosto de 2021 de <https://blinmachinery.en.made-in-china.com/productimage/DKwmPGYlhUhj-2f1j00pmRTifaKJPkS/China-4-6-8-12-Station-Electric-Servo-Hydraulic-Tool-Turret-for-CNC-Lathe.html>

GmbH, E. (2018). *SPANNAX Collet chucks*. Obtido em Agosto de 2021 de [https://www.expo21xx.com/metalworking/21731\\_st3\\_workpiece\\_holder/default.htm](https://www.expo21xx.com/metalworking/21731_st3_workpiece_holder/default.htm)

Google Maps. (2021). *RRMP, Tocha*. Obtido em Julho de 2021 <https://www.google.com/maps/place/RRMP+METALOMECANICA+DE+ALTA+PRECISÃO/@40.3190565,-8.7943885,175m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0xd23b520470b5aad:0xa21b45e69ee1f8b8!8m2!3d40.3190634!4d-8.7940588>

HURCO. (2021). *CNC Lathes - Overview*. Obtido em Agosto de 2021 de <https://www.hurco.com/en-us/products/lathes/Pages/MY-MYS-mill-turn.aspx>

Industry, D. (2021). *Torno CNC CNL-1740*. Obtido em Agosto de 2021 de <https://www.directindustry.com/pt/prod/kent-industrial/product-18544-904721.html>

KIPP, H. K. W. G. & C. K. (2021). *1.1141 Aço cementado*. Obtido em Julho de 2021 de <https://www.kipp.pt/pt/pt/Serviços/Visão-geral-dos-materiais/Stahl/pid.1097.1108.1244.9839.9873/1-1141-Einsatzstahl.html>

LojadoMecanico. (2021). *Transferidor de Ângulos Universal 300mm em Aço Inoxidável-170071*. Obtido em Agosto de 2021 de <https://www.lojadomecanico.com.br/produto/110337/3/204/transferidor-de-angulos-universal-300mm-em-aco-inoxidavel-digimess-170071>

Lopes, S. P. F. (2017). *Desenvolvimento do dossier técnico e aplicação para gestão de maquinaria com tecnologia CNC*. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro. Obtido em Maio de 2021 de <https://ria.ua.pt/handle/10773/23420>

Machinery, M. (2021). *MT Series*. Obtido em Julho de 2021 de <https://www.muratec.net/mt/products/mt.html>

Makino. (2021). *Horizontal 4-Axis*. Obtido em Julho de 2021 de <https://www.makino.com/en-us/machine-technology/machines/horizontal-4-axis>

Maquinser. (2016a). *Matsuura H.Plus 400*. Obtido em Julho de 2021 de <https://www.maquinser.com/pt-pt/produto/matsuura-h-plus-400/>

Maquinser. (2016b). *Matsuura VX-1000*. Obtido em Julho de 2021 de <https://www.maquinser.com/pt-pt/produto/matsuura-vx-1000/>

Mendes, H. D. O. (2019). *Otimização de parâmetros de corte no processo de torneamento CNC*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Industrial, Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança. Obtido em Maio de 2021 de <https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/19831>

MKE, M. inc. (2019). *2013 Okuma Genos L250E CNC Lathe*. Obtido em Julho de 2021 de <https://mkemachine.com/tag/genos/>

Moreira, P. M. A. (2012). *Organização e Controlo da Produção numa Empresa de Manufatura Metalomecânica*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Minho. Obtido em Maio de 2021 de <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/22939>

My Cam Post, T. P. P. M. (2021). *Makini PS105 VMC*. Obtido em Julho de 2021 de <https://mycampost.com/product/makino-ps105-vmc/>

Neves, S. (2017). *Torno Mecânico*. Obtido em Agosto de 2021 de <https://www.cemeq.ufg.br/n/97461-curiosidades-da-area-de-mecanica>

Neves, C. G. P. (2017). *Processos de Maquinagem CAD/CAM em produção de pequenas séries - Casos de Estudo*. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro. Obtido em Abril de 2021 de <https://ria.ua.pt/handle/10773/23354>

Portugal, B. M. J. (2019). *Implementação de um ERP aplicando a metodologia Lean Thinking na RRMP – Metalomecânica de Precisão*. Tese de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Obtido em Janeiro de 2021 de <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/29604>

Rabe, R. G. (2001). *Desenvolvimento de um Sistema de Fixação e Ajustagem de Ferramenta para Usinagem de Ultraprecisão*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina. Obtido em Abril de 2021 de <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/80240>

Reis, P. J. C. de M. (2014). *Estudo Comparativo do Comportamento de Diferentes Ferramentas na Fresagem de Aços Duplex*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia do Porto. Obtido em Agosto de 2021 de <https://recipp.ipp.pt/handle/10400.22/6315>

Relvas, C. (2018). *Controlo Numérico Computorizado: Conceitos Fundamentais*. 4ª edição. Engebook.

RML. (2020). *Tipos de tornos industriais a suas aplicações*. Obtido em Agosto de 2021 de <https://www.rmlmaquinas.com.br/loja/noticia.php?loja=762235&id=83>

Rocha, J. (2016a). *Programação de CNC para Torno e Fresadora*. 1ª edição. Lisboa: FCA- editora de informática.

Rocha, J. (2016b). *Programação de CNC para Torno e Fresadora*.

RRMP. (2020). *Retificação*. Obtido em Maio de 2021 de <https://rrmp.eu/retificacao/>

SANDVIK, C. (2021). *Ferramentas para Usinagem*. Obtido em Setembro de 2021 de <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/pages/default.aspx?country=pt&language=2070>

Santos, J. F. O. (1998). *Tecnologias de Produção*.

Simões, F. A. G. (2021). *Aula de Processos de Maquinagem do 2º ano de Licenciatura em Engenharia Mecânica- Instituto Superior de Engenharia de Coimbra*.

Tatung-okuma co., L. (2014). Obtido em Julho de 2021 em *No Title*. [https://tatung-okuma.com.tw/en/GENOS\\_L250E-e.html](https://tatung-okuma.com.tw/en/GENOS_L250E-e.html)

TORNOS. (2017). *SWISS ST 26*. Obtido em Julho de 2021 de [https://www.tornos.com/sites/tornos.com/files/data/Brochure/Swiss\\_ST/tornos\\_brochure\\_swiss\\_st26\\_eng\\_bd.pdf](https://www.tornos.com/sites/tornos.com/files/data/Brochure/Swiss_ST/tornos_brochure_swiss_st26_eng_bd.pdf)

WAMATEC, H. K. (2021). *Tsugami M06J-II/M08J-II - CNC Eszterga*. Obtido em Julho de 2021 de <https://wamatec.hu/termek/tsugami-m06j-ii-m08j-ii-cnc-eszterga/>

WG Indústria e Comércio. (2016). *Saiba mais sobre o Torno Mecânico*. Obtido em Agosto de 2021 de <https://wg-industria.webnode.com/informacoes-e-novidades-uteis-para-nossa-area/>

WGM-Maschinen. (2021). *Bison 3-jaw Self-Center. Chuck with Fine Adjustment 3265-160*. Obtido em Agosto de 2021 de <https://www.wgm-maschinen.de/bison-bial/bison-lathe-chucks/bison-self-centering-chucks-with-fine-adjustment/3-jaw-self-centering-chucks-with-fine-adjustment/bison-3-jaw-self-center-chuck-with-fine-adjustment-3265-160-10422.html>

## **ANEXOS**

### **Índice de Anexos**

1. Quadrantes de Maquinação .....	99
2. Tabelas Para Ajustes de Eixos e Furos .....	100
3. Desenhos 3D em Solidworks .....	102
3.1 Desenho da Máquina Okuma Genos L250E.....	104
3.2 Desenho dos Suportes de Ferramenta.....	107
3.3 Desenho dos Centros de Fresagem .....	109
4. Tabelas de Propriedades dos Materiais Utilizados.....	111
5. Folhas de Processo da Produção Elaborada na Muratec .....	112
6. Excertos de Programação Fanuc .....	115

## 1. Quadrantes de Maquinação

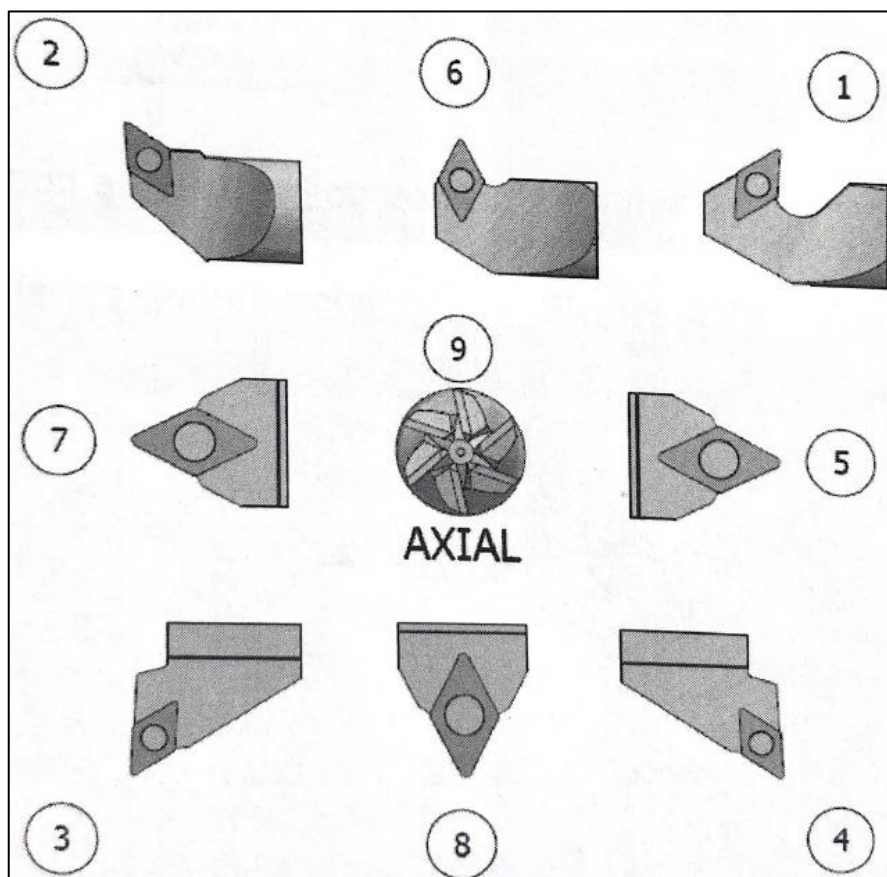
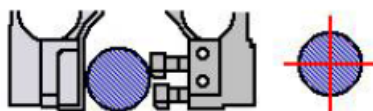


Figura 116: Representação dos quadrantes de maquinação, (Rocha, 2016)

## 2. Tabelas Para Ajustes de Eixos e Furos

Tabela e tolerância de acordo com as normas de ABNT

Tabela 18: Tolerâncias para ajuste de veios e furos



Tolerância ISO (ABNT) PARA AJUSTE DE EIXO

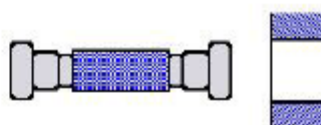
Ø mm	D8	D9	D10	E6	E7	E8	E9	F6	F7	F8	G6
1-3	-0,020	-0,020	-0,020	-0,014	-0,014	-0,014	-0,014	-0,006	-0,006	-0,005	-0,002
	-0,034	-0,045	-0,060	-0,020	-0,024	-0,028	-0,039	-0,012	-0,016	-0,020	-0,008
3-6	-0,030	-0,030	-0,030	-0,020	-0,020	-0,020	-0,020	-0,010	-0,010	-0,010	-0,004
	-0,048	-0,060	-0,078	-0,028	-0,032	-0,038	-0,050	-0,018	-0,022	-0,028	-0,012
6-10	-0,040	-0,040	-0,040	-0,025	-0,025	-0,025	-0,025	-0,013	-0,013	-0,013	-0,005
	-0,062	-0,076	-0,098	-0,034	-0,040	-0,047	-0,061	-0,022	-0,028	-0,035	-0,014
10-18	-0,050	-0,050	-0,050	-0,032	-0,032	-0,032	-0,032	-0,016	-0,016	-0,016	-0,006
	-0,077	-0,093	-0,120	-0,043	-0,050	-0,059	-0,075	-0,027	-0,034	-0,043	-0,017
18-30	-0,065	-0,065	-0,065	-0,040	-0,040	-0,040	-0,040	-0,020	-0,020	-0,020	-0,007
	-0,098	-0,117	-0,149	-0,053	-0,061	-0,073	-0,092	-0,033	-0,041	-0,053	-0,020
30-50	-0,080	-0,080	-0,080	-0,050	-0,050	-0,050	-0,050	-0,025	-0,025	-0,025	-0,009
	-0,119	-0,142	-0,180	-0,068	-0,075	-0,089	-0,112	-0,041	-0,050	-0,064	-0,025
50-80	-0,100	-0,100	-0,100	-0,060	-0,060	-0,060	-0,060	-0,030	-0,030	-0,030	-0,010
	-0,146	-0,174	-0,220	-0,079	-0,090	-0,106	-0,134	-0,049	-0,060	-0,076	-0,029
80-120	-0,120	-0,120	-0,120	-0,072	-0,072	-0,072	-0,072	-0,036	-0,036	-0,036	-0,012
	-0,174	-0,207	-0,260	-0,094	-0,107	-0,126	-0,159	-0,058	-0,071	-0,090	-0,034
120-180	-0,145	-0,145	-0,145	-0,085	-0,085	-0,085	-0,085	-0,043	-0,043	-0,043	-0,014
	-0,208	-0,245	-0,305	-0,110	-0,125	-0,148	-0,185	-0,068	-0,083	-0,106	-0,039
180-250	-0,170	-0,170	-0,170	-0,100	-0,100	-0,100	-0,100	-0,050	-0,050	-0,050	-0,015
	-0,242	-0,285	-0,355	-0,129	-0,172	-0,172	-0,215	-0,079	-0,096	-0,122	-0,044

**Tabela 19: Tolerâncias para ajustes de eixos e furos (continuação)**

∅ mm	H5	H6	H7	H8	H9	H10	J5	J6	J7	J8
1-3	0 -0,004	0 -0,006	0 -0,010	0 -0,014	0 -0,025	0 -0,040	+0,002 -0,002	+0,004 -0,002	+0,006 -0,004	+0,007 -0,007
3-6	0 -0,005	0 -0,008	0 -0,012	0 -0,018	0 -0,030	0 -0,048	+0,003 -0,002	+0,003 -0,002	+0,008 -0,004	+0,009 -0,009
6-10	0 -0,006	0 -0,009	0 -0,015	0 -0,022	0 -0,036	0 -0,058	+0,004 -0,002	+0,004 -0,002	+0,010 -0,05	+0,011 -0,011
10-18	0 -0,008	0 -0,011	0 -0,018	0 -0,027	0 -0,043	0 -0,070	+0,005 -0,003	+0,008 -0,003	+0,012 -0,006	+0,014 -0,013
18-30	0 -0,009	0 -0,013	0 -0,021	0 -0,033	0 -0,052	0 -0,084	+0,005 -0,004	+0,009 -0,004	+0,013 -0,008	+0,017 -0,016
30-50	0 -0,011	0 -0,016	0 -0,025	0 -0,039	0 -0,062	0 -0,100	+0,006 -0,006	+0,011 -0,006	+0,015 -0,010	+0,020 -0,019
50-80	0 -0,013	0 -0,019	0 -0,030	0 -0,045	0 -0,074	0 -0,120	+0,006 -0,007	+0,012 -0,007	+0,018 -0,012	+0,023 -0,023
80-120	0 -0,015	0 -0,022	0 -0,035	0 -0,054	0 -0,087	0 -0,140	+0,006 -0,009	+0,013 -0,009	+0,020 -0,015	+0,027 -0,027
120-180	0 -0,018	0 -0,025	0 0,040	0 -0,063	0 -0,100	0 -0,160	+0,007 -0,011	+0,014 -0,011	+0,022 -0,018	+0,032 -0,031
180-250	0 -0,020	0 -0,029	0 -0,030	0 -0,072	0 -0,115	0 -0,185	+0,007 -0,013	+0,016 -0,013	+0,025 -0,021	+0,036 -0,036

∅ mm	K5	K6	M6	M7	N6	N7	P6	P7	R6	S6	S7
1-3	+0,004 0	+0,006 0			+0,010 +0,004		+0,012 +0,008	+0,016 +0,006	+0,016 +0,010	+0,020 +0,014	+0,024 +0,014
3-6	+0,006 +0,001	+0,009 +0,001	+0,012 +0,004	+0,016 +0,004	+0,016 +0,008	+0,020 +0,008	+0,020 +0,012	+0,024 +0,012	+0,023 +0,015	+0,027 +0,019	+0,031 +0,019
6-10	+0,007 +0,001	+0,010 +0,001	+0,015 +0,006	+0,021 +0,006	+0,019 +0,010	+0,025 +0,010	+0,024 +0,015	+0,030 +0,015	+0,028 +0,019	+0,032 +0,023	+0,038 +0,023
10-18	+0,009 +0,001	+0,012 +0,001	+0,018 +0,007	+0,025 +0,007	+0,023 +0,012	+0,030 +0,012	+0,029 +0,018	+0,036 +0,016	+0,034 +0,023	+0,039 +0,026	+0,046 +0,028
18-30	+0,011 +0,002	+0,015 +0,002	+0,021 +0,008	+0,029 +0,008	+0,028 +0,015	+0,036 +0,015	+0,035 +0,022	+0,043 +0,022	+0,041 +0,028	+0,048 +0,035	+0,056 +0,035
30-50	+0,013 +0,002	+0,018 +0,002	+0,025 +0,009	+0,034 +0,009	+0,033 +0,017	+0,042 +0,017	+0,042 +0,026	+0,051 +0,026	+0,050 +0,034	+0,059 +0,043	+0,068 +0,043
50-80	+0,015 +0,002	+0,021 +0,002	+0,030 +0,011	+0,041 +0,011	+0,039 +0,020	+0,050 +0,020	+0,051 +0,032	+0,062 +0,032	+0,062 +0,041	+0,078 +0,053	+0,089 +0,053
80-120	+0,018 +0,003	+0,025 +0,003	+0,035 +0,013	+0,048 +0,013	+0,045 +0,023	+0,058 +0,023	+0,059 +0,037	+0,072 +0,037	+0,076 +0,051	+0,101 +0,071	+0,114 +0,071
120-180	+0,021 +0,003	+0,028 +0,003	+0,040 +0,015	+0,055 +0,015	+0,052 +0,027	+0,067 +0,027	+0,068 +0,043	+0,083 +0,043	+0,93 +0,063	+0,133 +0,092	+0,146 +0,092
180-250	+0,024 +0,004	+0,033 +0,004	+0,046 +0,017	+0,063 +0,017	+0,060 +0,031	+0,077 +0,031	+0,079 +0,050	+0,096 +0,050	+0,113 +0,077	+0,169 +0,122	+0,186 +0,122

Tabela 20: Tolerâncias para ajustes de eixos e furos (continuação 2)



Tolerância ISO (ABNT) Ajustes para Furos – Medidas Normais

Ø mm	D8	D9	D10	D11	E7	E8	E9	F7	F8	F9	G6	G7
1-3	+0,020 +0,034	+0,020 +0,045	+0,020 +0,050		+0,014 +0,024	+0,014 +0,026	+0,014 +0,039	+0,006 +0,016	+0,006 +0,020	+0,006 +0,031	+0,002 +0,006	+0,002 +0,012
3-6	+0,030 +0,048	+0,030 +0,060	+0,030 +0,078	+0,030 +0,105	+0,020 +0,032	+0,020 +0,036	+0,020 +0,050	+0,010 +0,022	+0,010 +0,028	+0,010 +0,040	+0,004 +0,012	+0,004 +0,018
6-10	+0,040 +0,062	+0,040 +0,076	+0,040 +0,098	+0,040 +0,130	+0,025 +0,040	+0,025 +0,047	+0,025 +0,061	+0,013 +0,028	+0,013 +0,035	+0,013 +0,049	+0,005 +0,014	+0,005 +0,020
10-18	+0,050 +0,077	+0,050 +0,093	+0,050 +0,120	+0,050 +0,160	+0,032 +0,050	+0,032 +0,059	+0,032 +0,075	+0,016 +0,034	+0,016 +0,043	+0,016 +0,059	+0,006 +0,017	+0,006 +0,024
18-30	+0,065 +0,098	+0,065 +0,117	+0,065 +0,149	+0,065 +0,195	+0,040 +0,061	+0,040 +0,073	+0,040 +0,092	+0,020 +0,041	+0,020 +0,053	+0,020 +0,072	+0,007 +0,020	+0,007 +0,028
30-50	+0,080 +0,119	+0,080 +0,142	+0,080 +0,180	+0,080 +0,240	+0,050 +0,075	+0,050 +0,089	+0,050 +0,112	+0,025 +0,050	+0,025 +0,064	+0,025 +0,087	+0,009 +0,025	+0,009 +0,034
50-80	+0,100 +0,148	+0,100 +0,174	+0,100 +0,220	+0,100 +0,220	+0,060 +0,090	+0,060 +0,106	+0,060 +0,134	+0,030 +0,060	+0,030 +0,078	+0,030 +0,104	+0,010 +0,029	+0,010 +0,040
80-120	+0,120 +0,174	+0,120 +0,207	+0,120 +0,260	+0,120 +0,340	+0,072 +0,107	+0,072 +0,126	+0,072 +0,159	+0,036 +0,071	+0,036 +0,090	+0,036 +0,123	+0,012 +0,034	+0,012 +0,047
120-180	+0,145 +0,208	+0,145 +0,245	+0,145 +0,305	+0,145 +0,395	+0,085 +0,125	+0,085 +0,148	+0,085 +0,185	+0,043 +0,083	+0,043 +0,106	+0,043 +0,143	+0,014 +0,039	+0,014 +0,054
180-250	+0,170 +0,242	+0,170 +0,285	+0,170 +0,355	+0,170 +0,460	+0,100 +0,172	+0,100 +0,172	+0,100 +0,215	+0,050 +0,095	+0,050 +0,122	+0,050 +0,155	+0,015 +0,044	+0,015 +0,061

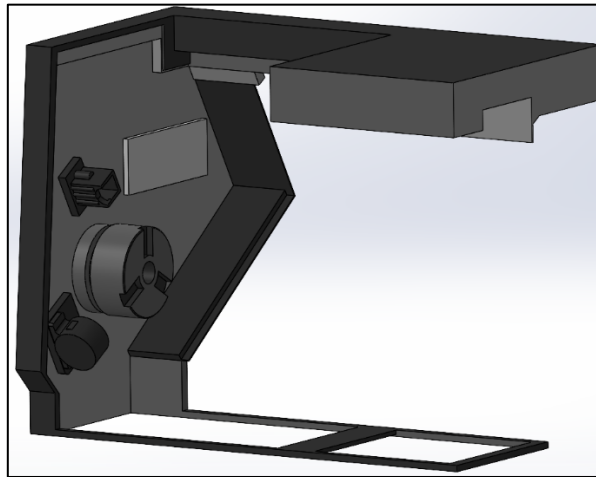
Ø mm	H6	H7	H8	H9	H10	J6	J7	J8	J9	K6	K7
1-3	0 +0,006	0 +0,010	0 +0,014	0 +0,025	0 +0,040	-0,004 +0,002	-0,006 +0,004	-0,008 +0,006	-0,013 +0,012	-0,006 0	-0,010 0
3-6	0 +0,006	0 +0,012	0 +0,016	0 +0,030	0 +0,046	-0,003 +0,005	-0,006 +0,008	-0,008 +0,010	-0,015 +0,015	-0,006 +0,002	-0,009 +0,003
6-10	0 +0,009	0 +0,015	0 +0,022	0 +0,038	0 +0,056	-0,004 +0,002	-0,007 +0,008	-0,010 +0,012	-0,018 +0,018	-0,007 +0,002	-0,010 +0,005
10-18	0 +0,011	0 +0,018	0 +0,027	0 +0,043	0 +0,070	-0,005 +0,006	-0,008 +0,010	-0,012 +0,016	-0,022 +0,021	-0,009 +0,002	-0,012 +0,006
18-30	0 +0,013	0 +0,021	0 +0,033	0 +0,052	0 +0,084	-0,005 +0,006	-0,009 +0,012	-0,013 +0,020	-0,026 +0,028	-0,011 +0,002	-0,015 +0,008
30-50	0 +0,016	0 +0,025	0 +0,039	0 +0,062	0 +0,100	-0,005 +0,010	-0,011 +0,014	-0,015 +0,024	-0,031 +0,031	-0,013 +0,003	-0,018 +0,007
50-80	0 +0,019	0 +0,030	0 +0,045	0 +0,074	0 +0,120	-0,006 +0,013	-0,012 +0,018	-0,018 +0,028	-0,037 +0,037	-0,015 +0,004	-0,021 +0,009
80-120	0 +0,022	0 +0,035	0 +0,054	0 +0,087	0 +0,140	-0,006 +0,016	-0,013 +0,022	-0,020 +0,034	-0,044 +0,043	-0,018 +0,004	-0,025 +0,010
120-180	0 +0,025	0 +0,040	0 +0,063	0 +0,100	0 +0,160	-0,007 +0,018	-0,014 +0,028	-0,022 +0,041	-0,050 +0,050	-0,021 +0,004	-0,028 +0,012
180-250	0 +0,029	0 +0,048	0 +0,072	0 +0,115	0 +0,185	-0,007 +0,022	-0,016 +0,030	-0,025 +0,047	-0,058 +0,057	-0,024 +0,005	-0,033 +0,013

**Tabela 21: Tolerâncias para ajustes de eixos e furos (continuação 3)**

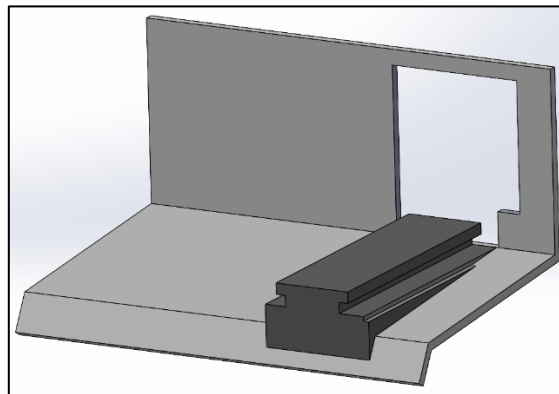
Ø mm	M6	M7	N6	N7	N8	P7	P9	R7	S7
<b>1-3</b>			-0,010 -0,004			-0,016 -0,008		-0,020 -0,010	-0,024 -0,014
<b>3-6</b>	-0,009 -0,001	-0,012 0	-0,013 -0,005	-0,016 -0,004	-0,020 -0,002	-0,020 -0,008	-0,042 -0,012	-0,023 -0,011	-0,027 -0,015
<b>6-10</b>	-0,012 -0,003	-0,015 0	-0,016 -0,007	-0,019 -0,004	-0,025 -0,003	-0,024 -0,009	-0,051 -0,015	-0,028 -0,013	-0,032 -0,017
<b>10-18</b>	-0,015 -0,004	-0,018 0	-0,020 -0,009	-0,023 -0,005	-0,030 -0,003	-0,029 -0,011	-0,081 -0,018	-0,034 -0,016	-0,039 -0,021
<b>18-30</b>	-0,017 -0,004	-0,021 0	-0,024 -0,011	-0,028 -0,007	-0,036 -0,003	-0,035 -0,014	-0,074 -0,022	-0,041 -0,020	-0,048 -0,027
<b>30-50</b>	-0,020 -0,004	+0,025 0	-0,026 -0,012	-0,033 -0,008	-0,042 -0,003	-0,042 -0,017	-0,086 -0,026	-0,050 -0,025	-0,059 -0,034
<b>50-80</b>	-0,024 -0,005	+0,030 0	-0,032 -0,014	-0,039 -0,009	-0,050 -0,004	-0,051 -0,021	-0,106 -0,032	-0,082 -0,030	-0,078 -0,042
<b>80-120</b>	-0,028 -0,008	-0,035 0	-0,038 -0,016	-0,045 -0,010	-0,058 -0,004	-0,059 -0,024	-0,124 -0,037	-0,076 -0,038	-0,101 -0,058
<b>120-180</b>	-0,033 -0,008	-0,040 0	-0,045 -0,020	-0,052 -0,012	-0,067 -0,004	-0,068 -0,028	-0,143 -0,043	-0,093 -0,048	-0,133 -0,077
<b>180-250</b>	-0,037 -0,008	-0,046 0	-0,051 -0,022	-0,060 -0,014	-0,077 -0,005	-0,079 -0,033	-0,165 -0,050	-0,113 -0,060	-0,159 -0,105

### 3. Desenhos 3D em Solidworks

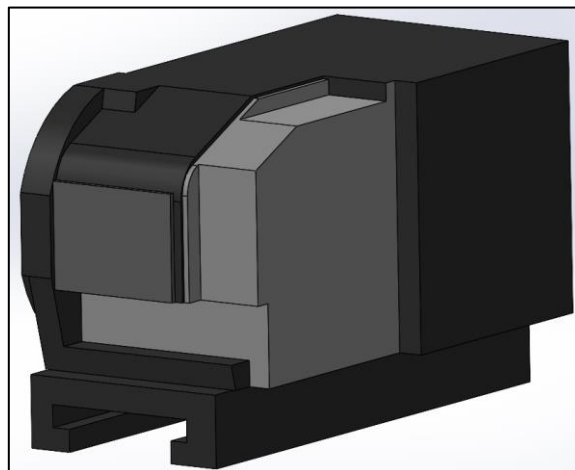
#### 3.1 Desenho da Máquina Okuma Genos L250E



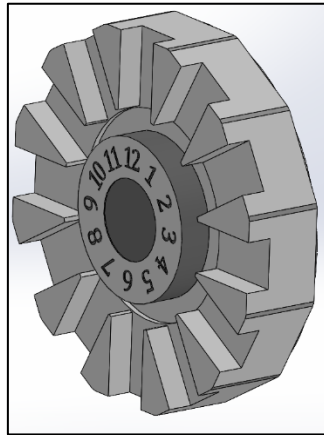
**Figura 117:** Árvore, bucha e estrutura da máquina



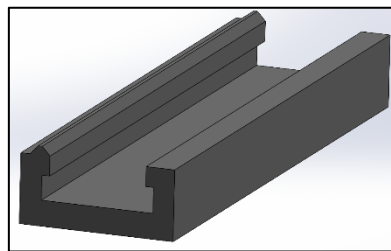
**Figura 118:** Carnagem móvel da máquina



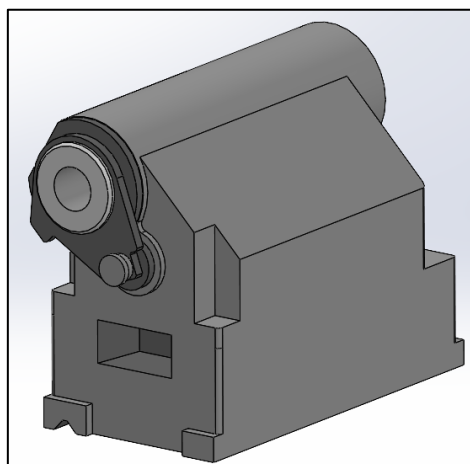
**Figura 119:** Suporte da torreta



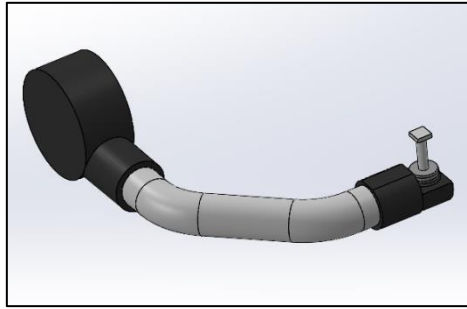
**Figura 120: Torreta**



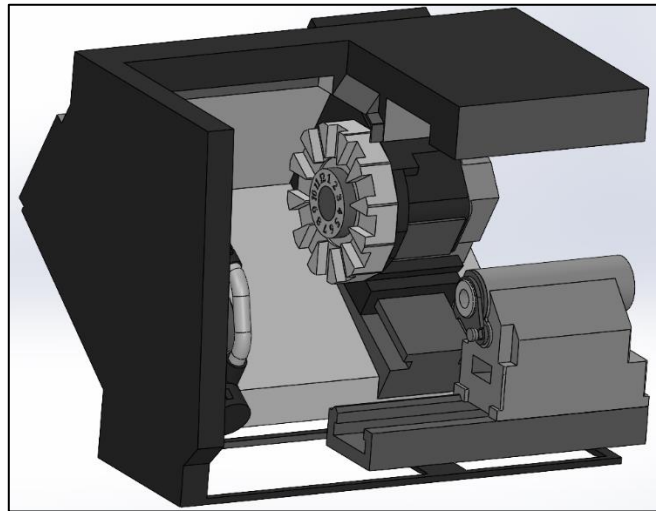
**Figura 121: Calha de apoio do contra-ponto**



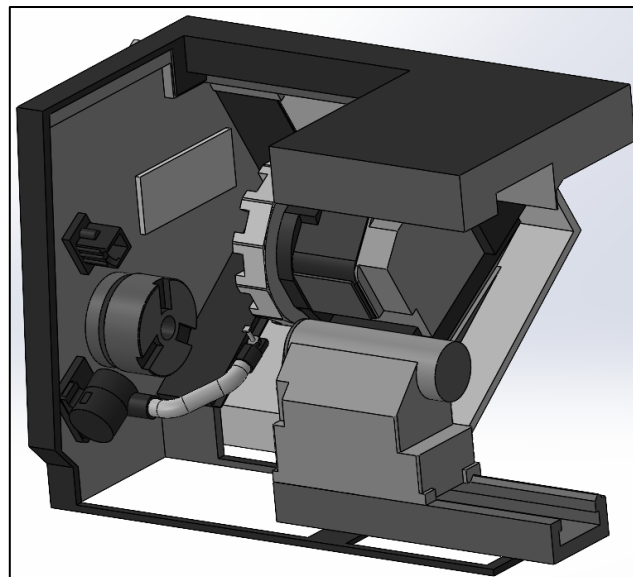
**Figura 122: Contra-ponto**



**Figura 123: Sensor de medição de ferramenta**

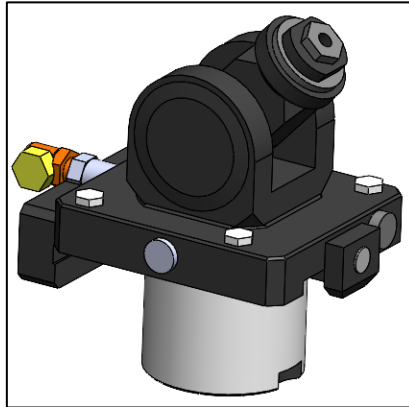


**Figura 124: Okuma Genos L250E (1)**

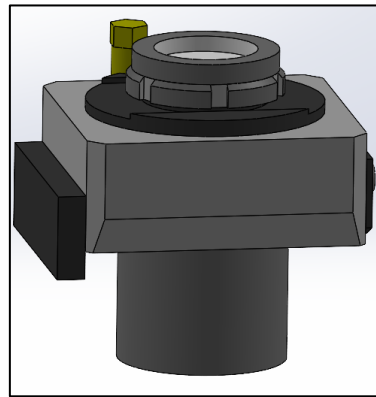


**Figura 125: Okuma Genos L250E (2)**

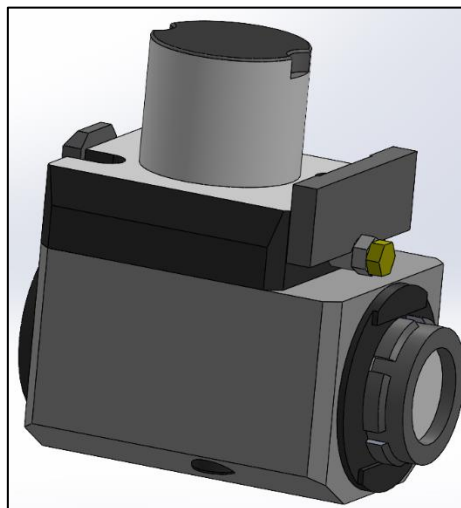
### 3.2 Desenho dos Suportes de Ferramenta



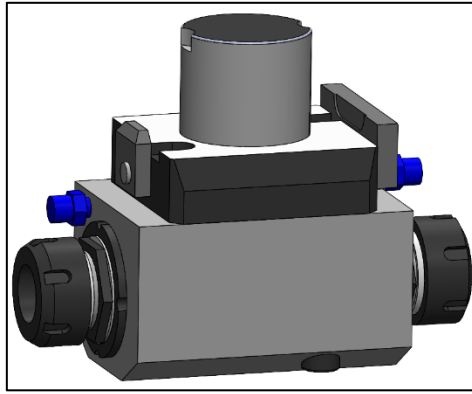
**Figura 126: Suporte 1 - Motorizada angular**



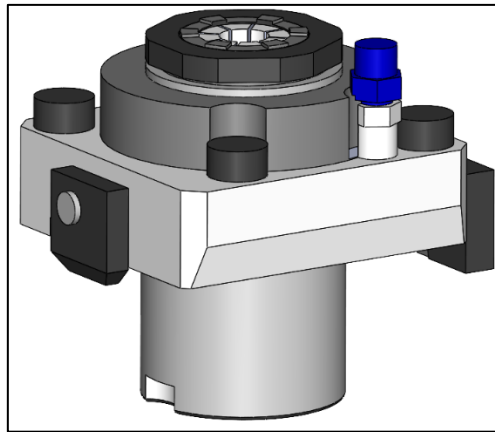
**Figura 127: Suporte 2 - Motorizada radial**



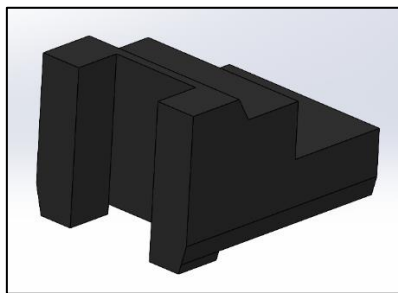
**Figura 128: Suporte 3 - Motorizada axial unilateral**



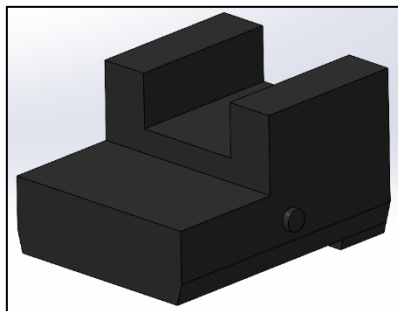
**Figura 129: Suporte 4 - Motorizada axial bilateral**



**Figura 130: Suporte 5 - Motorizada radial**



**Figura 131: Suporte 6 - Suporte de torneamento exterior**



**Figura 132: Suporte 7 - Suporte de torneamento exterior**

### 3.3 Desenho dos Centros de Fresagem

#### Desenho 3D da Máquina Makino PS105

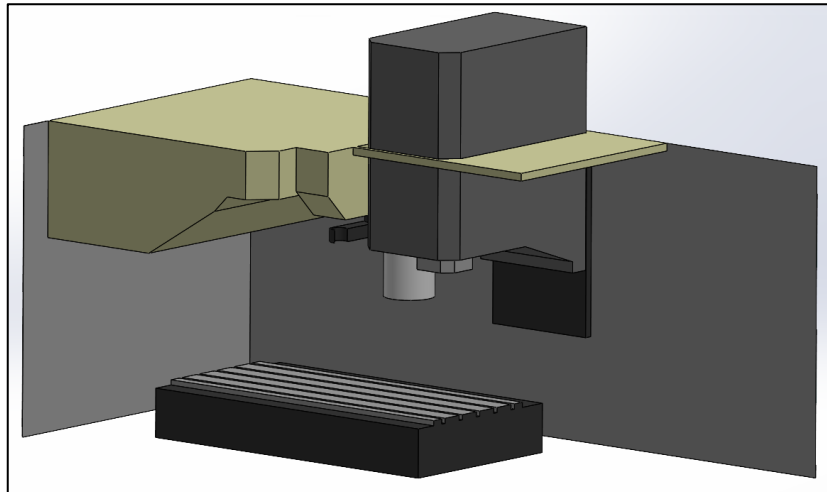


Figura 133: Makino PS105

#### Desenho 3D da Máquina Matsuura VX-1000

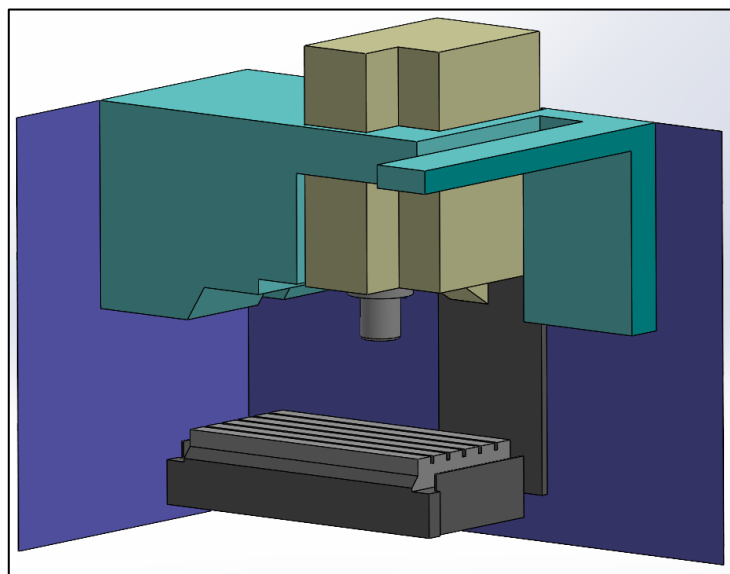


Figura 134: Matsuura VX-1000

Desenho 3D da Máquina Matsuura H-Plus 400

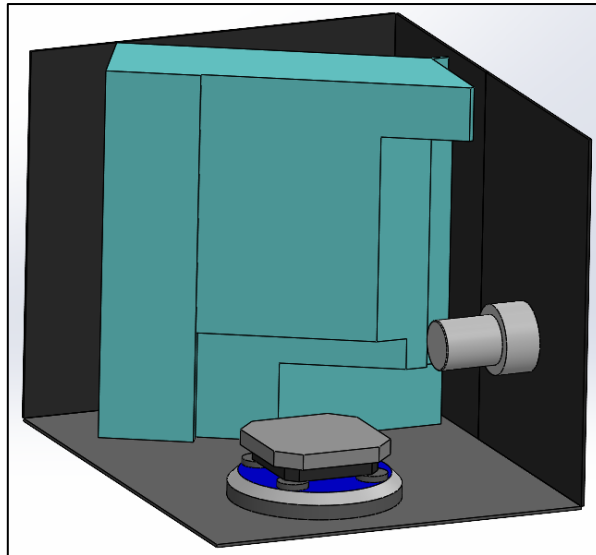


Figura 135: Matsuura H-Plus 400

Desenho 3D da Máquina Makino a51nx

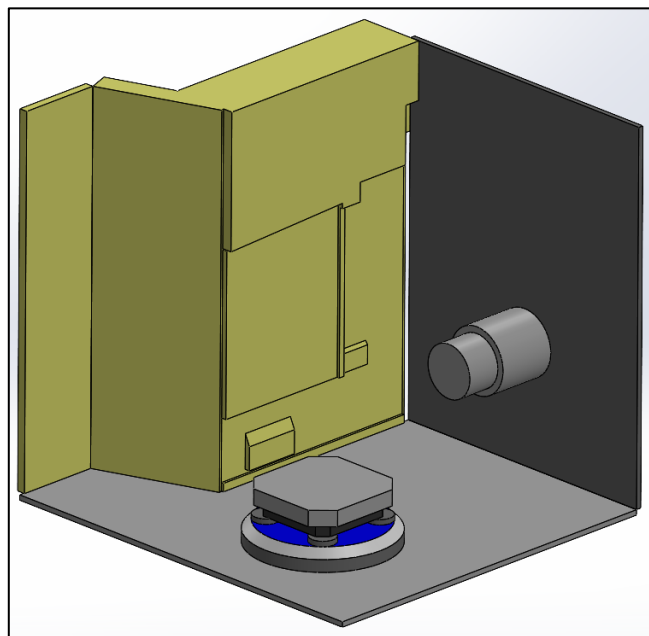


Figura 136: Makino a51nx

#### 4. Tabelas de Propriedades dos Materiais Utilizados

Tabela 22: Propriedades físicas e mecânicas do aço cementado 1.1141 (KIPP, 2021)

<b>Nº de material</b>	1.1141
<b>Padrão EU (AISI)</b>	1017. 1015
<b>Siglas</b>	C45E
<b>Descrição</b>	Aço cementado
<b>Composição</b> <b>Componentes de liga [%]</b>	C: 0,12 – 0,18 Si: ≤ 0,40 Mn: 0,30 – 0,60 P: ≤ 0,035 S: ≤ 0,035
<b>Densidade [<math>g/cm^3</math>]</b>	7,85
<b>Resistência à tração [<math>N/mm^2</math>]</b>	$\geq 600$
<b>Alongamento na rotura [%]</b>	$\geq 12$
<b>Maquinabilidade</b>	Boa

Tabela 23: Propriedades físicas e mecânicas do alubronze (Alloys, 2021)

<b>Descrição</b>	Bronze Alumínio
<b>Composição nominal</b>	CuAl10Fe3
<b>Densidade [<math>g/cm^3</math>]</b>	7,6
<b>Resistência à tração [<math>N/mm^2</math>]</b>	560
<b>Tensão de cedência [<math>N/mm^2</math>]</b>	200
<b>Alongamento na rotura [%]</b>	25
<b>Dureza Brinell</b>	130

## 5. Folhas de Processo da Produção Elaborada na Muratec


 <b>RMP</b> METALMECÂNICA DE ALTA PRECISÃO <small>A Qualidade é a nossa Prioridade.</small>		PROCESSO Nº 2020/025 UPPER	REV_00					
Matéria:	1.1141 - Ø220 - [ 46 + 0,5 ]mm							
Máquina:	Muratec MT200 GT3							
Programa:	O4100							
Cliente:								
Referência:	4220F112101P2L							
Responsável:								
Elementos de Fixação:	Grampos torneados Ø220 - MT200-006							
Work Shift:	X	Z	C	Y				
	0	104,882	0	0				
Observações:								
FERRAMENTA PERMANENTE		EM UTILIZAÇÃO						
Ferramentas								
T	Suporte	Designação	Pastilha	X	Z	R	T	Y
1	SS	FERRO EXT - TUNGALOY - ADJNR2020K1506-A	TUNGALOY - DNMG150604-TSF T9215	-352,002	108,639	0,4	3	0
2	SS	FERRO EXT - TUNGALOY - ACLNR2020K12-A	TUNGALOY - CNMG120408-TM T9215	-354,430	108,615	0,8	3	0
3								
4	SØ40	FERRO Ø40 - TUNGALOY - A40T-ACLNR12-D500	TUNGALOY - CNMG120408-TM T9215	-464,5	179,65	0,8	2	0
5	SF							
6	SØ40	FERRO Ø40 - TUNGALOY - A40T-PDJNR1506-D500	TUNGALOY - DNMG150604-TSF T9215	-464,355	181,196	0,4	2	0
7								
8	MA HSK			-399,86		0	0	0,11
9	MA HSK	ESCAREADOR Ø6 - INOVATOOLS - 790.060.00		-399,92	193,915	3	0	0,12
10	MA	BROCA Ø7,5 - DHF - DAO075		-399,96	154,363	0	0	0,09
11	MA	BROCA Ø3,7 - DHF - DAO037		-399,87	151,818	0	0	0,02
12	MA	BROCA Ø6 - DHF - DAO060		-399,96	142,040	0	0	0,1
13	MA	BROCA Ø4,7 - DHF - DBO047		-399,95	149,926	0	0	0,05
14	MA	BROCA Ø5,1 - DHF - DCO051		-399,92	171,282	0	0	-0,03
15		SONDA						
Lista de Operações								
OP. N.º	DESIGNAÇÃO	Vc	S	F	TEMPO			
1	Desbaste exterior	380						
2	Desbaste interior	380						
3	Acabamento exterior	400						
4	Acabamento interior	400						
5	Furação axial motorizada D5.1		3080					
6	Furação axial motorizada D7.5		4400					
7	Furação axial motorizada D6		4400					
8	Furação axial motorizada D4.7		4400					
9	Furação axial motorizada D3.7		4400					
10	Escarear furos		2500					
11								
12								
13								
					Tempo Total:			

Figura 137: Folha de processo torreta *Upper*

 <b>METALMECÂNICA DE ALTA PRECISÃO</b> <small>A Qualidade é a nossa Prioridade.</small>	PROCESSO Nº 2020/025	REV_00
	LOWER	

Máquina:	Muratec MT200 GT3	
Programa:	O4101	
Cliente:		
Referência:	4220F112101P2L	
Responsável:		
Elementos de Fixação:		
Work Shift:	#612	#613
	49,112	259,738
Observações:		

FERRAMENTA PERMANENTE		EM UTILIZAÇÃO						
Ferramentas								
T	Suporte	Designação	Pastilha	X	Z	R	T	Y
1	SØ40	FERRO Ø25L - TUNGALOY - A255-SVQBL16-D305	TUNGALOY - VBMT160404-PSF T9115	-354,407	196,975	0,4	3	0
22	SS	FERRO EXT - TUNGALOY - ACLNR2020K12-A	TUNGALOY - CNMG120408-TM T9215	-331,8	-3,175	0,8	3	0
3	SØ40	FERRO Ø25 - TUNGALOY - A255-SVQBR16-D305	TUNGALOY - VBMT160404-PSF T9115	-426,054	-199,405	0,4	2	0
24	SF	FERRO W6 - ISCAR - HFHR25-100-6T32	ISCAR - HFPR6004IC808	-306,920	24,875	0	0	0
5	SØ40	BROCA Ø50 - TUNGALOY - TD5500F40-2	TUNGALOY - WWMU13X512R-DJ AH3135	-390,429	-110,805	0	0	0
26	MA	BROCA Ø7 - DHF - DAO070		-379,350	37,005	0	0	0,15
7	MA HSK	MACHO M8 ESMAGAMENTO - WNT - 23814080		-380,172	-108,204	0	0	0,14
28	MA	BROCA Ø5,6 - DHF - DAO056		-379,36	46,338	0	0	0,13
30	MA	MACHO M6 ESMAGAMENTO - WNT - 23814060		-379,330	50,471	0	0	0,13
11	MA HSK	MACHO M5 ESMAGAMENTO - WNT - 23814050		-380,210	-123,155	0	0	0,07
32	MA	ESCALEADOR Ø6 - DHF - X-WHEX-080075	DHF - XT50803	-379,290	31,268	0	0	0,19

Lista de Operações					
OP. N.º	DESIGNAÇÃO	Vc	S	F	TEMPO
1	Furação D50.0 (1º lado)		900		
2	Furação axial motorizada D5.0 (1º lado)		2500		
3	Roscar Macho M8 (1º lado)		200		
4	Roscar Macho M5 (1º lado)		318		
5	Desbaste Ranhura (2º lado)		300		
6	Furação axial motorizada D7.0 (2º lado)		4400		
7	Furação axial motorizada D5.6 (2º lado)		4400		
8	Escarear furos (2º lado)		3500		
9	Roscar Macho M6 (2º lado)		265		
10					
11					
12					
13					
<b>Tempo Total:</b>					

Figura 138: Folha de processo torreta Lower

 <b>RMP</b> METALMECÂNICA DE ALTA PRECISÃO A Qualidade é a nossa Prioridade.	PROCESSO Nº 2020/025	REV_00
	RIGHT	

Máquina:	Muratec MT200 GT3			
Programa:	O4102			
Cliente:				
Referência:	4220F112101P2L			
Responsável:				
Elementos de Fixação:	Grampos torneados Ø212 - MT200-0007			
Work Shift:	X	Z	C	Y
	0	96,06	0	0
Observações:				

FERRAMENTA PERMANENTE		EM UTILIZAÇÃO						
Ferramentas								
T	Suporte	Designação	Pastilha	X	Z	R	T	Y
1	SS	FERRO EXT - TUNGALOY - ADJNR2020K1506-A	TUNGALOY - DNMG150604-TSF T9215	-354,534	108,511	0,4	3	0
2	SS	FERRO EXT - TUNGALOY - ACLNR2020K12-A	TUNGALOY - CNMG120408-TM T9215	-534,270	108,745	0,8	3	0
3								
4	SØ40	FERRO Ø25L - TUNGALOY - A255-SVQB16-D305	TUNGALOY - VBMT160404-PSF T9115	-375,100	146,395	0,4	3	0
5	SF	FERRO W6 - ISCAR - HFHR25-100-6T32	ISCAR - HFPR6004IC808	-408,700	136,343	0	0	0,45
6	SØ40	FERRO Ø25 - TUNGALOY - A255-SVQBR16-D305	TUNGALOY - VBMT160404-PSF T9115	-446,600	145,544	0,4	2	0
7	SØ40	FERRO Ø16L - TUNGALOY - A16Q-SCLCL09-D180	TUNGALOY - CCMT09T308-24 T9215	-393,000	120,597	0,8	3	0
8	SØ40	FERRO Ø10 - TUNGALOY - A10K-SCLCL06D120	TUNGALOY - CCMT060208-24 T9215	-399,100	112,374	0,8	3	0
9	SØ40	FERRO Ø32 - TUNGALOY - A325-ADUNR1506-D400	TUNGALOY - DNMG150604-TSF T9215	-454,970	181,957	0,4	2	0
10	MA	MACHO M4 ESMAGAMENTO - WNT - 23814040		-400,610	149,928	4,97	0	-0,05
11	MA	FRESA Ø10 DESB - WNT - 50951102		-400,610	149,194	5	0	-0,09
12	MA	FRESA Ø10 ACAB - WNT - 50951102		-400,600	190,203	0	0	-0,05
13	MA HSK	FRESA 1/4R Ø10R2 - HELION - 70.6480.02		-400,620	189,043	3	0	-0,18
14	MI	FRESA 1/4R Ø10R2 - HELION - 70.6480.02			113,865			
15		SONDA						

Lista de Operações					
OP. N.º	DESIGNAÇÃO	Vc	S	F	TEMPO
1	Desbaste exterior	380			
2	Desbaste ranhura frontal		300		
3	Desbaste ranhura ferro D10	380			
4	Desbaste ranhura ferro D16	350			
5	Acabamento face	300			
6	Desbaste rebaixo interior fresa		2200		
7	Acabamento rebaixo interior fresa		2200		
8	Raio rebaixo interior fresa 1/4		1700		
9	Roscar macho M4		398		
10	Acabamento diâmetros interiores	250			
11	Acabamento ranhura	180			
12	Acabamento exterior	400			
13					
<b>Tempo Total:</b>					

 Figura 139: Folha de processo torreta *Right*

## 6. Excertos de Programação Fanuc

% O4100(4220F112101P2L - UPPER)	M802P12(SINCRO)	% O4102(4220F112101P2L - RIGHT)
M8M108	G187(SEQ JUMP)	M8M108
N1000	N30	N1000
M50	M10	G28W50
G0G40G80G18G99	G120Z1	G0G99
G28V0U0	G40G18G80G99	G28U0V0
G28W0	G10P0X0Z#612	G28W0
G187	M58B1	G28W0
M1	T0707(MACHO M8 ESMAGAMENTO)	M50
(**** CUTTING OP10 ****)	(ROSCAR_M8)	G187
N9000	M8	M97
(**** CUTTING OP10 ****)	G98G97S200M13G17	M1
G28U0W0V0M8M90	M15	(**** CUTTING OP20 ****)
G50S5000	M68(ASSE C ON)	N9000
G99G90	G28C50	(**** CUTTING OP20 ****)
M10	G0Y0Z10C50	G28W50
(**** INICIO MAQUINACAO - UPPER - OP10 ****)	G0X194	G28U0V0
G191U10	M16	G28W0
M801P12(SINCRO)	G184X194Z-19.75R2.0F1250P500S200	M10
N10	M17	(**** INICIO MAQUINACAO - RIGHT - OP10 ****)
T0202(FERRO EXT CNMG120408-TM T9215)	CS-120	M108
(DESB_FACEJAMENTO)	M16	N10
M8	G184X194Z-19.75R2.0F1250P500S200	T0202(FERRO EXT CNMG120408-TM T9215)
G99G96S380M3	M17	(DESB_FACEJAMENTO)
G0Y0Z2G18	CS120	M8
G0X224	M16	G99G96S380M3
G1X90F0.3	G184X194Z-19.75R2.0F1250P500S200	G0Y0Z2G18
G0Z5	M17	G0X224
G0X224	M69	G1X153F0.3
G0Z0.4	Z10	G0Z4
G1X90	M9	G0X224
G0Z2	G28U0V0M15	G0Z0.2
G0X224	G28W0	G1X153
N20	M01	G0Z2
(DESB_EXTERIOR)	N40	G0X222
M8	M10	N20
G96S380M3	G120Z1	(DESB_EXTERIOR)
G0X222Y0Z2	G40G18G80G99	G96S380M3
G71U2R0.5	G10P0X0Z#612	G0X222Y0Z2
G71P201Q202U0.4W0.2F0.30	M58B1	G71U2.5R0.5
N201G0X204.194	T1111(MACHO M5 ESMAGAMENTO)	G71P201Q202U0.4W0.2F0.25
G1Z1.218	(ROSCAR_M5)	N201G0X203.164
G1X211.79Z0.2	M8	G1Z1
G3X211.93Z0.171R0.1	G98G97S318M13G17	G1X211.55Z0
G1X212.614Z-0.171	M15	G1X212.126Z-1.33
G3X212.672Z-0.241R0.1	M68(ASSE C ON)	G1X212.126Z-5
G1X212.672Z-14.5	G28C50	G1X212.672Z-33.86
N202G0X224	G0Y0Z10C50	G1X213Z-34.5
G0Z10	G0X104.0	N202G0Y222
M9	M16	
G28U0V0	G184X104.0Z-25.4R2.0F0800P500S318	
G28W0	M17	
M01	CS-120	
	M16	
	G184X104.0Z-25.4R2.0F0800P500S318	

Figura 140: Exemplos de programação Fanuc