



## Estimativa de tempos de maquinagem com base em redes neuronais

ANDRÉ FILIPE DUARTE RODRIGUES

dezembro de 2021

# **ESTIMATIVA DE TEMPOS DE MAQUINAGEM COM BASE EM REDES NEURONAIAS ARTIFICIAIS**

André Filipe Duarte Rodrigues  
1111540

**2021**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica





## **ESTIMATIVA DE TEMPOS DE MAQUINAGEM COM BASE EM REDES NEURONAIS ARTIFICIAIS**

André Filipe Duarte Rodrigues  
1111540

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Doutor Francisco José Gomes da Silva e coorientação do Mestre Gustavo Filipe Lopes Correia Pinto.

**2021**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO  
DO PORTO

isep

# JÚRI

## **Presidente**

Doutor Arnaldo Manuel Guedes Pinto

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Mecânica, ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Orientador**

Doutor Francisco José Gomes da Silva

Professor Coordenador, Departamento de Engenharia Mecânica, ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Co-orientador**

Mestre Gustavo Filipe Lopes Correia Pinto

Assistente, Departamento de Engenharia Mecânica, ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Arguente**

Doutor João Paulo Davim Tavares da Silva

Professor Catedrático, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro



## **PALAVRAS CHAVE**

Maquinagem; Estimativa de tempos; Moldes de injeção; Redes Neurais Artificiais.

## **RESUMO**

Um dos fatores mais importantes na produção de moldes para injeção de plástico é a estimativa do custo dos serviços de maquinagem, que representam uma parte significativa do preço final do molde. O custo destes serviços é habitualmente determinado em função do tempo de maquinagem, cujo cálculo é geralmente longo e dispendioso. Se for considerado que as peças dos moldes de injeção são todas diferentes, compreende-se que a correta e célere estimativa de tempos de maquinagem é de grande importância para o sucesso de uma empresa.

Esta dissertação apresenta uma proposta de aplicação de redes neuronais artificiais na estimativa de tempos de maquinagem de peças *standard* de moldes de injeção de plástico. Para o efeito, foram simuladas peças e calculados os tempos de maquinagem para recolher dados suficientes para o treino das redes neuronais.

Foi estudada a influência da arquitetura de rede, da quantidade de dados de entrada e das variáveis utilizadas no treino da rede, de forma a encontrar a rede neuronal com maior precisão. A aplicação de redes neuronais neste trabalho revelou-se uma forma célere e eficaz de calcular os tempos de corte, podendo dar um forte contributo a empresas do setor.



**KEYWORDS**

*Machining; Time estimation; Injection molds; Artificial Neural Networks.*

**ABSTRACT**

*One of the most important factors in the production of plastic injection molds is the cost estimation of machining services which represents a significant part of the final mold price. The cost of these services is commonly determined as a function of the machining time, which is usually long and expensive to calculate. If it is considered that the injection mold parts are all different, it is understood that the correct and quick estimation of machining times is of great importance for the success of a company.*

*This dissertation presents a proposal for the application of artificial neural networks in machining time estimation for standard injection molds parts. For this purpose, parts were simulated and machining times were calculated to collect enough data for training the neural networks.*

*The influence of the network architecture, the amount of input data and the variables used in the training of the network were studied in order to find the neural network with greater precision. The application of neural networks in this work proved to be a quick and efficient way to calculate cutting times, which can give a strong contribution to companies in the sector.*



## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

### Lista de Abreviaturas

AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CNC	Controlo Numérico Computarizado
CVD	<i>Chemical Vapor Deposition</i>
EDM	<i>Electrical Discharge Machining</i>
HSS	<i>High Speed Steel</i>
MQL	<i>Minimum Quantity Lubrification</i>
PVD	<i>Physical Vapor Deposition</i>
RNA	Rede Neuronal Artificial

### Lista de Unidades

°C	Graus Celsius
HB	Dureza de Brinell
kW	Quilowatt
min	Minuto
mm	Milímetro
N	Newton
rpm	Rotações por minuto

### Lista de Símbolos

%	Porcentagem
C	Símbolo químico do Carbono
Cr	Símbolo químico do Crómio
Mn	Símbolo químico do Manganês
Mo	Símbolo químico do Molibdénio
Ni	Símbolo químico do Níquel
P	Símbolo químico do Fósforo
S	Símbolo químico do Enxofre
Si	Símbolo químico do Silício
V	Símbolo químico do Vanádio
W	Símbolo químico do Tungsténio



## GLOSSÁRIO DE TERMOS

---

<i>Backpropagation</i>	Algoritmo utilizado no treino de redes neuronais artificiais e também designado como retropropagação. Este algoritmo, com base no erro ocorrido na camada de saída da rede neuronal, recalcula o valor dos pesos de trás para a frente;
<i>Feedforward</i>	Tipo de redes neuronais onde cada camada está ligada à camada da frente, sem haver caminho contrário;
<i>Stock</i>	Sobre-espessura de material em excesso da medida final.

---



## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - EXEMPLOS DE PRODUTOS PLÁSTICOS MOLDADOS POR INJEÇÃO: UM CARRINHO DE COMPRAS (À ESQUERDA), UMA EMBALAGEM (AO CENTRO) E UM COMPONENTE PARA AUTOMÓVEL (À DIREITA) [7].	9
FIGURA 2 - ESQUEMA REPRESENTATIVO DE UMA MÁQUINA DE MOLDAÇÃO POR INJEÇÃO (ADAPTADO DE [8]).	11
FIGURA 3 - CICLO DE MOLDAÇÃO.	11
FIGURA 4 - MOLDE DE INJEÇÃO [10].	12
FIGURA 5 - EXEMPLO DE UM BICO DE INJEÇÃO (À ESQUERDA) E DE UM EXTRATOR TUBULAR (À DIREITA) [11, 12]	13
FIGURA 6 - ALGUNS SISTEMAS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR, PARALELO, EM SÉRIE E MÚLTIPLAS SÉRIES [13].	14
FIGURA 7 - EXEMPLO DE UMA GUIA PARA MOLDES PARA PLÁSTICOS (À ESQUERDA), DE UM CASQUILHO (AO CENTRO) E DE UM ANEL DE CENTRAGEM (À DIREITA) [14]–[16].	15
FIGURA 8 - ESTRUTURA EXEMPLO EXPLODIDA E LEGENDADA (À ESQUERDA) E UMA ESTRUTURA PARA MOLDES PARA PLÁSTICO (À DIREITA) (ADAPTADO DE [17]).	16
FIGURA 9 - ILUSTRAÇÃO DE UM MOLDE DE DUAS PLACAS FECHADO (À ESQUERDA) E ABERTO (À DIREITA) (ADAPTADO DE [8]).	20
FIGURA 10 - ILUSTRAÇÃO DE UM MOLDE DE TRÊS PLACAS FECHADO (À ESQUERDA) E ABERTO (À DIREITA) (ADAPTADO DE [8]).	21
FIGURA 11 - ILUSTRAÇÃO DE UMA OPERAÇÃO TÍPICA DE FRESAGEM (À ESQUERDA) E UMA FRESADORA (À DIREITA) [8, 23].	23
FIGURA 12 - ILUSTRAÇÃO DE UMA OPERAÇÃO DE FURAÇÃO (À ESQUERDA) E UMA MANDRILADORA (À DIREITA) [8, 24].	23
FIGURA 13 - DIAGRAMA DO FUNCIONAMENTO DE UM PROCESSO DE MAQUINAGEM (EXEMPLO).	25
FIGURA 14 - BRAÇO DE MEDIÇÃO FARO® UTILIZADO NO CONTROLO DIMENSIONAL E VERIFICAÇÃO DAS PEÇAS PRODUZIDAS (À ESQUERDA) E <i>SOFTWARE</i> DE PROGRAMAÇÃO CAM (À DIREITA) [25, 26]	26
FIGURA 15 - ESQUEMA DE UMA FRESADORA VERTICAL (À ESQUERDA) E DE UM CENTRO DE MAQUINAGEM HORIZONTAL (À DIREITA) [27, 28].	27
FIGURA 16 - POSSÍVEIS CONFIGURAÇÕES DE CENTROS DE MAQUINAGEM VERTICAIS [34].	29
FIGURA 17 - TIPOS DE MOVIMENTOS [37].	29
FIGURA 18 - ILUSTRAÇÃO DOS MOVIMENTOS QUE PROMOVEM A FORMAÇÃO DA APARA [37]	30
FIGURA 19 - REPRESENTAÇÃO DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS DE CORTE EM FRESAGEM [34]	31
FIGURA 20 - REPRESENTAÇÃO DA PROFUNDIDADE DE CORTE AXIAL E RADIAL (À ESQUERDA) E DA POTÊNCIA ÚTIL DE CORTE E MOMENTO (À DIREITA) [34].	34
FIGURA 21 - DIVERSOS MATERIAIS PARA FERRAMENTAS DE CORTE DE ACORDO COM O SEU CAMPO DE APLICAÇÃO (ADAPTADO DE [37]).	38
FIGURA 22 - EXEMPLO DE PASTILHAS REVESTIDAS POR CVD (À ESQUERDA) E PVD (À DIREITA) [34].	40

FIGURA 23 - FERRAMENTA DE CORTE INTEIRIÇA (À ESQUERDA), FERRAMENTA INTERCAMBIÁVEL DE PASTILHAS (AO CENTRO) E FERRAMENTA DE TOPO INTERCAMBIÁVEL (À DIREITA) (ADAPTADO DE [55]–[57]).	41
FIGURA 24 - FASES A QUE UMA PEÇA ESTÁ NORMALMENTE SUJEITA ATÉ ADQUIRIR A SUA FORMA FINAL.	45
FIGURA 25 - PERCURSO HISTÓRICO DAS REDES NEURONAS ARTIFICIAS [67].	50
FIGURA 26 - ILUSTRAÇÃO DE UM NEURÓNIO BIOLÓGICO (ADAPTADO DE [68]).	52
FIGURA 27 - ESQUEMA DO FUNCIONAMENTO DE UM NEURÓNIO ARTIFICIAL.	53
FIGURA 28 - NEURÓNIO ARTIFICIAL DE UMA ENTRADA [67].	53
FIGURA 29 - NEURÓNIO ARTIFICIAL COM VÁRIAS ENTRADAS [67].	54
FIGURA 30 - REDE MULTICAMADA [69].	56
FIGURA 31 - ESQUEMA DA SOLUÇÃO PROPOSTA.	63
FIGURA 32 - METODOLOGIA SEGUIDA NA ETAPA DE PREPARAÇÃO DOS DADOS.	65
FIGURA 33 - EXEMPLO DE UMA PEÇA E DIMENSÕES CORRESPONDENTES.	66
FIGURA 34 - ROSCAS MÉTRICAS.	68
FIGURA 35 - FUROS PASSANTES.	69
FIGURA 36 - ALOJAMENTO PARA PARAFUSOS	70
FIGURA 37 - CAVILHA.	70
FIGURA 38 - CAIXAS RETANGULARES.	71
FIGURA 39 - GUIAS.	72
FIGURA 40 - CAIXA CIRCULAR CEGA.	72
FIGURA 41 - CAIXAS CIRCULARES PASSANTES.	73
FIGURA 42 - NOMENCLATURA UTILIZADA PARA AS FERRAMENTAS.	80
FIGURA 43 - BROCA INTEIRIÇA DA FERRAMENTA 1001021 (À ESQUERDA) E BROCA 1001751 DE PASTILHAS INDEXÁVEIS (À DIREITA).	81
FIGURA 44 - PONTA INDEXÁVEL DO ESCAREADOR 1101001 (À ESQUERDA), ESCAREADOR E PASTILHA UTILIZADA NA FERRAMENTA 1101601 (AO CENTRO) E MACHO DA FERRAMENTA 1201601 (À DIREITA).	85
FIGURA 45 - MANDRIL INTEIRIÇO DA FERRAMENTA 1402001 (À ESQUERDA) E MANDRIL DE PASTILHA DA FERRAMENTA 1405001 (À DIREITA).	86
FIGURA 46 - FRESA DE TOPO DA FERRAMENTA 1501601 (À ESQUERDA) E FRESA DE PASTILHAS INTERCAMBIÁVEIS DA FERRAMENTA 1502501 (À DIREITA).	88
FIGURA 47 - FRESA DE PASTILHAS INTERCAMBIÁVEIS UTILIZADA NA FERRAMENTA 1603801 (À ESQUERDA) E FRESA DE LÂMINAS UTILIZADA COMO FERRAMENTA Nº 1602002 (À DIREITA).	89
FIGURA 48 - JANELA PARA SELEÇÃO DA ESTRATÉGIA 2D A ADOTAR PARA FURAÇÃO.	90
FIGURA 49 - JANELA PARA SELEÇÃO DA FERRAMENTA PARA FURAÇÃO.	91
FIGURA 50 - JANELA PARA SELEÇÃO DA ESTRATÉGIA DE FURAÇÃO.	91
FIGURA 51 - JANELA PARA SELEÇÃO DOS PARÂMETROS DE LIGAÇÃO.	92
FIGURA 52 - JANELA PARA SELEÇÃO DA COMPENSAÇÃO DA PONTA DA FERRAMENTA EM FURO CEGO.	93
FIGURA 53 - JANELA PARA A SELEÇÃO DA COMPENSAÇÃO DA PONTA DA FERRAMENTA NUM FURO PASSANTE.	94
FIGURA 54 - ESTRATÉGIA DE FURAÇÃO ESCALONADA.	94
FIGURA 55 - JANELA PARA A SELEÇÃO DA ESTRATÉGIA 2D A ADOTAR PARA O ESCAREAMENTO.	95

FIGURA 56 - ESTRATÉGIA DE CONTORNO UTILIZADA PARA O ESCAREAMENTO.	95
FIGURA 57 - ESTRATÉGIAS DE ENTRADA E SAÍDA NO ESCAREAMENTO.	96
FIGURA 58 - ESTRATÉGIA DE FURAÇÃO UTILIZADA NA ROSCAGEM.	97
FIGURA 59 - ESTRATÉGIA DE FURAÇÃO (À ESQUERDA) E DESATIVAÇÃO DA COMPENSAÇÃO DA PONTA DA FERRAMENTA (À DIREITA) DO MANDRILAMENTO DAS CAVILHAS.	97
FIGURA 60 - ESTRATÉGIA DE FURAÇÃO UTILIZADA NA MANDRILAGEM DAS GUIAS PASSANTES.	98
FIGURA 61 - ESTRATÉGIA DE CORTE UTILIZADA PARA O DESBASTE DAS CAIXAS RETANGULARES.	98
FIGURA 62 - SENTIDO DE CORTE E <i>STOCK</i> UTILIZADO NO DESBASTE DAS CAIXAS RETANGULARES.	99
FIGURA 63 - ESTRATÉGIA DE DESBASTE UTILIZADA NO DESBASTE DAS CAIXAS RETANGULARES.	99
FIGURA 64 - ESTRATÉGIA DE ENTRADA NO DESBASTE DAS CAIXAS RETANGULARES.	100
FIGURA 65 - JANELA PARA INTRODUÇÃO DA PROFUNDIDADE DE CORTE.	100
FIGURA 66 - PARÂMETROS UTILIZADOS NA OPERAÇÃO DE REDUÇÃO DE CANTOS DAS CAIXAS RETANGULARES.	101
FIGURA 67 - ESTRATÉGIA SELECIONADA PARA O DESBASTE DAS CAIXAS CIRCULARES PASSANTES E GUIAS.	102
FIGURA 68 - DIÂMETRO DA HÉLICE E <i>STOCK</i> DO DESBASTE DAS CAIXAS CIRCULARES PASSANTES E GUIAS.	102
FIGURA 69 - PARÂMETROS DE CORTE UTILIZADOS NA HÉLICE.	103
FIGURA 70 - <i>STOCK</i> UTILIZADO NAS OPERAÇÕES DE ACABAMENTO DE CHÃO.	103
FIGURA 71 - ESTRATÉGIA SELECIONADA PARA O ACABAMENTO DE PAREDES.	104
FIGURA 72 - PARÂMETROS DE CORTE E <i>STOCK</i> UTILIZADO NO ACABAMENTO DE PAREDES.	104
FIGURA 73 - OPÇÃO DE <i>BREAK THROUGH</i> UTILIZADA NO ACABAMENTO DAS PAREDES DAS CAIXAS CIRCULARES.	105
FIGURA 74 - PEÇA EXEMPLO (PEÇA Nº 1).	110
FIGURA 75 - ARQUITETURA DA REDE E1_CONF7.	115
FIGURA 76 - IMPORTAÇÃO DAS BASES DE DADOS.	116
FIGURA 77 - DEFINIÇÃO DA RNA E AMOSTRAS DE TREINO, VALIDAÇÃO E TESTE.	116
FIGURA 78 - CONFIRMAÇÃO DAS DIMENSÕES DA REDE E1_CONF7.	117
FIGURA 79 - PROPRIEDADES DE CADA UMA DAS CAMADAS DA RNA E1_CONF7.	118
FIGURA 80 - COMANDO PARA TREINO DA RNA E1_CONF7.	119
FIGURA 81 - JANELA DE TREINO DA RNA E1_CONF7.	119
FIGURA 82 - PROGRESSO DO TREINO DA RNA E1_CONF7.	120
FIGURA 83 - ESTADO DO TREINO AO LONGO DOS 24 CICLOS DE TREINO.	121
FIGURA 84 - HISTOGRAMA DE ERROS NO FINAL DO TREINO.	121
FIGURA 85 - REGRESSÃO DAS AMOSTRAS PARA TREINO (PONTO A), VALIDAÇÃO (PONTO B), TESTE (PONTO C) E DE TODOS OS DADOS (PONTO D).	122
FIGURA 86 - COMANDO PARA ESTIMATIVA DOS TEMPOS DE MAQUINAGEM DOS DADOS DE ENTRADA "TESTE_E".	123
FIGURA 87 - HISTOGRAMA DE ERROS (À ESQUERDA) E GRÁFICO DE REGRESSÃO LINEAR (À DIREITA) DO ENSAIO E1_CONF2.	129
FIGURA 88 - VARIAÇÃO DO ERRO PERCENTUAL EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE PEÇAS UTILIZADAS NO TREINO DA REDE.	130



## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - VANTAGENS E LIMITAÇÕES DA MOLDAÇÃO POR INJEÇÃO [9].	10
TABELA 2 - PRINCIPAIS FUNÇÕES DAS PLACAS CONSTITUINTES DO MOLDE [2, 6].	17
TABELA 3 - CARACTERÍSTICAS DO AÇO PARA MOLDES PARA PLÁSTICO EXIGIDAS PELO FABRICANTE E PELO UTILIZADOR [18].	18
TABELA 4 - AÇOS UTILIZADOS EM MOLDES PARA PLÁSTICOS, DUREZA E PRINCIPAIS APLICAÇÕES [19].	19
TABELA 5 - VANTAGENS E LIMITAÇÕES DOS PROCESSOS DE MAQUINAGEM [9, 20].	22
TABELA 6 - OUTROS PROCESSOS DE MAQUINAGEM UTILIZADOS NO FABRICO DE MOLDES DE INJEÇÃO [9, 20].	24
TABELA 7 - ESTUDOS SOBRE ALTERNATIVAS AOS FLUIDOS DE CORTE CONVENCIONAIS.	27
TABELA 8 - CARACTERIZAÇÃO DOS MOVIMENTOS QUE PROMOVEM A FORMAÇÃO DA APARA [37].	30
TABELA 9 - CARACTERIZAÇÃO DOS MOVIMENTOS QUE NÃO PROMOVEM A FORMAÇÃO DA APARA (AUXILIARES) [37].	30
TABELA 10 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS MOVIMENTOS CONCORDANTE E DISCORDANTE [34]	33
TABELA 11 - ESTUDOS SOBRE OS MOVIMENTOS CONCORDANTE E DISCORDANTE	33
TABELA 12 - INFLUÊNCIA DA LARGURA DE CORTE NO PROCESSO DE MAQUINAGEM [34].	35
TABELA 13 - ESTUDOS SOBRE A INFLUÊNCIA E OTIMIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CORTE NO CONSUMO DE ENERGIA.	36
TABELA 14 - MATERIAIS MAIS UTILIZADOS EM FERRAMENTAS DE CORTE E SUAS CARACTERÍSTICAS [22, 14].	39
TABELA 15 - ESTUDOS RELATIVOS AO DESEMPENHO DAS FERRAMENTAS DE CORTE E REVESTIMENTOS.	40
TABELA 16 - FERRAMENTAS MAIS UTILIZADAS EM FRESAGEM E AS SUAS RESPECTIVAS CARACTERÍSTICAS [39, 55, 57].	42
TABELA 17 - OUTRAS FERRAMENTAS UTILIZADAS EM FRESAGEM [39, 59, 60].	43
TABELA 18 - FERRAMENTAS MAIS COMUNS UTILIZADAS EM OPERAÇÕES DE FURAÇÃO, MANDRILAMENTO E ROSCAGEM [39, 55].	44
TABELA 19 - OPERAÇÕES DE FRESAGEM MAIS COMUNS [34].	46
TABELA 20 - OPERAÇÕES DE FURAÇÃO E ROSCAGEM MAIS UTILIZADAS EM CENTROS DE MAQUINAGEM [1 E 11].	47
TABELA 21 - ESTRATÉGIAS DE MAQUINAGEM MAIS COMUNS EM FRESAGEM [34].	48
TABELA 22 - ESTUDOS RELATIVOS À SELEÇÃO DE FERRAMENTA DE CORTE E ESTRATÉGIAS DE MAQUINAGEM	49
TABELA 23 - RESENHA HISTÓRICA DO PERCURSO DAS REDES NEURONAI ARTIFICIAS [67].	51
TABELA 24 - FUNÇÕES DE ATIVAÇÃO MAIS COMUNS [69].	55
TABELA 25 - APLICAÇÕES DAS RNAs EM DIFERENTES RAMOS INDUSTRIAIS [69].	58
TABELA 26 - ESTUDOS SOBRE A APLICAÇÃO DE REDES NEURONAI NA ESTIMATIVA DE TEMPOS E CUSTOS DE MAQUINAGEM.	59
TABELA 27 - GRUPO DE ELEMENTOS USADOS, A SUA NOMENCLATURA E JUSTIFICAÇÃO DA SUA UTILIZAÇÃO.	66

TABELA 28 - DIMENSÕES CONSIDERADAS PARA AS PEÇAS.	67
TABELA 29 - NORMAS EQUIVALENTES DOS AÇOS 1.1730 E 1.2311 [19].	67
TABELA 30 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO AÇO 1.1730 [19].	67
TABELA 31 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO AÇO 1.2311 [19].	67
TABELA 32 - DIMENSÕES DAS ROSCAS MÉTRICAS CONSIDERADAS.	68
TABELA 33 - DIMENSÕES DOS FUROS PASSANTES CONSIDERADOS.	69
TABELA 34 - DIMENSÕES DOS ALOJAMENTOS PARA PARAFUSOS CONSIDERADOS.	70
TABELA 35 - DIMENSÕES DAS CAVILHAS CONSIDERADAS.	71
TABELA 36 - CAIXAS RETANGULARES CONSIDERADAS E SUAS DIMENSÕES.	71
TABELA 37 - DIMENSÕES DAS GUIAS CONSIDERADAS.	72
TABELA 38 - DIMENSÕES DAS CAIXAS CIRCULARES CEGAS CONSIDERADAS.	73
TABELA 39 - DIMENSÕES DAS CAIXAS CIRCULARES PASSANTES CONSIDERADAS.	73
TABELA 40 - SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES PARA A MAQUINAGEM DAS ROSCAS MÉTRICAS.	74
TABELA 41 - SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES PARA A MAQUINAGEM DOS FUROS PASSANTES.	74
TABELA 42 - SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES PARA A MAQUINAGEM DOS ALOJAMENTOS PARA PARAFUSOS.	75
TABELA 43 - SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES PARA A MAQUINAGEM DAS CAVILHAS.	75
TABELA 44 - SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES PARA A MAQUINAGEM DAS CAIXAS RETANGULARES.	76
TABELA 45 - SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES PARA A MAQUINAGEM DAS GUIAS.	77
TABELA 46 - SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES PARA MAQUINAGEM DAS CAIXAS CIRCULARES CEGAS.	78
TABELA 47 - SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES PARA A MAQUINAGEM DAS CAIXAS CIRCULARES PASSANTES.	79
TABELA 48 - BROCAS UTILIZADAS PARA A OP. 1.1 (ROSCAS MÉTRICAS).	82
TABELA 49 - BROCAS UTILIZADAS PARA A OP. 4.1 (CAVILHAS).	82
TABELA 50 - BROCAS UTILIZADAS PARA A OP. 6.1 (GUIAS).	83
TABELA 51 - BROCAS UTILIZADAS NAS OP. 2.1 (FUROS PASSANTES) E 3.1 (ALOJAMENTOS PARA PARAFUSOS).	83
TABELA 52 - ESCAREADORES UTILIZADOS.	84
TABELA 53 - MACHOS DE CORTE UTILIZADOS NA OP. 1.3 (ROSCAS MÉTRICAS)	85
TABELA 54 - <i>COUNTER-BORING</i> UTILIZADOS NA OP. 3.2 (ALOJAMENTO PARA PARAFUSOS).	86
TABELA 55 - MANDRIS UTILIZADOS NA OP. 4.3 (CAVILHAS).	87
TABELA 56 - MANDRIS UTILIZADOS PARA A OP. 6.4 (GUIAS).	87
TABELA 57 - FRESAS UTILIZADAS NAS OP. 5.1, 5.2, 5.4 E 5.5 (CAIXAS RETANGULARES)	87
TABELA 58 - FRESAS UTILIZADAS NAS OP. 6.2 (GUIAS) E 8.2 (CAIXAS CIRCULARES PASSANTES).	88
TABELA 59 - FRESAS UTILIZADAS NA OP. 7.1 (CAIXAS CIRCULARES CEGAS).	88
TABELA 60 - FERRAMENTA UTILIZADA NAS OP. 7.3 E 7.4 (CAIXAS CIRCULARES CEGAS).	89
TABELA 61 - FERRAMENTAS UTILIZADAS NA OP. 8.4 (CAIXAS CIRCULARES PASSANTES).	89
TABELA 62 - ESTRUTURA E MATERIAL SELECIONADO PARA A PEÇA EXEMPLO (PEÇA Nº 1).	105
TABELA 63 - ROSCAS MÉTRICAS SELECIONADAS PARA A PEÇA EXEMPLO (PEÇA Nº 1).	106
TABELA 64 - FUROS PASSANTES SELECIONADOS PARA A PEÇA EXEMPLO (PEÇA Nº 1).	106
TABELA 65 - ALOJAMENTOS PARA PARAFUSOS SELECIONADOS PARA A PEÇA EXEMPLO (PEÇA Nº 1).	107
TABELA 66 - CAVILHAS SELECIONADAS PARA A PEÇA EXEMPLO (PEÇA Nº 1).	107
TABELA 67 - CAIXAS RETANGULARES SELECIONADAS PARA A PEÇA EXEMPLO (PEÇA Nº 1).	107
TABELA 68 - GUIAS PASSANTES SELECIONADAS PARA A PEÇA EXEMPLO (PEÇA Nº 1).	108

TABELA 69 - CAIXA CIRCULAR CEGA SELECIONADA PARA A PEÇA EXEMPLO (PEÇA Nº 1).	108
TABELA 70 - CAIXAS CIRCULARES PASSANTES SELECIONADAS PARA A PEÇA EXEMPLO (PEÇA Nº 1).	108
TABELA 71 - ANÁLISE DA PEÇA EXEMPLO (PEÇA Nº 1).	109
TABELA 72 - CÓDIGO DE CORES.	110
TABELA 73 - QUANTIDADE TOTAL DOS ELEMENTOS DE CADA UMA DAS PEÇAS MODELADAS E TEMPO DE MAQUINAGEM TOTAL CALCULADO COM RECURSO AO MÉTODO TRADICIONAL.	111
TABELA 74 - QUANTIDADE TOTAL DOS ELEMENTOS DE CADA UMA DAS PEÇAS MODELADAS E TEMPO DE MAQUINAGEM TOTAL CALCULADO COM RECURSO AO MÉTODO EMPÍRICO.	112
TABELA 75 - COMPARAÇÃO DOS TEMPOS OBTIDOS NO MÉTODO TRADICIONAL E NO MÉTODO EMPÍRICO.	113
TABELA 76 - ERROS DA REDE E1_CONF7 NA ESTIMATIVA DOS VALORES DE TESTE.	124
TABELA 77 - REDES UTILIZADAS NO ENSAIO 1 E RESULTADOS DO TREINO.	125
TABELA 78 - RESULTADOS DOS ERROS DAS REDES UTILIZADAS NO ENSAIO 1.	125
TABELA 79 - RESULTADOS DO TREINO DAS REDES DO ENSAIO 2.	126
TABELA 80 - RESULTADOS DOS ERROS DAS REDES UTILIZADAS NO ENSAIO 2.	126
TABELA 81 - RESULTADOS DO TREINO DAS REDES DO ENSAIO 3.	127
TABELA 82 - RESULTADOS DOS ERROS DAS REDES DO ENSAIO 3.	128
TABELA 83 - VARIÁVEIS DE ENTRADA ORDENADAS EM FUNÇÃO DO ERRO PERCENTUAL E ANÁLISE DOS RESULTADOS.	131



# ÍNDICE

RESUMO .....	VII
ABSTRACT .....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS .....	XI
GLOSSÁRIO DE TERMOS .....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XV
ÍNDICE DE TABELAS .....	XIX
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	3
1.2 OBJETIVOS.....	4
1.3 METODOLOGIA .....	4
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	5
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>9</b>
2.1 MOLDES DE INJEÇÃO.....	9
2.1.1 Moldação por injeção.....	9
2.1.2 O molde de injeção.....	12
2.1.3 Processos de fabrico associados à produção de moldes.....	21
2.2 MAQUINAGEM .....	24
2.2.1 Maquinagem aplicada às estruturas de moldes de injeção .....	24
2.2.2 Cinemática.....	28
2.2.3 Parâmetros de corte.....	31
2.2.4 Ferramentas de corte .....	37
2.2.5 Sequências de maquinagem.....	45
2.3 REDES NEURONAIIS ARTIFICIAIS .....	50

2.3.1	Definição e enquadramento histórico.....	50
2.3.2	Analogia com o modelo biológico .....	52
2.3.3	Princípios de funcionamento das RNAs.....	53
2.3.4	Arquiteturas de rede .....	57
2.3.5	Fases de desenvolvimento de uma RNA .....	57
2.3.6	Casos de aplicação.....	58
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>63</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO .....	63
3.2	PREPARAÇÃO DOS DADOS .....	65
3.2.1	Definição de elementos e materiais das peças .....	65
3.2.2	Sequências operatórias .....	73
3.2.3	Criação da biblioteca de ferramentas .....	79
3.2.4	Programação CAM e estratégias de maquinaria .....	89
3.2.5	Gerador de peças .....	105
3.2.6	Método tradicional.....	109
3.2.7	Método empírico.....	111
3.2.8	Validação do método empírico .....	113
3.2.9	Criação da base de dados.....	114
3.3	REDE NEURONAL ARTIFICIAL.....	115
3.3.1	Estrutura.....	115
3.3.2	Preparação de dados e definição da RNA .....	116
3.3.3	Treino da rede .....	119
3.3.4	Previsão de tempos de maquinaria e teste da rede .....	123
3.4	MODELOS COMPARATIVOS .....	124
3.4.1	Ensaio 1 – Variação de arquiteturas de rede .....	124
3.4.2	Ensaio 2 – Influência da quantidade de dados de entrada .....	125
3.4.3	Ensaio 3 – Influência das variáveis de entrada.....	127
3.5	ANÁLISE DE RESULTADOS .....	128
3.5.1	Ensaio 1 .....	128
3.5.2	Ensaio 2 .....	129
3.5.3	Ensaio 3 .....	131
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>135</b>
4.1	CONCLUSÕES.....	135
4.2	PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS.....	136
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....</b>	<b>139</b>

---

<b>6</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>149</b>
<b>6.1</b>	<b>FERRAMENTAS .....</b>	<b>149</b>
6.1.1	Características Geométricas.....	149
6.1.2	Parâmetros de Corte .....	161
<b>6.2</b>	<b>MÉTODO TRADICIONAL.....</b>	<b>169</b>
6.2.1	Gerador Peças .....	169
6.2.2	Verificação Peças.....	176
6.2.3	Peças Modeladas.....	179
6.2.4	Tempos de maquinagem.....	185
<b>6.3</b>	<b>MÉTODO EMPÍRICO .....</b>	<b>191</b>
6.3.1	Tempos de maquinagem de cada elemento .....	191
<b>6.4</b>	<b>REDES NEURONAIS.....</b>	<b>221</b>
6.4.1	Ensaio 1 .....	221
6.4.2	Ensaio 2 .....	230
6.4.3	Ensaio 3 .....	244



# INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

1.2 OBJETIVOS

1.3 METODOLOGIA

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Com mais de 70 anos de história, a Indústria Portuguesa de Moldes desempenha um papel de elevada importância no quadro económico nacional. Com cerca de 536 empresas sediadas maioritariamente nos municípios de Oliveira de Azeméis e da Marinha Grande e empregando aproximadamente 11000 trabalhadores, Portugal é um dos principais fabricantes de moldes a nível mundial (8º no mundo e 3º na Europa) [1].

Os processos de transformação de plásticos, nomeadamente a moldação por injeção, são o principal impulsionador de um setor com uma forte vocação exportadora para o mercado europeu, onde serve principalmente a indústria automóvel e onde regista um crescimento sustentado na indústria das embalagens. O setor marca ainda presença em outras áreas como a indústria aeronáutica e de dispositivos médicos.

É exatamente na conceção e desenvolvimento dos moldes de injeção que a indústria metalomecânica portuguesa encontra parte da sua base de sustentação. Os processos tecnológicos de corte por arranque de aparas, nomeadamente a fresagem, o torneamento, a furação e a retificação, são fundamentais no fabrico das placas, calços e acessórios constituintes das estruturas dos moldes de injeção.

O reconhecimento internacional e o sucesso desta indústria deve-se a diversos fatores como ao investimento tecnológico e modernização de equipamentos, ao controlo de qualidade e correto planeamento da produção, e ao investimento na qualificação da mão-de-obra. O cumprimento dos prazos de entrega estabelecidos, a constante procura por novos mercados e a favorável relação qualidade/preço tornam, os serviços de maquinagem nacionais bastante atrativos [1, 2].

Uma das dificuldades com que os serviços de maquinagem se deparam ocorre na fase de orçamentação. É prática comum definir um custo/hora para o serviço (onde se consideram os gastos com amortizações, consumíveis, mão-de-obra, energia, etc.) e determinar o custo de fabrico de uma peça em função do seu tempo de maquinagem.

Os tempos de maquinagem, por sua vez, são comumente determinados ou através de cálculo ou através da análise humana. No primeiro caso, é utilizado *software* de CAM (*Computer Aided Manufacturing*) para simular as sequências operatórias e o tempo necessário para fabricar a peça. No segundo caso, o tempo de maquinagem é definido por um orçamentista, tendo como base uma análise visual da peça e a sua experiência em orçamentação. O primeiro método apresenta maior precisão, mas requer mais tempo para calcular o tempo de maquinagem. O segundo é mais rápido mas, por depender da análise humana, é menos preciso, o que poderá conduzir a uma orçamentação por defeito, que implicará prejuízos para a empresa, ou a uma orçamentação demasiado elevada que afastará o possível cliente [3].

Se for ainda considerado que as peças dos moldes de injeção são produzidas em pequenas quantidades, que apresentam geometrias e dimensões diferentes, e que existem várias solicitações no mercado condicionadas em termos de tempo de resposta, percebemos que a correta e célere estimativa dos tempos de maquinagem é difícil, mas de extrema importância para o sucesso das empresas [4, 5].

Com aplicações de sucesso em diferentes áreas como a visão computacional, reconhecimento de voz, deteção de fraude em cartões de crédito, previsões financeiras ou diagnósticos médicos, as Redes Neurais Artificiais (RNA) são uma ferramenta matemática que, imitando o funcionamento do cérebro humano, é capaz de compreender relações complexas e identificar padrões existentes entre dados, que de outra forma seriam difíceis de perceber. Procurou-se neste trabalho explorar as potencialidades das Redes Neurais aplicadas à estimativa de tempos de maquinagem.

## 1.2 OBJETIVOS

Pretende-se com o presente trabalho elaborar um modelo para estimativa de custos de maquinagem que seja fiável e rápido na resposta. Para tal, foram utilizados algoritmos baseados em Redes Neurais.

Para alcançar o objetivo anteriormente referido, tornar-se-á necessário:

- Fazer o levantamento do estado de arte, de forma a contextualizar o tema abordado;
- Criar uma base de dados com peças-tipo de estruturas dos moldes de injeção e respetivos tempos de maquinagem;
- Construir e treinar diferentes modelos de redes neuronais, para estimar o tempo de maquinagem;
- Testar os diferentes modelos e analisar as suas diferenças.

## 1.3 METODOLOGIA

A metodologia para o estudo apresentado é disposta de acordo com:

- Pesquisa e análise de literatura científica e técnica sobre moldes de injeção, processo de maquinagem e redes neuronais;
- Definição das geometrias e elementos mais comuns às peças das estruturas dos moldes de injeção;
- Definição da sequência operatória e estratégia de maquinagem para cada elemento;
- Criação de uma biblioteca definindo as ferramentas necessárias a cada operação e respetivos parâmetros de corte;
- Cálculo dos tempos de maquinagem, tendo como base o método tradicional: modelação CAD (*Computer Aided Design*) e programação CAM;
- Cálculo dos tempos de maquinagem tendo como base o tempo individual de cada elemento (método empírico);
- Validação do método empírico, por comparação com os tempos de maquinagem obtidos do método tradicional;
- Criação de uma base de dados;
- Definição do modelo de RNA que melhor se adequa ao trabalho proposto;
- Aplicação do modelo de RNA com diferentes arquiteturas de rede às 750 peças obtidas de forma empírica;
- Aplicação do melhor modelo de RNA para analisar a influência da quantidade de dados na precisão da rede;
- Aplicação do melhor modelo de RNA para analisar a influência das variáveis de entrada;
- Análise dos resultados obtidos e formulação de conclusões;
- Redação da dissertação.

#### 1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O projeto apresentado e intitulado como “Estimativa de tempos de maquinagem com base em redes neuronais artificiais”, está dividido em quatro capítulos.

No primeiro capítulo, Introdução, procede-se à contextualização do trabalho desenvolvido, apresentando o enquadramento do tema da dissertação. São identificados os objetivos a cumprir para a execução do trabalho e a metodologia científica seguida. Por fim, é efetuada uma breve descrição de cada capítulo, para uma melhor compreensão do trabalho.

O segundo capítulo é a Revisão Bibliográfica, que se subdivide em:

- Moldes de Injeção - onde é apresentado o processo de fabrico, assim como o molde e seus processos transformativos;
- Maquinagem - onde é abordada a cinemática do corte por arranque de aparas, ferramentas de corte e sequências de maquinagem;

- Redes Neurais Artificiais - onde é realizado um enquadramento das redes neuronais, explicado o seu funcionamento, os tipos de rede, as fases de desenvolvimento e alguns casos de aplicação.

No terceiro capítulo, Desenvolvimento, é caracterizado o caso de estudo e são descritas todas as etapas para o cumprimento dos objetivos propostos, nomeadamente, a preparação dos dados e o desenvolvimento das redes neuronais. Apresentam-se também os ensaios realizados, bem como os resultados obtidos e a análise crítica dos mesmos.

Por fim, o quarto e último capítulo inclui as conclusões retiradas do presente trabalho, assim como a descrição das principais limitações encontradas e propostas para trabalhos futuros.

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MOLDES DE INJEÇÃO

2.2 MAQUINAGEM

2.3 REDES NEURONAIIS ARTIFICIAIS



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 MOLDES DE INJEÇÃO

#### 2.1.1 Moldação por injeção

Com uma vasta gama de aplicações, os materiais plásticos, compostos por resinas naturais ou sintéticas, são um grande e variado grupo de materiais transformados essencialmente através da aplicação de calor e pressão. Quando aquecido, o plástico torna-se maleável o suficiente para ser moldado e quando arrefece, adquire uma forma quase definitiva [2, 6].

Os materiais plásticos podem ser moldados numa grande variedade de produtos, através de processos de transformação cuja importância tecnológica e comercial se associa à crescente relevância que os plásticos têm adquirido. Nos últimos 50 anos, vários foram os produtos fabricados em materiais metálicos ou cerâmicos que começaram a ser produzidos em plástico. São apresentados na Figura 1 alguns produtos plásticos de uso recorrente.



Figura 1 - Exemplos de produtos plásticos moldados por injeção: um carrinho de compras (à esquerda), uma embalagem (ao centro) e um componente para automóvel (à direita) [7].

São várias as razões da importância dos processos de transformação de plásticos [8]:

- Produção de peças com geometrias complexas;
- As peças produzidas assumem desde logo a sua forma final, não sendo geralmente necessárias operações posteriores;

- As temperaturas de transformação dos materiais plásticos são inferiores às necessárias para os materiais metálicos, sendo por isso despendida uma menor quantidade de energia;
- Não são geralmente necessárias operações de pintura.

Os processos de transformação de plásticos podem ser diferenciados pela utilização de modelos ocos ou sólidos para a moldação. A moldação por injeção, por compressão e por transferência, são exemplos de processos de transformação com utilização de modelos ocos e os processos de conformação, extrusão ou plastificação, recorrem normalmente a modelos sólidos [2].

A moldação por injeção é o principal processo de transformação, o mais técnico e o mais difundido. Pode ser definido como o processo a partir do qual um material plástico, no estado sólido e usualmente sob a forma de grãos, é sequencialmente carregado, aquecido até uma determinada temperatura e pressionado pela ação de um fuso a entrar no interior de um molde. No molde, o material fundido preenche um modelo oco da forma que se pretende obter, e arrefece, recuperando a sua rigidez e adquirindo a geometria pretendida [2, 9].

Este processo é utilizado essencialmente na transformação de termoplásticos, podendo também ser aplicado a termoendurecíveis, compósitos e elastómeros, com a necessidade de se adequarem alguns dos equipamentos utilizados e os parâmetros do processo [8, 9].

A Tabela 1 apresenta as principais vantagens e limitações da moldação por injeção [9].

Tabela 1 - Vantagens e limitações da moldação por injeção [9].

Vantagens	Limitações
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta taxa de produção (1 a 50 peças por minuto);</li> <li>• Bom aproveitamento de material;</li> <li>• Processo facilmente automatizável;</li> <li>• Baixo custo laboral;</li> <li>• Baixo custo de acabamento;</li> <li>• Permite moldar geometrias complexas;</li> <li>• Bom acabamento superficial do produto final.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Custo elevado dos moldes e equipamentos;</li> <li>• Flexibilidade do processo limitada;</li> <li>• Necessária a produção de grandes quantidades de peças para compensar investimento (mais de 10000 peças);</li> <li>• Processo deve ser controlado com rigor, para evitar defeitos de moldagem.</li> </ul>

Os equipamentos básicos para a moldação por injeção são o molde (ver 2.1.2) e a máquina de injeção. Existe uma grande variedade de máquinas sendo a mais comum a

de injeção horizontal de parafuso alternativo (ver Figura 2). Esta máquina de injeção é composta pela unidade de injeção, responsável pelo transporte, aquecimento, plastificação e homogeneização do material desde a tremonha até ao bico de injeção, e pela unidade de fixação, que garante a fixação e movimentação do molde [2, 8].

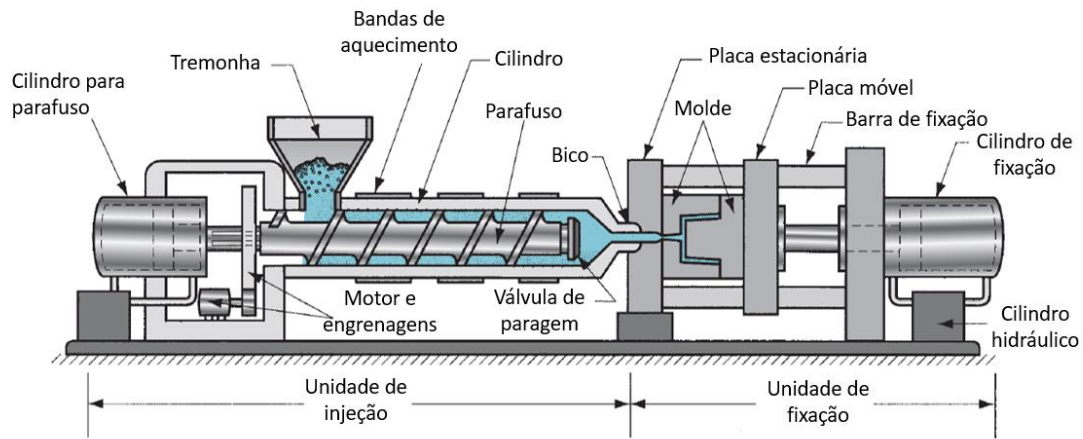


Figura 2 - Esquema representativo de uma máquina de moldação por injeção (adaptado de [8]).

O conjunto de operações realizadas numa máquina de injeção entre a produção de duas peças consecutivas, é chamado de ciclo de moldação, sendo a sua otimização de grande importância (ver Figura 3).



Figura 3 - Ciclo de moldação.

### 2.1.2 O molde de injeção

O processo de moldação por injeção requer, para além da máquina de injeção, a existência de um molde que define a geometria do produto final. O molde de injeção, exemplificado na Figura 4, pode então ser definido como uma ferramenta que contém no seu interior um espaço vazio, especialmente fabricado com a forma e tamanho da peça de plástico que se pretende obter [2, 8].

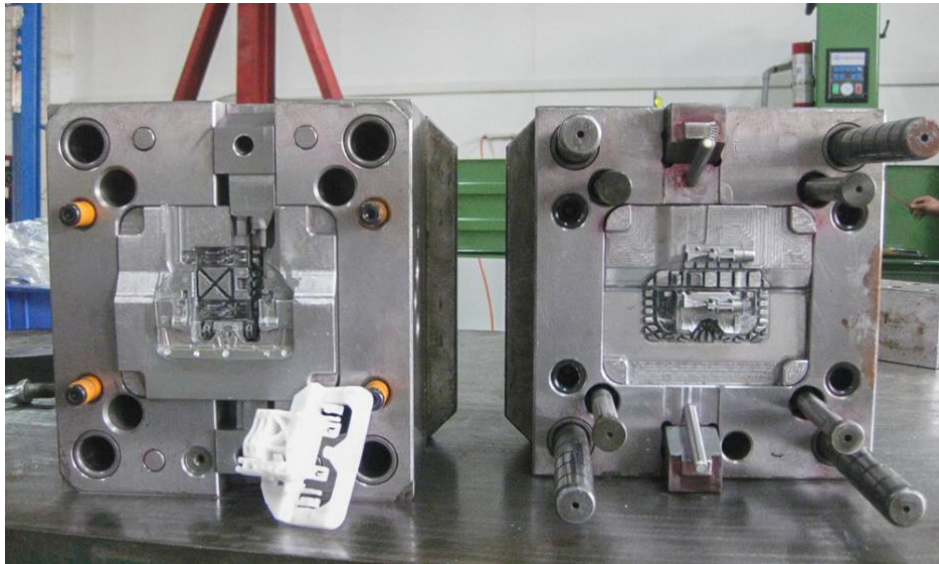


Figura 4 - Molde de injeção [10].

É constituído por várias peças, geralmente metálicas, e deve ser capaz de assegurar o correto funcionamento de um conjunto de sistemas fundamentais para garantir a qualidade dimensional e estrutural das peças produzidas. Os principais sistemas funcionais são:

- Sistema de injeção (ou de alimentação);
- Sistema de extração;
- Sistema de transferência de calor;
- Sistema de guiamento e centramento.

#### **Sistema de Injeção ou de alimentação**

O sistema de injeção (ou de alimentação) tem como objetivo transportar o material plástico aquecido desde o bico da máquina injetora até ao interior do molde, preenchendo as suas cavidades ocas e dando forma ao produto final [2, 6].

Este sistema é geralmente composto por um injetor principal, canais de distribuição e bicos de injeção (ver Figura 5). A injeção do material plástico pode ser realizada de forma direta ou indireta. No primeiro caso, aplicado a peças de grande volume e em moldes de apenas uma cavidade, o material flui diretamente do bico de injeção para a cavidade.

No segundo caso, aplicado em moldes de várias cavidades, o material passa por canais de distribuição antes de chegar às cavidades [2, 6].

Associadas ao sistema de injeção, existem as zonas para fuga de gases que têm como propósito permitir a saída do ar existente no interior da cavidade durante a injeção do material. Estas zonas são fundamentais para o correto funcionamento do molde, pois evitam a criação de bolsas de ar nas peças e falhas no enchimento [2, 6].

### Sistema de extração

Após a operação de arrefecimento, o produto moldado sofre contração e, nos casos em que a contração se dá na direção do macho, é necessário um sistema de extração para extrair a peça do interior do molde [2, 6].

Este sistema é normalmente constituído por chapas ou aros onde são montados os dispositivos de extração adequados, designados como extratores e apresentados na Figura 5. É aos extratores que é dada a função de empurrar a peça para fora do molde. Os sistemas de extração podem adotar diferentes formas como [2]:

- Sistema de extração por extratores à junta de peça;
- Sistema de extração por extrator (tubular, respigado ou lâmina);
- Sistema de extração por prato extrator ou barra extratora;
- Sistema de extração por ar e válvulas de ar;
- Sistema de extração por balancés;
- Sistema de extração por buchas flexíveis;
- Sistema de dupla extração.



Figura 5 - Exemplo de um bico de injeção (à esquerda) e de um extrator tubular (à direita) [11, 12]

### Sistema de transferência de calor

Com o objetivo de estabilizar a temperatura no molde e ajudar a que após a injeção o material plástico passe do estado pastoso ao sólido no menor tempo possível, o sistema de transferência de calor é fundamental no ciclo de moldação. Consiste na circulação de um fluido em furos previamente executados nas chapas, e que tem como função

aquecer o molde, no caso de injeção de materiais termoendurecíveis, e arrefecer no caso de materiais termoplásticos (ver Figura 6) [2].

Normalmente, o fluido utilizado é a água, por motivos económicos, sendo também possível a utilização de óleo nos casos em que o molde deve ser mantido a uma temperatura superior a 80°C, e ar em situações de arrefecimento lento. A temperatura da água deve ser controlada à entrada e à saída do circuito. A cavidade é geralmente mantida a uma temperatura superior à do macho, para permitir um melhor acabamento da peça injetada, para garantir que as peças contraíam na direção do macho e para que estes tenham uma maior rigidez aquando da atuação dos extratores [2, 6].

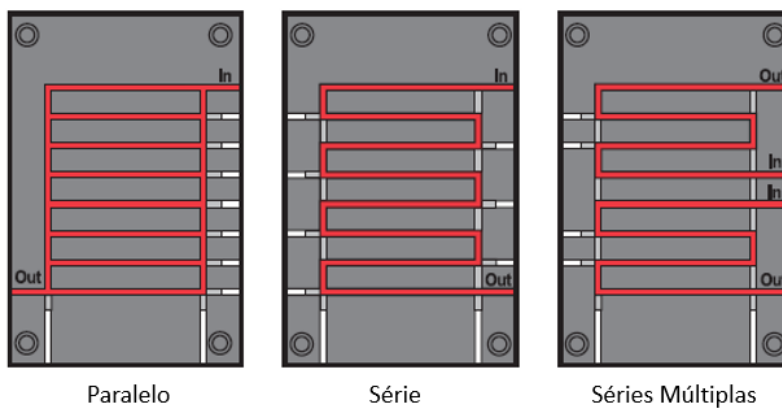


Figura 6 - Alguns sistemas de transferência de calor, paralelo, em série e múltiplas séries [13].

### Sistema de guiamento e centramento

Para o correto funcionamento do molde na máquina de injeção, e para assegurar a precisão dimensional do produto final, é necessário garantir que as diferentes chapas do molde se encontram perfeitamente centradas e paralelas entre si e com a máquina de injeção [6].

Para assegurar o centramento do molde com a máquina de injeção, são geralmente encastradas anilhas de centragem nas faces posteriores do molde, que serão futuramente ajustadas ao furo do prato da máquina de injeção.

Para além disso, durante o ciclo de moldação, o molde deve ser capaz de abrir e de regressar exatamente à posição inicial (fecho), para dar início a um novo ciclo. Este movimento deve ser assegurado não só pelo guiamento feito pelas colunas da máquina de injeção, mas também por um sistema de guiamento interno do molde que pode ser dividido em guiamento principal e guiamento da unidade de extração.

O guiamento do molde é geralmente feito através da utilização de guias e casquilhos que procuram garantir melhores condições de resistência mecânica, evitando o

desgaste das guias. Nos moldes de grandes dimensões, é recomendável a utilização de guiamento retangular (guias prismáticas) por ter maior capacidade para suportar os esforços associados.

Na Figura 7 é apresentado o exemplo de uma guia, de um casquilho e de um anel de centragem utilizados em moldes de injeção.



Figura 7 - Exemplo de uma guia para moldes para plásticos (à esquerda), de um casquilho (ao centro) e de um anel de centragem (à direita) [14]–[16].

### Estrutura dos moldes

De forma a assegurar o funcionamento de todos os sistemas apresentados e, conseqüentemente, garantir a qualidade do produto final, os moldes de injeção são compostos por diferentes placas, calços e diversos acessórios. As placas servem de suporte aos elementos moldantes e ao sistema de injeção, e permitem a fixação do molde na máquina de injeção. Os calços, por sua vez, criam o espaço necessário para o funcionamento do sistema de extração [2].

Os moldes são normalmente constituídos por uma parte fixa (também designada como lado da injeção), e por uma parte móvel (ou lado da extração). Da primeira fazem parte a placa de base fixa e a placa de moldação fixa, onde é normalmente maquinada a cavidade (ou fêmea) responsável por definir a forma exterior da peça. A parte móvel é constituída pela placa de moldação móvel, onde é geralmente maquinada a bucha (ou macho) e que define a forma interior da peça, a placa de reforço, dois calços, a placa dos extratores, a placa de aperto dos extratores e a placa de base móvel [2].

Na Figura 8 é ilustrada uma estrutura típica de um molde injeção, sendo importante referir que os moldes podem apresentar estruturas diferentes e que os nomes atribuídos às placas variam na bibliografia consultada.

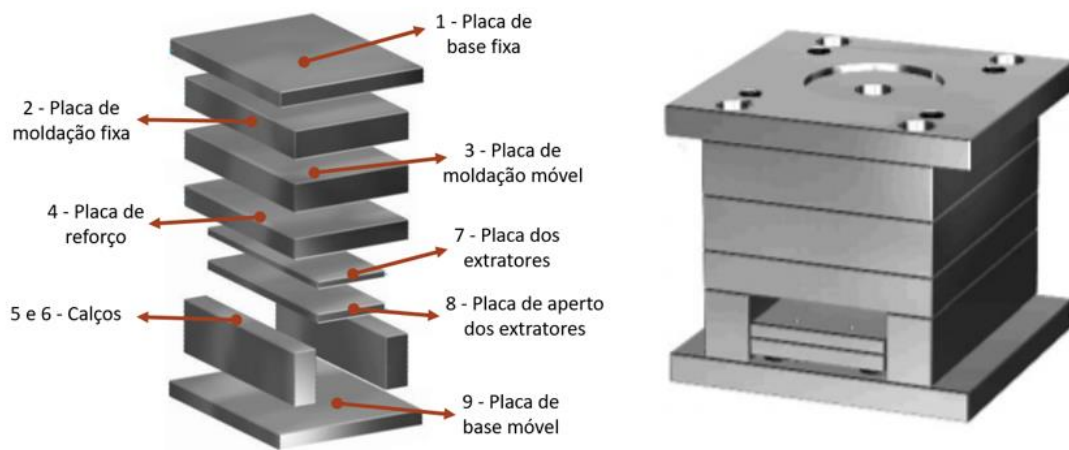


Figura 8 - Estrutura exemplo explodida e legendada (à esquerda) e uma estrutura para moldes para plástico (à direita) (adaptado de [17]).

A fixação e o centramento do molde é assegurado pela combinada ação de parafusos e cavilhas. Os parafusos impedem a separação das placas, mas as folgas existentes nas roscas e nos furos de passagem não impedem pequenos movimentos entre elas. As cavilhas, por sua vez, e que podem ser substituídas por elementos de semelhantes funções como guias ou casquilhos respigados na parte posterior, garantem o centramento das placas, mas não evitam a sua separação. É a ação combinada destes dois elementos que permite o bom funcionamento do molde [2].

Na Tabela 2 são descritas as principais funções de cada um dos elementos que normalmente compõem a estrutura de um molde injeção.

A estrutura de um molde pode ser comercializada na forma *standard*, com dimensões normalizadas e com alguns elementos já maquinados, como o alojamento para o anel de centragem, guias, cavilhas, roscas, alojamentos para parafusos, entre outros. As placas *standard* apresentam como vantagem a diminuição do tempo de fabrico e o custo do molde. A estas placas podem ser posteriormente maquinados os restantes elementos, assim como as zonas moldantes nas placas número 2 e 3.

Os elementos moldantes são as peças ou conjuntos que estão em contacto direto com o material plástico injetado, e que tem a responsabilidade de lhe conferir a forma projetada. São usualmente denominados como bucha (ou macho) e cavidade (ou fêmea), e podem ser compostos por postigos ou elementos móveis que visam facilitar ou permitir a moldação de saídas negativas. É requerido um elevado rigor dimensional na maquinagem destes elementos, uma vez que é a partir deles que se configura a peça de plástico [2, 6].

Tabela 2 - Principais funções das placas constituintes do molde [2, 6].

Placa	Função	Ilustração
<b>Placa de base fixa</b> (Placa nº 1)	- Fixar o lado da injeção do molde ao prato da máquina de injeção; - Alojamento da anilha de centragem;	
<b>Placa de moldação fixa</b> (Placa nº 2)	- Alojamento de todos os componentes moldantes e acessórios da cavidade; - Passagem de furações para o sistema de refrigeração;	
<b>Placa de moldação móvel</b> (Placa nº 3)	- Alojamento de todos os componentes moldantes e acessórios do macho; - Passagem de furações para o sistema de refrigeração;	
<b>Placa de Reforço</b> (Placa nº 4)	- Reforçar a placa do macho para que este suporte a pressão da máquina de injeção durante a injeção do material plástico;	
<b>Calços</b> (nº 5 e 6)	- Criar um espaço vazio para movimentação do sistema de extração; - Contribuir para a altura mínima do molde exigível pela máquina de injeção;	
<b>Placa dos Extratores</b> (Placa nº 7)	- Assegurar, em conjunto com a chapa nº 8, a extração da peça; - Alojamento das cabeças dos extratores;	
<b>Placa de Aperto dos Extratores</b> (Placa nº 8)	- Garantir o aperto dos extratores e, conjuntamente com a chapa nº 7, extrair a peça;	
<b>Placa de base móvel</b> (Placa nº 9)	- Fixar o conjunto móvel do molde.	

### Materiais e tratamentos térmicos

O sucesso de um produto confeccionado com um material plástico é função de vários fatores, como o preço de venda, a durabilidade e a qualidade da superfície, e estes

dependem, também, da qualidade e dos custos de produção e de manutenção do molde [18].

Apesar de representarem uma pequena parte dos custos totais do molde (menos de 10%), a correta escolha da qualidade de aço e o êxito dos tratamentos térmicos e superficiais, são de particular importância em todo o processo produtivo [18].

Os moldes para plásticos são geralmente fabricados (ver 2.1.3) por maquinagem com arranque de apara, onde é exigido um bom acabamento superficial, e electroerosão (EDM – *Electrical Discharge Machining*). Sendo os custos de fabrico muito superiores aos custos do aço e do tratamento térmico, os aços para moldes para plásticos devem ter características que correspondam aos requisitos dos fabricantes dos moldes e às dos seus utilizadores. Essas características são apresentadas na Tabela 3, e nem sempre coincidem [18].

Tabela 3 - Características do aço para moldes para plástico exigidas pelo fabricante e pelo utilizador [18].

<b>Características do aço exigidas pelo fabricante</b>	<b>Características do aço exigidas pelo utilizador</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excelente maquinabilidade;</li> <li>• Elevada aptidão para o polimento;</li> <li>• Elevada aptidão para EDM e/ou texturização;</li> <li>• Estabilidade dimensional nos tratamentos térmicos;</li> <li>• Aptidão para tratamentos superficiais;</li> <li>• Ausência de defeitos interiores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevada resistência ao desgaste;</li> <li>• Dureza de trabalho adequada;</li> <li>• Boa resistência à corrosão (se necessária);</li> <li>• Elevada resistência à compressão e boa tenacidade;</li> <li>• Tensão de rutura suficiente;</li> <li>• Boa condutividade térmica.</li> </ul>

Os diferentes elementos de liga influenciam, de forma resumida, as características dos aços para moldes para plásticos da seguinte forma [18]:

- Carbono (C) aumenta a dureza;
- Crómio (Cr) e o vanádio (V) aumentam a resistência ao desgaste;
- Níquel (Ni) aumenta a tenacidade;
- Tungsténio (W) e o molibdénio (Mo) aumentam a resistência e a dureza a quente;
- Crómio (Cr) e manganês (Mn) melhoram a estabilidade dimensional e a profundidade de têmpera;
- Crómio (Cr) e o níquel (Ni) melhoram a resistência à corrosão.

Importa também salientar que as características do material plástico a injetar também influenciam a escolha da qualidade de aço a utilizar [18].

Desta forma, para casos de pouca exigência para as placas que compõem a estrutura do molde, são geralmente utilizados aços sem liga e com cerca de 0,45% de carbono, com uma resistência (tensão de rotura à tração) de 600 a 700 N/mm<sup>2</sup>. Nos casos de maior exigência, utilizam-se aços de pouca liga e já tratados, com uma dureza entre 290 e 330 HB e uma resistência de 980 a 1120 N/mm<sup>2</sup> [18].

Nos elementos moldantes há uma grande variedade de situações, pelo que se podem utilizar, em casos onde não há garantia do sucesso do tratamento térmico, aço pré-tratado com dureza entre 270 e 380 HB e resistência de 910 a 1300 N/mm<sup>2</sup> [18].

A Tabela 4 apresenta alguns aços normalmente utilizados em moldes para plásticos, a sua dureza e principais aplicações.

Tabela 4 - Aços utilizados em moldes para plásticos, dureza e principais aplicações [19].

Material (W. Nr.º)	Dureza (HB máx.)	Aplicações principais
1.2767	285	Moldes para plástico, à exceção dos corrosivos e/ou abrasivos;
1.2738	320 a 360	Moldes de injeção de plástico que exijam melhor maquinabilidade, fiabilidade, condutividade térmica e soldabilidade;
1.1730	207	Estruturas para moldes;
1.2311	270 a 325	Moldes para plásticos executados em peças até 400 mm de espessura; Estruturas para moldes.

Na indústria dos moldes, muitos dos materiais utilizados são, após a maquinagem, submetidos a um ou mais tratamentos com o objetivo de melhorar as suas propriedades mecânicas e, conseqüentemente, proporcionar melhores resultados em funcionamento. A importância do tratamento cresce se considerarmos que é geralmente efetuado numa altura em que já foi investido enorme valor em material e em tempo de maquinagem, sendo o insucesso do tratamento neste momento, motivo de perdas elevadas para o processo de fabrico [18].

Os tratamentos mais utilizados nos moldes para plástico são os tratamentos térmicos, os tratamentos termoquímicos e os tratamentos superficiais [18]:

- **Tratamentos térmicos:** processos térmicos que consistem em submeter o aço a aquecimento, estágio e arrefecimento, com o objetivo de modificar a sua estrutura para melhorar as suas características mecânicas, sem nunca alterar a sua composição química. Os tratamentos térmicos mais utilizados nos moldes para plásticos são o recozimento de distensão, a têmpera, o tratamento Sub-zero e o revenido;

- **Tratamentos termoquímicos:** para além de submeterem o aço a aquecimento, estágio e arrefecimento para melhorar as suas características mecânicas, à semelhança dos tratamentos térmicos, também modificam a composição química de uma película superficial da peça. A cementação e a nitruração são exemplos de tratamentos termoquímicos;
- **Tratamentos superficiais:** são os tratamentos mais recentes e consistem num depósito na superfície da peça a tratar, a fim de melhorar as qualidades desta, sem alterar a composição química do material. A cromagem dura, niquelagem, PVD (*Physical Vapor Deposition*) e CVD (*Chemical Vapor Deposition*), são exemplos de tratamentos superficiais utilizados para melhorar a dureza, a resistência ao desgaste e a resistência à corrosão dos moldes.

### Tipos de moldes de injeção

Os moldes de injeção podem-se apresentar de diferentes formas, sendo as mais comuns [6, 8]:

- Molde de duas placas;
- Molde de três placas;
- Molde *sandwich*;
- Molde bi-material.

O molde de duas placas, ilustrado na Figura 9, é a forma mais convencional e consiste numa parte fixa e em outra parte móvel, como já apresentado anteriormente. Durante a abertura do molde, é criado espaço e acionado o sistema de extração, sendo a peça posteriormente retirada pela ação da gravidade, ou por um robô [6, 8].

Estes moldes apresentam como vantagens a facilidade de desenvolvimento e um baixo custo, quando comparado com as restantes soluções.

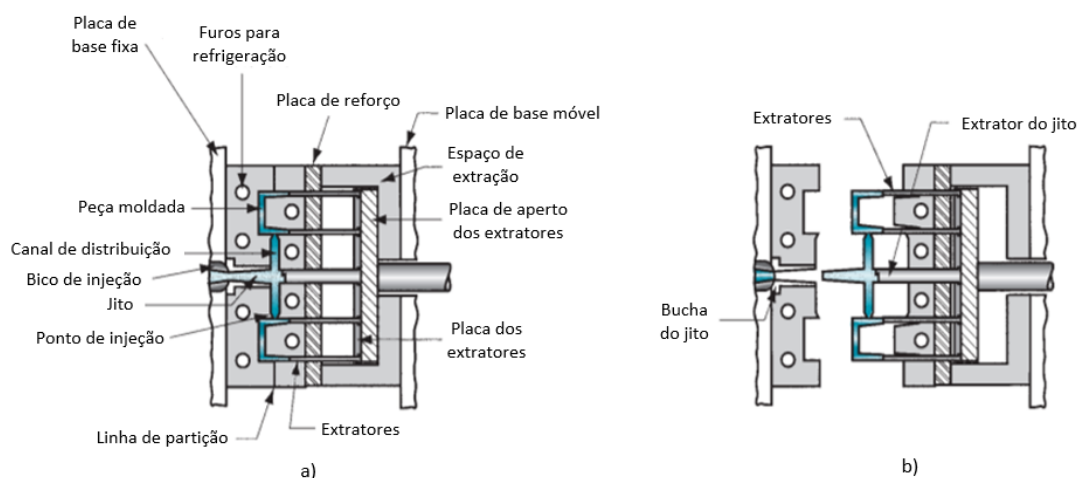


Figura 9 - Ilustração de um molde de duas placas fechado (à esquerda) e aberto (à direita) (adaptado de [8]).

Os moldes de três placas apresentam, como o nome indica, três partes, uma fixa, uma flutuante e uma móvel (ver Figura 10). A particularidade destes moldes consiste no facto de, após a injeção, os canais de alimentação ficarem separados do produto final, sendo por isso adequados a moldações com múltiplos pontos de injeção. A desvantagem destes moldes assenta no desperdício de material e no elevado custo de desenvolvimento, quando comparado com o molde de duas placas, por exemplo [6, 8].

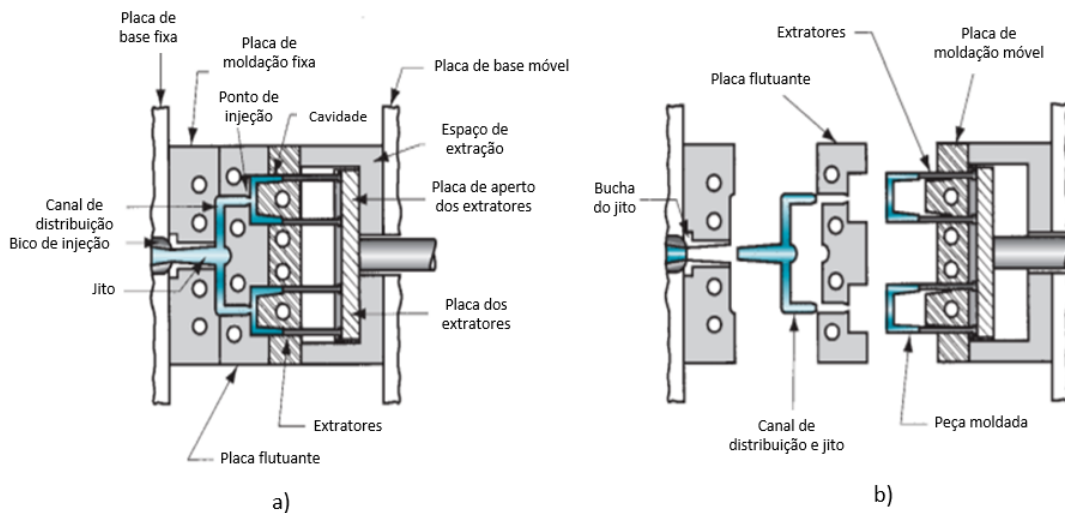


Figura 10 - Ilustração de um molde de três placas fechado (à esquerda) e aberto (à direita) (adaptado de [8]).

Os moldes *sandwich* permitem duplicar o número de peças moldadas utilizando a mesma força de fecho da máquina de injeção, mas apresentam, também, maiores custos de desenvolvimento, e os moldes bi-material são moldes que se adequam a peças com dois ou mais materiais diferentes, ou de cor diferentes.

### 2.1.3 Processos de fabrico associados à produção de moldes

O processo de fabrico mais utilizado na produção de moldes é o processo de maquinagem, que representa cerca de 30% dos custos totais de fabricação do molde [18].

O processo de maquinagem é utilizado para obter peças de geometria simples ou complexa, recorrendo à ação mecânica de uma ferramenta de corte para remover, sob a forma de aparas, o material não necessário à forma pretendida. Divide-se num grande grupo de processos de fabrico, sendo os mais utilizados na produção de moldes a fresagem, o torneamento, a furação, a retificação e a electroerosão, fazendo este último parte dos processos “não tradicionais” de maquinagem, por ser mais recente e por recorrer a outras fontes de energia que não a energia mecânica utilizada nos processos tradicionais.

A seleção do processo de maquinagem e da máquina-ferramenta adequada, deve considerar os seguintes fatores [20]:

- Forma da superfície a obter;
- Dimensão da peça;
- Precisão pretendida;
- Série de peças a produzir;
- Análise económica da série a produzir.

A Tabela 5 apresenta as principais vantagens e desvantagens destes processos, em comparação com outros processos metalúrgicos concorrentes, como a fundição e o forjamento.

Tabela 5 - Vantagens e limitações dos processos de maquinagem [9, 20].

<b>Vantagens</b>	<b>Limitações</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bom acabamento superficial;</li> <li>• Precisão dimensional;</li> <li>• Elevada flexibilidade;</li> <li>• Fabricação de peças de qualquer forma a partir de um bloco de material;</li> <li>• A produção de peças individuais é viável.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixo nível de produtividade na produção de grandes séries (em alguns casos);</li> <li>• Elevado custo de ferramentas e equipamentos;</li> <li>• Mão-de-obra qualificada;</li> <li>• Elevada quantidade de material removido.</li> </ul>

Processos mais recentes, como a manufatura aditiva, revelam-se mais dispendiosos do que a fresagem em alto avanço. Este facto deve-se sobretudo aos elevados tempos de impressão da manufatura aditiva, e denota a relevância e imprescindibilidade dos processos de maquinagem [21, 22].

Apresenta-se, de seguida, um breve resumo dos processos de fresagem e furação, por serem alvo de estudo do presente trabalho.

### **Fresagem**

A fresagem é uma operação onde o material é retirado por uma ferramenta rotativa de múltiplas arestas (fresa). Em cada rotação do eixo, a ferramenta levanta uma ou várias pequenas porções de material (aparas), dependendo do número de lâminas de corte da ferramenta. Esta operação é realizada numa fresadora e permite a realização de formas geométricas complexas, boa tolerância dimensional e bom acabamento superficial [9, 20].

É com recurso à fresagem que se maquinam, por exemplo, os elementos moldantes dos moldes de injeção.

As fresadoras podem ser convencionais ou por comando numérico computadorizado (CNC), e classificadas como verticais ou horizontais, em função da posição do eixo da árvore. São apresentadas na Figura 11 uma operação típica de fresagem e uma fresadora.



Figura 11 - Ilustração de uma operação típica de fresagem (à esquerda) e uma fresadora (à direita) [8, 23].

## Furação

As operações de furação possibilitam a abertura, alargamento e/ou acabamento de furos, e podem ser realizadas em máquinas-ferramenta apenas destinadas à execução de furos (designadas por furadora ou mandriladora), ou em fresadoras e tornos, como suplemento das operações de fresagem e torneamento [9, 20].

As mandriladoras, à semelhança das fresadoras, podem ser convencionais ou por CNC, e são bastante utilizadas na realização dos furos do sistema de transferência de calor dos moldes de injeção, por se tratarem de furos compridos (furações profundas).

A Figura 12 apresenta uma mandriladora e ilustra uma operação típica de furação. Nas fresadoras, as operações de furação são bastante utilizadas na maquinagem de furos passantes, alojamentos para parafusos e roscas para a fixação das peças, na maquinagem das guias e casquilhos do sistema de guiamento e centramento do molde para plásticos, e noutras situações onde são necessários furos passantes ou cegos, como são o caso dos furos para a passagem dos extratores.

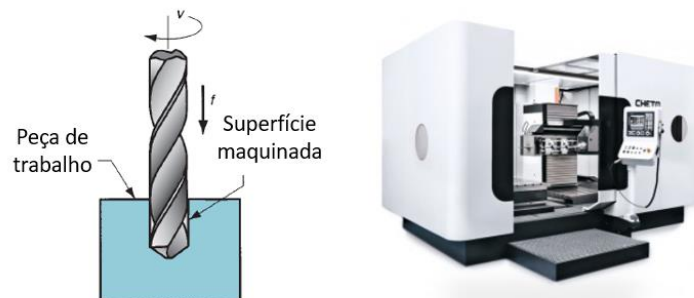


Figura 12 - Ilustração de uma operação de furação (à esquerda) e uma mandriladora (à direita) [8, 24].

## Outros processos de maquinagem

A Tabela 6 apresenta os outros processos de maquinagem mencionados, fundamentais ao fabrico de moldes, mas que não são abordados na componente prática deste relatório

Tabela 6 - Outros processos de maquinagem utilizados no fabrico de moldes de injeção [9, 20].

Processo	Descrição	Aplicações
Torneamento	Operação onde a peça roda em torno do eixo da máquina, enquanto uma ferramenta de corte retira o material da periferia;	- Guias; - Casquilhos; - Cavilhas; - Suportes-pilar;
Retificação	Operação de maquinagem por abrasão através da utilização de mós abrasivas, com o propósito de obter melhor acabamento superficial e/ou maior precisão dimensional;	- Placas; - Guias; - Casquilhos; - Cavilhas;
Electroerosão	Remove o material através de sucessivas descargas elétricas entre um eléctrodo, maquinado com a forma que se pretende criar, e a peça. É utilizado em situações onde a complexidade e o pormenor do detalhe a maquinar torna impossível o corte por arranque de apara.	- Zonas moldantes; - Postiços.

## 2.2 MAQUINAGEM

### 2.2.1 Maquinagem aplicada às estruturas de moldes de injeção

O fabrico das estruturas de moldes de injeção é então realizado com recurso à maquinagem, com foco especial nas operações de fresagem e furação. As operações de furação profunda dos sistemas de transferência de calor são geralmente delegadas para mandriladoras.

O sucesso de um processo de maquinagem depende da correta articulação das diferentes variáveis envolvidas, como se pode constatar no diagrama apresentado na Figura 13, que esquematiza as possíveis entradas e saídas de um processo de maquinagem de estruturas de moldes de injeção exemplo. Estas variáveis ocorrem em simultâneo ao longo de todo o processo, e não de forma isolada, o que aumenta a complexidade deste método de fabrico.

O início do processo ocorre na recepção das propriedades e geometria da peça/componente a produzir, normalmente fornecidos pelo cliente ou gabinete de projeto e elaborados com recurso a *software* especializado de CAD. Esta informação será futuramente utilizada pela metrologia que verificará, na última fase do processo, se a peça produzida se encontra conforme, e pela programação CAM que irá definir os movimentos da ferramenta de corte ao longo de cada um dos eixos da fresadora, através de um controlo numérico computadorizado (ver Figura 14). É nesta fase do processo que se seleccionam as melhores estratégias de maquinagem e ferramentas, para que a peça sofra a transformação do estado bruto para produto final.

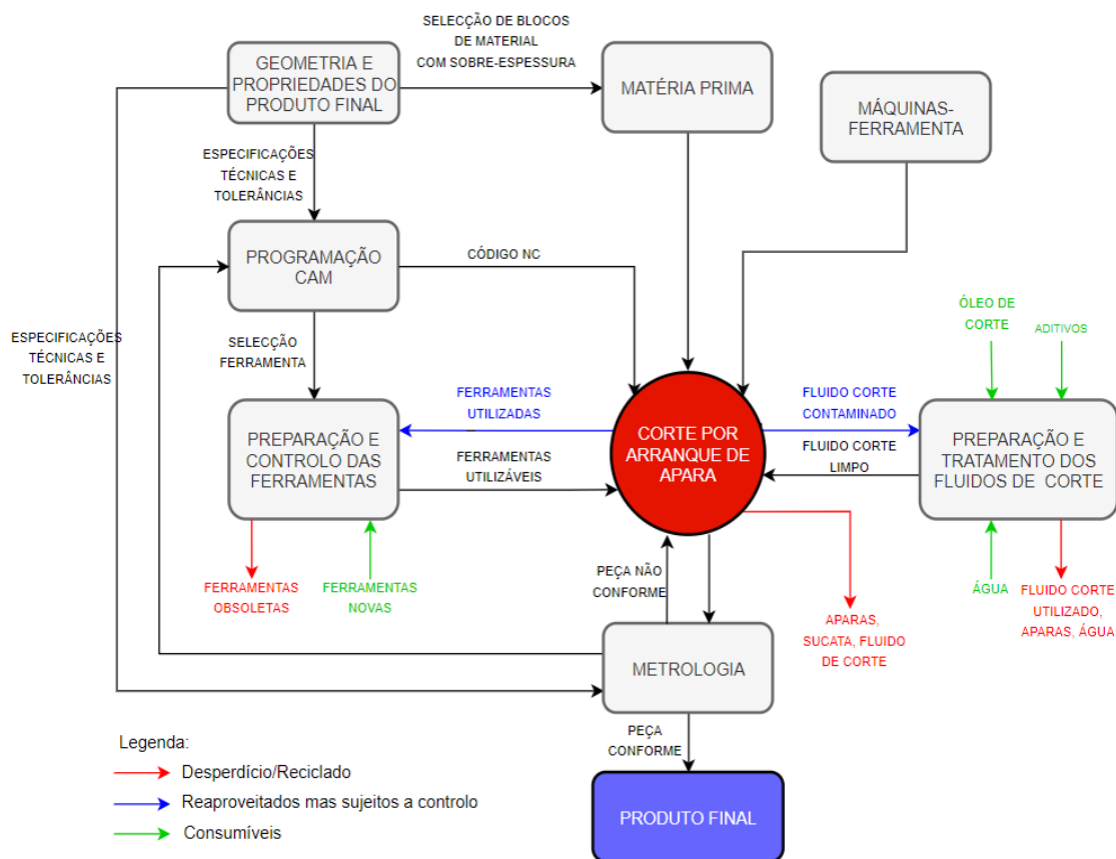


Figura 13 - Diagrama do funcionamento de um processo de maquinagem (exemplo).

As informações sobre as propriedades e geometria do produto final, permitem também definir as dimensões do bloco de material a maquinar. A essas dimensões, é normalmente acrescentada uma sobre-espessura (*stock*), de forma a garantir o corte uniforme ao longo de toda a peça. O bloco de material a maquinar pode ter como origem processos de fabrico primários (fundição, forjamento, laminagem, extrusão ou pulverometalurgia), ou pode ser um semi-produto comercial (barras, varões, tubos, etc...) [20].

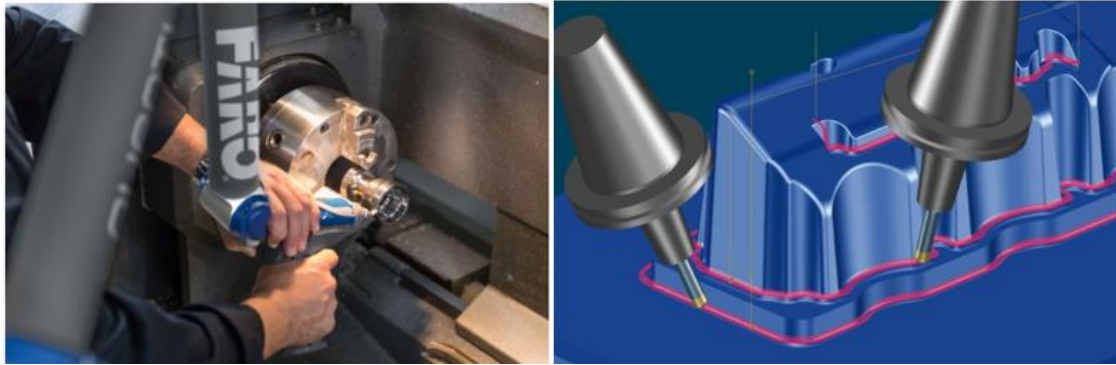


Figura 14 - Braço de medição FARO® utilizado no controlo dimensional e verificação das peças produzidas (à esquerda) e *software* de programação CAM (à direita) [25, 26]

As máquinas-ferramenta desempenham também elas um papel fundamental durante o processo de maquinagem, sendo nelas que o corte ocorre. Vários foram os desenvolvimentos tecnológicos desde as fresadoras convencionais que surgiram no século XIX, até aos centros de maquinagem mais recentes. Esta evolução, fruto da necessidade de fabrico de peças mais complexas e com maior rigor dimensional, passou sobretudo pela otimização e automatização de operações que tornaram os processos de maquinagem mais rápidos, fiáveis e versáteis. Os centros de maquinagem mais recentes apresentam geralmente as seguintes funções:

- Armazém de ferramentas;
- Troca automática de ferramentas;
- Sistema de medição de ferramentas;
- Eixos suplementares;
- Sistema de alimentação de material;
- Sistema de escoamento e remoção de aparas;
- Sistemas de lubrificação/refrigeração avançados.

As fresadoras e os centros de maquinagem podem ser, simplifadamente, classificadas como verticais (árvore no sentido vertical) ou horizontais (árvore no sentido horizontal), em função da posição do eixo da árvore. A Figura 15 apresenta o esquema de uma fresadora vertical que permite a execução de diversos trabalhos. As fresadoras horizontais, por sua vez, são as mais indicadas para trabalhos de fresagem de alto avanço e de desbaste, por facilitarem, devido à ação da gravidade, a remoção da apara [27].

As ferramentas de corte, aprofundadas mais à frente, são selecionadas em função da estratégia de maquinagem escolhida pela programação CAM e são as principais responsáveis pelo corte de material. O trabalho destas no processo de maquinagem é cíclico e limitado ao seu tempo de vida útil.

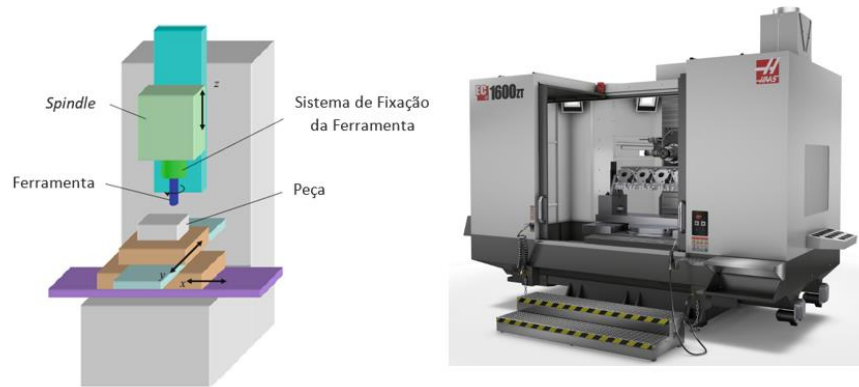


Figura 15 - Esquema de uma fresadora vertical (à esquerda) e de um centro de maquinagem horizontal (à direita) [27, 28].

Os fluidos de corte, têm a função de refrigerar ou lubrificar o corte, otimizando o trabalho das ferramentas de corte e, conseqüentemente, de todo o processo de maquinagem. Podem ser utilizados diferentes sistemas para auxiliar o corte por arranque de apra, resultando nos seguintes tipos de corte: corte lubrificado, corte a seco, MQL (Quantidade Mínima de Lubrificante) e corte criogénico.

A utilização de fluidos de corte convencionais tem-se revelado uma ameaça para o meio ambiente e para a saúde dos operadores. Para além disso, representam uma parte significativa dos custos totais de produção [29]. Dessa forma, a utilização de lubrificantes sólidos e do corte criogénico têm sido alvo de vários estudos, apresentados na Tabela 7, que os sugerem como boas alternativas aos fluidos de corte convencionais.

Tabela 7 - Estudos sobre alternativas aos fluidos de corte convencionais.

Referência	Descrição
[30]	Os autores estudam a utilização de lubrificantes sólidos numa operação de torneamento, verificando que esta é uma alternativa económica e ecológica ao corte a seco e corte lubrificado. O aumento da maquinabilidade registado com o lubrificante sólido oferece melhores taxas de remoção de material e maior qualidade da superfície maquinada;
[29]	É estudada a utilização de MQSL (Quantidade Mínima de Lubrificante Sólido) durante a maquinagem de Inconel® 718, registando-se um aumento do tempo de vida das ferramentas de corte, assim como uma diminuição da rugosidade da superfície maquinada, em comparação com o corte a seco, lubrificado e MQL;
[31]	Os autores comparam a utilização de corte criogénico e corte lubrificado numa operação de torneamento. Verifica-se um menor desgaste de cratera, consumo de energia e rugosidade superficial, assim como uma diminuição dos custos de maquinagem e das emissões de carbono no corte criogénico.

Muitas vezes negligenciado, o sistema de fixação da peça, desempenha um papel de elevada importância no processo de corte por arranque de aparas. Em primeiro lugar, é responsável por definir a posição da peça antes e durante a maquinagem, devendo garantir que esta é capaz de suportar as cargas geradas no processo de corte, sem afetar a qualidade final do produto. Em segundo, deve permitir uma montagem rápida e fácil de uma ou mais peças, de forma a reduzir os tempos de *setup* e, conseqüentemente, os custos do processo [22].

Os sistemas de fixação ganham especial importância quando o número de peças a produzir é elevado, sendo normalmente desenvolvidos gabaritos que permitem reduzir o tempo de *setup* e o número de operações necessárias, salvaguardando a qualidade do produto final e garantindo margens de lucro superiores para as empresas [22, 32, 33].

Como já referido anteriormente, as placas dos moldes de injeção são geralmente produzidas em séries de um, o que representa mais uma dificuldade para a orçamentação da maquinagem das mesmas.

### 2.2.2 Cinemática

#### Graus de Liberdade

Na fresagem, a ferramenta de corte apresenta-se montada num sistema de fixação que está, por sua vez, conectado a um eixo rotativo de uma máquina-ferramenta, conhecido como *spindle*, e que tem como principal função dotar a ferramenta de corte de rotação, binário e energia. São então geralmente utilizados entre 3 a 5 eixos para controlar o movimento da ferramenta de corte em relação à peça de trabalho. Os três eixos principais são lineares, perpendiculares entre si e designados pelas letras X, Y e Z, sendo o último o eixo correspondente ao da ferramenta de corte e da árvore da máquina. Os eixos X e Y formam um triedro direto com o eixo Z e correspondem ao plano da mesa de trabalho, sendo o eixo Y, geralmente, o mais curto dos dois (ver Figura 16) [27].

Para a produção de formas mais complexas, existem fresadoras com até dois eixos de liberdade adicionais, rotativos em torno de X, Y ou Z e representados por A, B e C, respetivamente. Os sistemas de eixos adicionais podem ser de dois tipos: contínuos ou indexantes. No primeiro caso, o eixo movimenta-se durante o corte, enquanto no sistema indexante, o eixo roda apenas quando não existem movimentos de corte. A principal vantagem do sistema contínuo reside no facto de permitir a realização de superfícies complexas, de otimizar os tempos de maquinagem e de facilitar o alcance da ferramenta. O sistema indexante, por sua vez, tem um preço mais baixo [27].

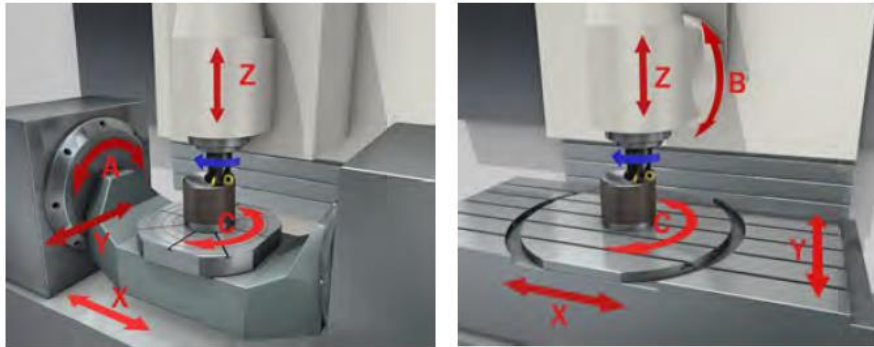


Figura 16 - Possíveis configurações de centros de maquinagem verticais [34].

As máquinas-ferramentas destinadas à fresagem, podem ser classificadas de diversas formas:

- Máquina de 3 eixos;
- Máquina de 3+1 eixos (sistema indexante);
- Máquina de 4 eixos contínuos;
- Máquina de 3+2 eixos (sistema indexante);
- Máquina de 5 eixos contínuos.

Recentemente, tem sido dada especial atenção às máquinas de 6 eixos que podem ser aplicadas, por exemplo, na produção de engrenagens cónicas em espiral, largamente utilizadas na indústria aeronáutica e automóvel. Para além da elevada flexibilidade, estas máquinas permitem a produção de peças com formas complexas, utilizando uma única montagem [35, 36].

## Movimentos

Os movimentos que a ferramenta de corte executa no decorrer do processo de maquinagem, podem ser divididos em movimentos que provocam formação da peça (principais), e nos que não provocam formação da peça (auxiliares) (ver Figura 17). A cada um dos movimentos principais corresponde respetivas direções, percursos e velocidades [37].

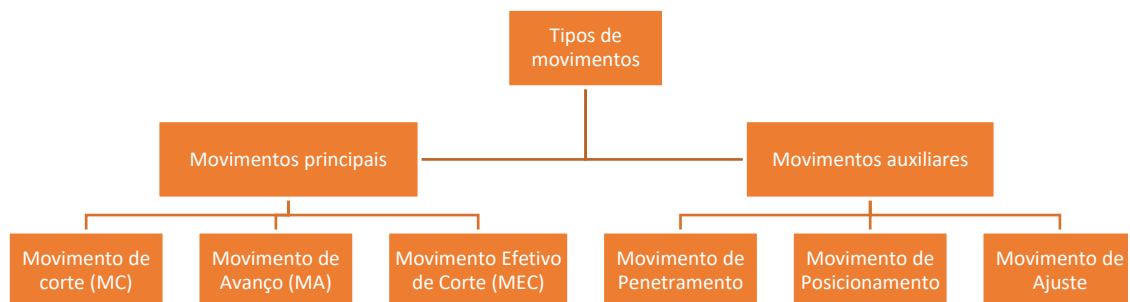
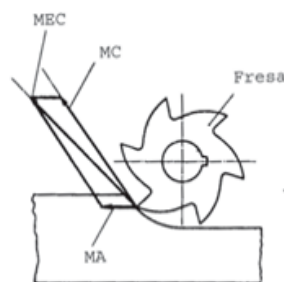


Figura 17 - Tipos de movimentos [37].

A Tabela 8 apresenta a caracterização de cada um dos movimentos que provocam a formação da apara e a Figura 18 ilustra os mesmos [37].

Tabela 8 - Caracterização dos movimentos que promovem a formação da apara [37].

Movimentos principais	Características
Movimento de corte (MC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Movimento entre a peça e a ferramenta;</li> <li>- Origina apenas uma remoção de apara;</li> <li>- Não permite que novas porções de material sejam retiradas;</li> </ul>
Movimento de avanço (MA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Movimento entre a peça e a ferramenta;</li> <li>- Provoca, simultaneamente com o movimento de corte, um levantamento repetido ou contínuo da apara;</li> </ul>
Movimento efetivo de corte (MEC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Movimento resultante da composição do movimento de corte e avanço.</li> </ul>



MC – Movimento de corte;  
 MA – Movimento de avanço;  
 MEC – Movimento efetivo de corte.

Figura 18 - Ilustração dos movimentos que promovem a formação da apara [37]

Os movimentos que não provocam a formação da apara (auxiliares), encontram-se caracterizados na Tabela 9.

Tabela 9 - Caracterização dos movimentos que não promovem a formação da apara (auxiliares) [37].

Movimentos Auxiliares	Características
Movimento de penetramento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Movimento entre a peça e a ferramenta;</li> <li>- Determina a espessura da camada de material a ser retirada;</li> </ul>
Movimento de posicionamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Movimento entre a peça e a ferramenta;</li> <li>- Define, antes da operação de maquinagem, o movimento de aproximação da ferramenta à peça;</li> </ul>
Movimento de ajuste	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Movimento de compensação do desgaste da ferramenta de corte.</li> </ul>

Estes movimentos permitem compreender os parâmetros de corte, definidos em função do material a maquinar, da ferramenta de corte, do tipo de operação pretendida e da potência disponibilizada pela fresadora.

### 2.2.3 Parâmetros de corte

Apresentam-se na Figura 19 os principais parâmetros de corte em fresagem.

#### Velocidade de rotação

A velocidade de rotação da ferramenta de corte ( $n$ ) corresponde ao número de rotações que a ferramenta executa por minuto. É usualmente apresentada em rotações por minuto (rpm) e pode ser calculada pela expressão seguinte:

$$n = \frac{V_c * 1000}{\pi * D_c} \quad (1)$$

Onde  $V_c$  é a velocidade de corte da ferramenta e  $D_c$  o diâmetro de corte da ferramenta.

A velocidade de rotação, assim como o avanço e o nível de desgaste da ferramenta, é o parâmetro que mais influencia a qualidade superficial da superfície maquinada [38].

#### Velocidade de corte

A velocidade de corte ( $V_c$ ) representa a velocidade superficial a que a aresta de corte trabalha sobre a peça e é tanto menor quanto maior for a dureza ou a resistência à tração do material a maquinar. É geralmente expressa em m/min e pode ser calculada da seguinte forma [39].

$$V_c = \frac{n * \pi * D_c}{1000} \quad (2)$$

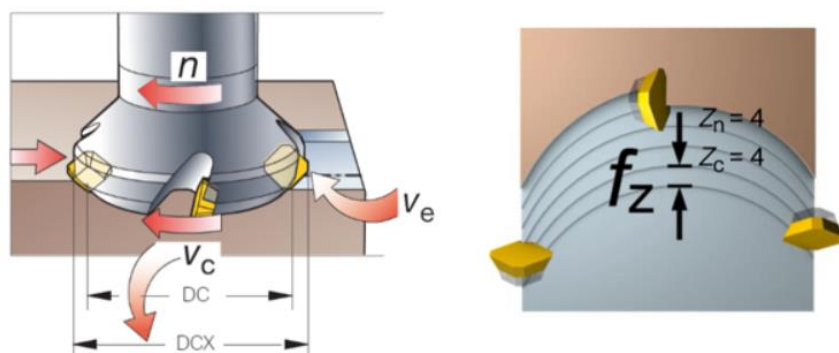


Figura 19 - Representação dos principais parâmetros de corte em fresagem [34]

Como os valores da velocidade de corte e de rotação são dependentes um do outro, os fabricantes de ferramentas indicam geralmente dois valores para a velocidade de corte, um mínimo e outro máximo, em função do material a maquinar [39].

A velocidade efetiva de corte ( $V_e$ ) refere-se à velocidade do movimento efetivo de corte e é comumente apresentada em m/min.

O diâmetro de corte máximo ( $D_{CX}$ ) e o diâmetro de corte ( $D_C$ ) correspondem, respetivamente, ao máximo diâmetro de corte e ao diâmetro de corte a uma profundidade de corte específica, e servem para o cálculo da velocidade de corte e velocidade efetiva de corte, respetivamente [34].

### Avanço

O avanço, ou avanço por rotação, ( $f_n$ ) corresponde ao deslocamento relativo, na direção de avanço, da ferramenta de corte e da peça para uma rotação. É especialmente importante porque permite determinar a capacidade de acabamento superficial produzido pela fresa. Em ferramentas com múltiplas arestas de corte, o avanço é calculado de acordo com a expressão seguinte [37].

$$f_n = f_z * z_c \quad (3)$$

Onde  $z_c$  é o número de dentes ou arestas de corte e  $f_z$  o avanço por dente, que corresponde ao percurso de cada dente, medido na direção do avanço da ferramenta (ver Figura 19).

Conhecidos os valores da velocidade de rotação e do avanço, é possível calcular o valor do avanço por minuto ( $V_f$ ) que corresponde ao avanço da ferramenta em relação à peça, em unidade de distância por tempo. Pode também ser designado como avanço da mesa, avanço da máquina ou velocidade de avanço. O seu valor pode ser calculado de acordo com a equação seguinte:

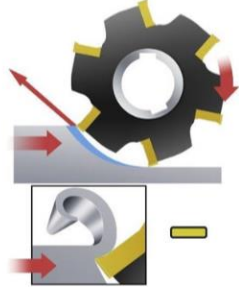
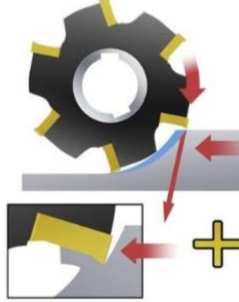
$$V_f = f_z * z_c * n \quad (4)$$

O avanço por dente ( $f_z$ ) corresponde à distância linear percorrida pela ferramenta enquanto um determinado dente está em processo de corte, e permite definir o avanço da mesa no processo de fresagem. O seu valor pode ser calculado pela expressão seguinte:

$$f_z = \frac{V_f}{n * z_c} \quad (5)$$

O movimento de avanço do material em direção à fresa pode ser concordante ou discordante. No primeiro cenário, o material move-se na mesma direção do movimento de rotação da ferramenta, enquanto no segundo, o material move-se na direção contrária ao do movimento de rotação da ferramenta. A Tabela 10 apresenta as características de cada um destes movimentos.

Tabela 10 - Principais características dos movimentos concordante e discordante [34]

Movimento	Características
<b>Discordante</b> <i>(Up/Conventional milling)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menos recomendado;</li> <li>- Pode provocar quebra da ferramenta;</li> <li>- A espessura da avara começa em zero e aumenta até ao final do corte;</li> </ul> 
<b>Concordante</b> <i>(Down/Climb milling)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mais recomendado;</li> <li>- A espessura da avara vai diminuindo ao longo do corte;</li> <li>- Forças de corte tendem a “empurrar” a peça para a ferramenta de corte;</li> <li>- Menor temperatura de corte e menor tendência para encruamento do material a maquinar.</li> </ul> 

Embora o movimento concordante seja de uso corrente na indústria de maquinaria, nem sempre é o movimento mais adequado. Na Tabela 11 estão descritos alguns estudos de diferentes autores sobre o movimento concordante e discordante.

Tabela 11 - Estudos sobre os movimentos concordante e discordante

Autor	Descrição
[40]	Para um aço C45, concluiu-se que paredes de pequena espessura maquinadas com movimento discordante apresentam menor rugosidade e, conseqüentemente, melhor qualidade superficial do que as paredes maquinadas com movimento concordante;
[41]	Pastilhas de carboneto de tungsténio revestidas por processo PVD, apresentam desgaste a um ritmo inferior, quando utilizadas em movimento discordante durante a maquinaria da liga de níquel Inconel 718;

- [42] Na maquinagem de aço inoxidável AISI 304 L, as pastilhas utilizadas com movimento concordante apresentaram menor esforço no momento de entrada no material, permitindo maiores ângulos de entrada do que as pastilhas utilizadas com movimento discordante, que apresentaram um desgaste mais acelerado;
- [43] Para um aço P20, verificou-se que, para determinadas condições de velocidade de rotação, a rugosidade superficial utilizando o movimento concordante pode ser menor que a rugosidade superficial produzida por um movimento discordante.

### Profundidade de corte radial e axial

O penetramento, perpendicular às direções de avanço e de corte, corresponde à espessura da camada de material retirado em cada uma das direções, e pode ser distinguido entre o penetramento radial ( $p_r$ ) e o penetramento axial ( $p_a$ ), sempre que sejam utilizadas ferramentas rotativas de arestas múltiplas, como é o caso da fresagem.

O penetramento radial, também designado por largura de corte e representado por  $a_e$ , é medido, no caso da fresagem, sobre o diâmetro da ferramenta, podendo ser no máximo igual ao diâmetro da ferramenta. Corresponde assim à largura da peça que se encontra sob ação do diâmetro da fresa (ver Figura 20) [37].

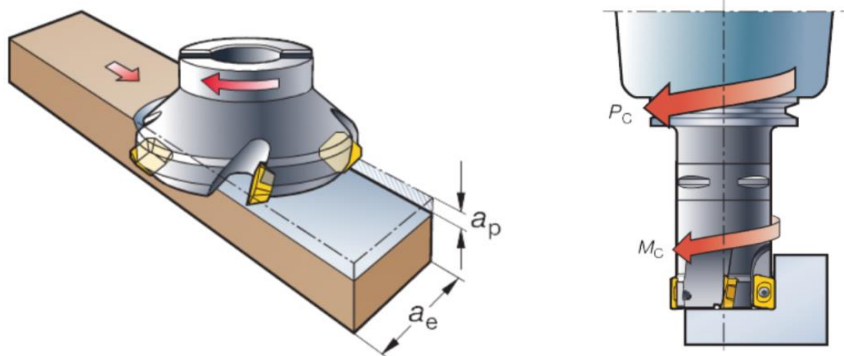


Figura 20 - Representação da profundidade de corte axial e radial (à esquerda) e da potência útil de corte e momento (à direita) [34].

A largura de corte utilizada pode tomar diversos valores, em função da estratégia de maquinagem utilizada, e tem especial importância no desempenho da ferramenta de corte. A Tabela 12 apresenta as características para cada valor utilizado.

O penetramento axial, por sua vez, é medido paralelamente ao eixo de rotação da ferramenta e corresponde à espessura no sentido axial de material que é removido da peça. É a distância a que a ferramenta se encontra abaixo da superfície que está por maquinar. Também pode ser designado por profundidade de corte e representado por  $a_p$  [37].

Tabela 12 - Influência da largura de corte no processo de maquinagem [34].

Largura de corte	Características	
$a_e > 70\% D_C$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Situação mais recomendada;</li> <li>- Maior uso do diâmetro da ferramenta;</li> <li>- A aresta de corte tem uma saída gradual;</li> <li>- O impacto inicial da entrada em corte é dispersado ao longo da aresta de corte;</li> </ul>	
$a_e < 25\% D_C$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O ângulo de entrada é positivo;</li> <li>- O impacto inicial da entrada em corte é dispersado ao longo da ferramenta;</li> </ul>	
$a_e = 50\% D_C$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Situação menos recomendada;</li> <li>- O impacto inicial da entrada em corte é muito elevado.</li> </ul>	

A potência útil de corte ( $P_C$ ) é a potência que a máquina-ferramenta deve garantir para que a ferramenta selecionada execute as operações de maquinagem (ver Figura 20). É expresso em kW e pode ser calculada pela fórmula:

$$P_C = \frac{a_p * a_e * V_f * k_C}{60 * 10^6} \quad (6)$$

Onde  $k_C$  é a força específica de corte.

O momento ( $M_C$ ) produzido pela ferramenta durante o corte e que a máquina deve ser capaz de garantir, é calculado pela fórmula seguinte:

$$M_C = \frac{P_C * 30 * 10^3}{\pi * n} \quad (7)$$

A taxa de remoção de apra ( $Q$ ) pode ser calculada pela equação (8) e corresponde ao volume de material removido durante um determinado intervalo de tempo.

$$Q = \frac{a_p * a_e * V_f}{1000} \quad (8)$$

A escolha dos parâmetros de corte adequados, para além de salvaguardar a operação de corte, pode também permitir uma redução dos custos do processo e do consumo de energia. A Tabela 13 apresenta alguns estudos sobre a influência e otimização dos parâmetros de corte no consumo de energia de processos de maquinagem.

Tabela 13 - Estudos sobre a influência e otimização dos parâmetros de corte no consumo de energia.

Referência	Descrição
[44]	O artigo apresenta um modelo para estimar o consumo de energia de um processo de micromaquinagem. Com base no modelo proposto, são identificados os parâmetros de corte que permitem reduzir o consumo total de energia do processo. Os parâmetros identificados possibilitaram uma redução de 7,89% da energia consumida, em comparação com os parâmetros selecionados de forma empírica;
[45]	Os autores propõem uma metodologia para determinar o menor custo de maquinagem utilizando o método ABC ( <i>Activity-based Costing</i> ). O modelo proposto procura a velocidade de corte da ferramenta que permite o menor custo de maquinagem, tendo como base o desgaste da ferramenta de corte;
[46]	É desenvolvido um modelo que permite a otimização da energia consumida durante a fresagem de uma liga de titânio (Ti6Al4V), com base nos parâmetros de corte que requerem um menor consumo de energia, salvaguardando a operação de corte. Observou-se que o consumo de energia aumenta com o aumento da velocidade de corte e da profundidade de corte, mas com uma redução do avanço;
[47]	Os autores propõem um modelo para otimizar os parâmetros de corte, de forma a reduzir o consumo de energia e o custo das operações de maquinagem. Os resultados obtidos demonstram que o modelo proposto é fiável e eficaz, podendo constituir uma ferramenta útil para os operadores.

#### 2.2.4 Ferramentas de corte

Ao assumirem um papel de relevo na indústria da metalomecânica, os processos de maquinagem foram criando necessidades de qualidade e produção que se traduziram numa constante procura de ferramentas cada vez mais eficazes e capazes de suportar as condições de trabalho progressivamente mais severas.

Esta procura deve-se essencialmente ao facto de serem as ferramentas as principais responsáveis pelo corte de material, tendo um impacto significativo na rentabilidade económica e eficiência ecológica do processo. Todas as variáveis do processo dependem da produtividade que a ferramenta de corte permite [48].

Existe hoje no mercado uma grande variedade de ferramentas de corte, adequadas a aplicações muito específicas e classificadas em função da sua geometria, material e estratégia de maquinagem.

#### **Materiais para ferramentas de corte**

A seleção do correto material para a ferramenta de corte é muito importante em termos tecnológicos e económicos, pois a má seleção do mesmo pode implicar danos na ferramenta e/ou na peça a maquinar, que se traduzem em custos de produção desnecessários. As ferramentas de corte devem ter as seguintes características [37]:

- Elevada resistência ao desgaste;
- Elevada dureza a frio e a quente;
- Elevada tenacidade;
- Baixo coeficiente de atrito;
- Elevada condutividade térmica;
- Baixo coeficiente de dilatação.

A procura por um material que consiga juntar todas as características apresentadas é inglória, devendo-se, por isso, selecionar o material indicado a cada situação (ver Figura 21). Os materiais para ferramentas de corte mais utilizados são [37]:

- Aços rápidos (HSS – *High Speed Steel*);
- Carbonetos sinterizados (metal duro);
- “Cermets”;
- Cerâmicos;
- Ultraduros.

A Tabela 14 apresenta as características dos materiais mais utilizados para ferramentas de corte.

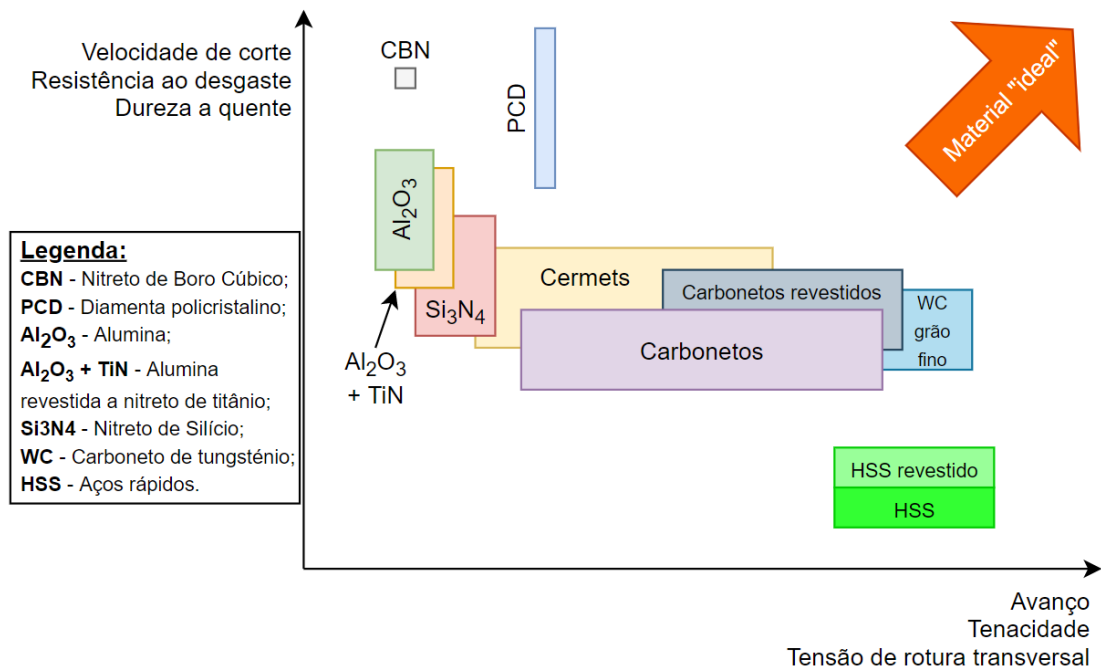


Figura 21 - Diversos materiais para ferramentas de corte de acordo com o seu campo de aplicação (adaptado de [37]).

## Revestimentos

A grande revolução dos últimos 30 anos na indústria do corte por arranque de apra dá-se com a introdução de revestimentos nas ferramentas de corte. Estima-se que 50% das ferramentas HSS, 85% dos carbonetos e 40% dos ultraduros utilizados hoje em dia são revestidos, sendo os carbonetos excelentes para todo e qualquer tipo de revestimentos [49].

Ferramentas revestidas são essenciais para a maquinação de materiais com baixa maquinabilidade [35].

Os revestimentos são camadas extremamente finas, realizadas em vácuo e submetidas a processos de deposição extremamente bem controlados. Podem ser colocadas numa única camada ou em múltiplas camadas, e procuram (ver Figura 22) [45, 46]:

- Aumento da dureza superficial da ferramenta de corte;
- Aumento da resistência ao desgaste;
- Redução do coeficiente de atrito e das forças de corte;
- Prevenir adesão de superfícies;
- Reduzir a quantidade de calor absorvido pela ferramenta de corte;
- Aumentar a resistência à corrosão e oxidação;
- Melhorar a qualidade superficial das formas maquinadas.

Tabela 14 - Materiais mais utilizados em ferramentas de corte e suas características [22, 14].

Materiais	Características
<b>Aços rápidos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Designam-se aços rápidos os aços temperáveis com uma composição química adequada ao fabrico de ferramentas de corte para maquinagem;</li> <li>- São a segunda classe de material mais utilizada na produção de ferramentas de corte;</li> <li>- Elevada tenacidade, bom comportamento em situações de corte interrompido e possibilidade de produzir ferramentas com formas complexas são as vantagens;</li> <li>- Velocidades de corte e avanços muito inferiores ao que os carbonetos sinterizados permitem é a principal desvantagem;</li> </ul>
<b>Carbonetos sinterizados (metal duro)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- São a classe de material para ferramentas de corte mais utilizada devido à possibilidade, através da variação da sua composição química, de diferentes combinações de dureza a frio e a quente, resistência ao desgaste e tenacidade;</li> <li>- São normalmente constituídos por carbonetos de tungsténio (WC), titânio (TiC), tântalo (TaC) e nióbio (NbC), que se encontram associados a um elemento aglomerante, normalmente cobalto, principal responsável pela tenacidade do material;</li> <li>- O processo de fabrico é a pulverometalurgia e são geralmente revestidos;</li> </ul>
<b>“Cermets”</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- São materiais formados por agregados de cerâmica numa matriz metálica, sendo a parte cerâmica normalmente constituída por compostos refratários não metálicos (TiC, TiN) e carbonetos (TaC, WC, NbC), enquanto a fase metálica é composta por Co, Ni ou Mo;</li> <li>- Desaconselhada a sua utilização em desbaste e maquinagem de ligas não ferrosas (Al, Cu, Ni);</li> <li>- Adequadas a operações de acabamento ou desbaste ligeiro de aços inoxidáveis e aços ao carbono e ligados;</li> <li>- Admitem velocidades de corte superiores às do metal duro, mas menores que os cerâmicos;</li> </ul>
<b>Cerâmicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- São os que apresentam maior dureza e destinam-se à maquinagem de ferros fundidos cinzentos, aços endurecidos e superligas de níquel (Inconel® e Incoloy®);</li> <li>- A baixa tenacidade impede a utilização destas ferramentas em operações de corte interrompido, sendo esta a sua principal limitação;</li> </ul>
<b>Ultraduros</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os principais metais duros utilizados são o nitreto de boro cúbico (CBN) e o diamante sintético policristalino (PCD);</li> <li>- O CBN é um material de elevada resistência a impactos, coeficiente de dissipação de calor e resistência à abrasão;</li> <li>- O PCD apresenta um preço elevado, mas um maior tempo de vida, e não deve ser utilizado na maquinagem de ligas ferrosas.</li> </ul>

Os dois processos de deposição mais utilizados para o revestimento de ferramentas de corte são a deposição química na fase de vapor (CVD) e a deposição física na fase de vapor (PVD). As partículas do revestimento pelo processo CVD são geradas através da reação química entre diferentes gases (hidrogênio, metano, etc.), enquanto no processo PVD, são projetadas partículas gasosas para um alvo que irá, devido à ação desse impacto, projetar partículas nas ferramentas de corte, formando uma camada de revestimento sobre o substrato [50].

Os revestimentos CVD foram os primeiros a surgir, são fabricados a temperaturas em torno dos 900°C e apresentam espessuras entre os 2 e os 20 µm. Permitem a realização de revestimentos grossos, de espessura uniforme, com boa aderência aos substratos de carbonetos, e com muito boa resistência ao desgaste e elevada resistência térmica [34].

Os revestimentos PVD, por sua vez, são realizados a temperaturas menores que os CVD (500°C), e também apresentam espessuras menores (2 a 6 µm). Estes revestimentos permitem manter a aresta de corte afiada e melhoram a sua tenacidade. Podem ainda ser utilizados em pontas soldadas [34].

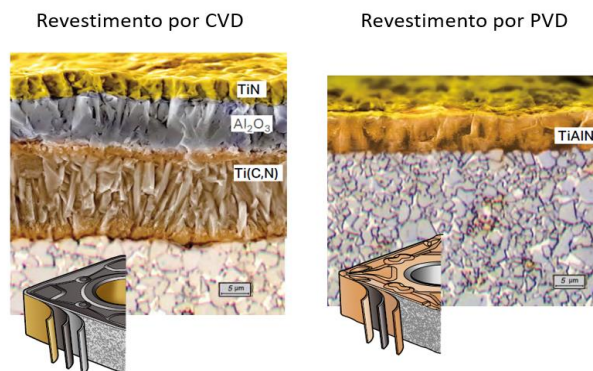


Figura 22 - Exemplo de pastilhas revestidas por CVD (à esquerda) e PVD (à direita) [34].

Parte da evolução dos processos de maquinagem deve-se, sobretudo, ao progresso registado no desempenho das ferramentas de corte, com a criação e implementação de revestimentos adequados às diferentes operações [35, 47]. A Tabela 15, apresenta as principais conclusões de alguns estudos sobre o desempenho das ferramentas de corte e revestimentos.

Tabela 15 - Estudos relativos ao desempenho das ferramentas de corte e revestimentos.

Referência	Descrição
[52]	Os autores estudam o comportamento de pastilhas de carboneto de tungstênio, com diferentes revestimentos e em condições severas de corte (desbaste), na maquinagem de um aço inoxidável super duplex. É concluído que as ferramentas revestidas com TiAlN por PVD apresentam melhor comportamento ao desgaste e produzem superfícies com menor rugosidade;

- [53] É avaliado o desempenho de pastilhas revestidas por PVD e CVD na maquinagem de aço inoxidável duplex, em operações de desbaste e com corte a seco. Através da análise da rugosidade da superfície maquinada, do desgaste das ferramentas de corte, e da monitorização das vibrações, verifica-se que as pastilhas revestidas por PVD apresentam um comportamento mais frágil e indicam mais potencial para operações de acabamento. As pastilhas revestidas por CVD, por sua vez, apresentam mais potencial para operações de desbaste devido ao fraco acabamento superficial registado;
- [54] Os autores procuram analisar o desgaste de ferramentas de nitreto de silício revestidas a diamante na maquinagem em alto avanço de ferro fundido cinzento. Verifica-se desgaste por difusão entre a ferramenta e a peça de trabalho. Regista-se ainda que o aumento do avanço contribui para o aumento das forças de corte e rugosidade da superfície maquinada;

### Tipos de ferramentas

As ferramentas de corte apresentam-se geralmente de duas formas diferentes: inteiriças (sólidas) ou intercambiáveis. As ferramentas inteiriças, como o nome indica, são um corpo sólido apertado no sistema de fixação da ferramenta, com as arestas de corte numa das extremidades. As intercambiáveis, por sua vez, são fresas onde são normalmente aparafusadas pastilhas responsáveis pelo corte do material. Existe uma outra variante das ferramentas intercambiáveis onde, ao invés de pastilhas se utilizam as zonas de corte das ferramentas inteiriças apertadas num alongador (ver Figura 23).

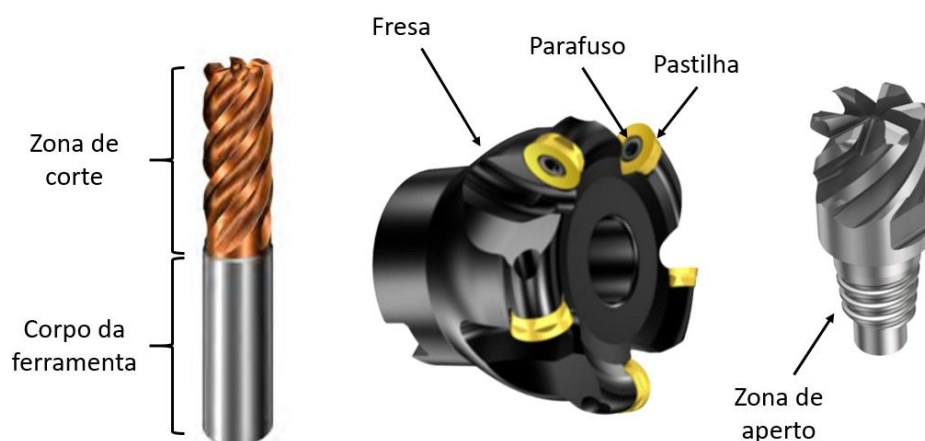


Figura 23 - Ferramenta de corte inteiriça (à esquerda), ferramenta intercambiável de pastilhas (ao centro) e ferramenta de topo intercambiável (à direita) (adaptado de [55]–[57]).

A principal vantagem das ferramentas intercambiáveis de pastilhas assenta no facto de permitirem uma substituição mais rápida e serem mais económicas e ecológicas. Enquanto as ferramentas de corte inteiriças devem ser desmontadas do sistema de fixação e totalmente substituídas por uma nova aquando do fim do seu tempo de vida, a substituição das pastilhas resume-se ao desaperto e aperto do parafuso de fixação. Para além disso, uma única pastilha pode permitir múltiplas utilizações, sendo que são produzidas com, pelo menos, duas arestas de corte. Para isso, basta rodar a pastilha em torno do eixo definido pelo parafuso.

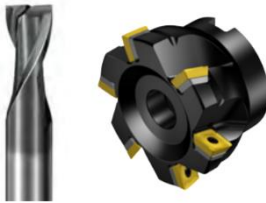

Ainda assim, e apesar dos esforços desenvolvidos para substituir as ferramentas sólidas por ferramentas de pastilhas, as primeiras continuam a desempenhar um papel de relevo na indústria. A principal razão prende-se no facto de as ferramentas inteiriças permitirem um maior número de arestas de corte por unidade de diâmetro.




Esta limitação não constitui um grande problema para ferramentas de grande diâmetro, mas, à medida que o diâmetro da ferramenta utilizada é reduzido, a velocidade de rotação necessária aumenta e, conseqüentemente, a força centrífuga. As ferramentas intercambiáveis dependem apenas da força de aperto do parafuso para suportar a ação da força centrífuga, parafusos esses que necessitam de espaço para se alojarem na pastilha, aumentando a largura destas e limitando o número de arestas de corte. Estas serão algumas das razões para as ferramentas sólidas permitirem, geralmente, melhor acabamento superficial e melhor precisão dimensional.

Um estudo de mercado realizado em 2020 concluiu que 84% dos produtores e 65% dos utilizadores de ferramentas intercambiáveis escolhem a vibração como principal limitação deste tipo de ferramentas [58].

A Tabela 16 apresenta os tipos de ferramentas mais utilizadas em fresagem e as suas respetivas características [39].

Tabela 16 - Ferramentas mais utilizadas em fresagem e as suas respetivas características [39, 55, 57].

Nome	Características	Imagem
<b>Fresa cilíndrica de topo direito</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fresagem de superfícies planas, verticais e sem raio de fundo;</li> <li>- Podem ser inteiriças ou de pastilhas;</li> <li>- Permitem elevado <math>a_p</math> e baixo <math>a_e</math>, ou o contrário;</li> <li>- Podem ter 2, 3, 4, 6 ou 8 lâminas/pastilhas;</li> <li>- Relação comprimento diâmetro <math>l/D</math> entre 5 e 10;</li> </ul>	
<b>Fresa cilíndrica esférica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizada em acabamentos de superfícies tridimensionais e faces inclinadas;</li> <li>- Podem ser inteiriças ou de pastilhas;</li> <li>- As inteiriças podem ser de 2, 3 ou 4 lâminas;</li> </ul>	

<b>Fresa cilíndrica toroidal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fresagem de superfícies planas ou inclinadas, verticais e com raio de fundo;</li> <li>- Podem ser inteiriças ou de pastilhas;</li> <li>- Permitem elevado <math>a_p</math> e baixo <math>a_e</math>, ou o contrário;</li> </ul>	
<b>Fresa de Facejar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizada para facejar e para desbastes horizontais pesados;</li> <li>- Permite a remoção de grandes quantidades de material por cada passagem;</li> <li>- Constituída por pastilhas;</li> </ul>	
<b>Fresa Helicoidal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizada para desbastes ou acabamentos de superfícies verticais;</li> <li>- Permite elevado <math>a_p</math> e baixo <math>a_e</math>;</li> <li>- Constituídas por múltiplas pastilhas.</li> </ul>	

A Tabela 17 apresenta outras ferramentas utilizadas em fresagem, as suas características e funções. Na Tabela 18 apresentam-se as ferramentas mais comuns em furação.

Tabela 17 - Outras ferramentas utilizadas em fresagem [39, 59, 60].





Nome	Características	Imagem
<b>Fresa T</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizada para fresar canais em forma de T ou rasgos laterais;</li> <li>- Podem também permitir a maquinagem de roscas;</li> </ul>	
<b>Fresa “rabo de andorinha”</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizada no fresamento de canais inclinados destinados a guiamentos e acoplamentos;</li> <li>- São ferramentas inteiriças;</li> </ul>	
<b>Escareador ou Fresa de chanfros</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizada para quebrar arestas;</li> <li>- Ferramenta com inclinação igual à do chanfro pretendido (geralmente 45°);</li> <li>- Podem ser inteiriças ou de pastilhas;</li> </ul>	
<b>Fresa de barril</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muito utilizadas em maquinagens a 5 eixos;</li> <li>- Permitem otimizar operações de fresagem de faces inclinadas.</li> </ul>	

Tabela 18 - Ferramentas mais comuns utilizadas em operações de furação, mandrilamento e roscagem [39, 55].

Nome	Características	Imagem
<b>Broca Helicoidal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Brocas mais utilizadas e económicas;</li> <li>- Tem dois canais em hélice que dão origem a duas arestas cortantes que se reúnem na ponta da broca;</li> <li>- Utilizadas em furos de comprimento inferior a 5 vezes o diâmetro;</li> </ul>	
<b>Broca de lâminas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Brocas constituídas por uma lâmina intercambiável formada por duas arestas de corte;</li> <li>- Lâminas encontram-se montadas num cabo cilíndrico ou cónico;</li> <li>- Não necessitam de furo prévio;</li> </ul>	
<b>Broca canhão</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizadas em operações de furação profunda (profundidade superior a 10 vezes o diâmetro);</li> <li>- Necessitam de um furo prévio;</li> </ul>	
<b>Broca de ponto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Serve para pontear um furo (realiza um pequeno ponto que servirá de orientação e evitará que a broca posterior se desvie, mantendo a concentricidade);</li> </ul>	
<b>Broca de pastilhas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pastilhas fixadas mecanicamente nas extremidades do cabo cilíndrico ou cónico;</li> <li>- Profundidade de furação limitada a 2 ou 3 vezes o diâmetro;</li> </ul>	
<b>Mandril</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizado após furação para alargar e retificar furos de diâmetro até 20 mm;</li> <li>- Apenas retifica um diâmetro e tolerância específica;</li> <li>- São inteiriços;</li> </ul>	
<b>Barra de mandrilar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizada após furação para alargar furos de média e grandes dimensões;</li> <li>- Pode ser ajustada manualmente, permitindo a retificação de furos com diversos diâmetros;</li> <li>- Utilizam pastilhas.</li> </ul>	
<b>Machos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizados para maquinar roscas;</li> <li>- Podem ser machos de corte ou de esmagamento, em função da forma como vão realizar os filetes;</li> <li>- Os machos de corte cortam o material, enquanto os machos de esmagamento laminam a rosca, não criando aparas;</li> <li>- Necessitam de furo prévio.</li> </ul>	<p>Corte</p>  <p>Esmagamento</p> 

### 2.2.5 Sequências de maquinagem

As sequências de maquinagem correspondem ao conjunto de operações de maquinagem a efetuar para que um determinado bloco de material, peça ou semi-produto, obtenha a forma final desejada. Para isso, a peça é normalmente sujeita a três diferentes estágios ou fases de transformação: fase de desbaste, fase de semi-acabamento e fase de acabamento (ver Figura 24). As operações de maquinagem adequadas são executadas em cada uma destas fases.

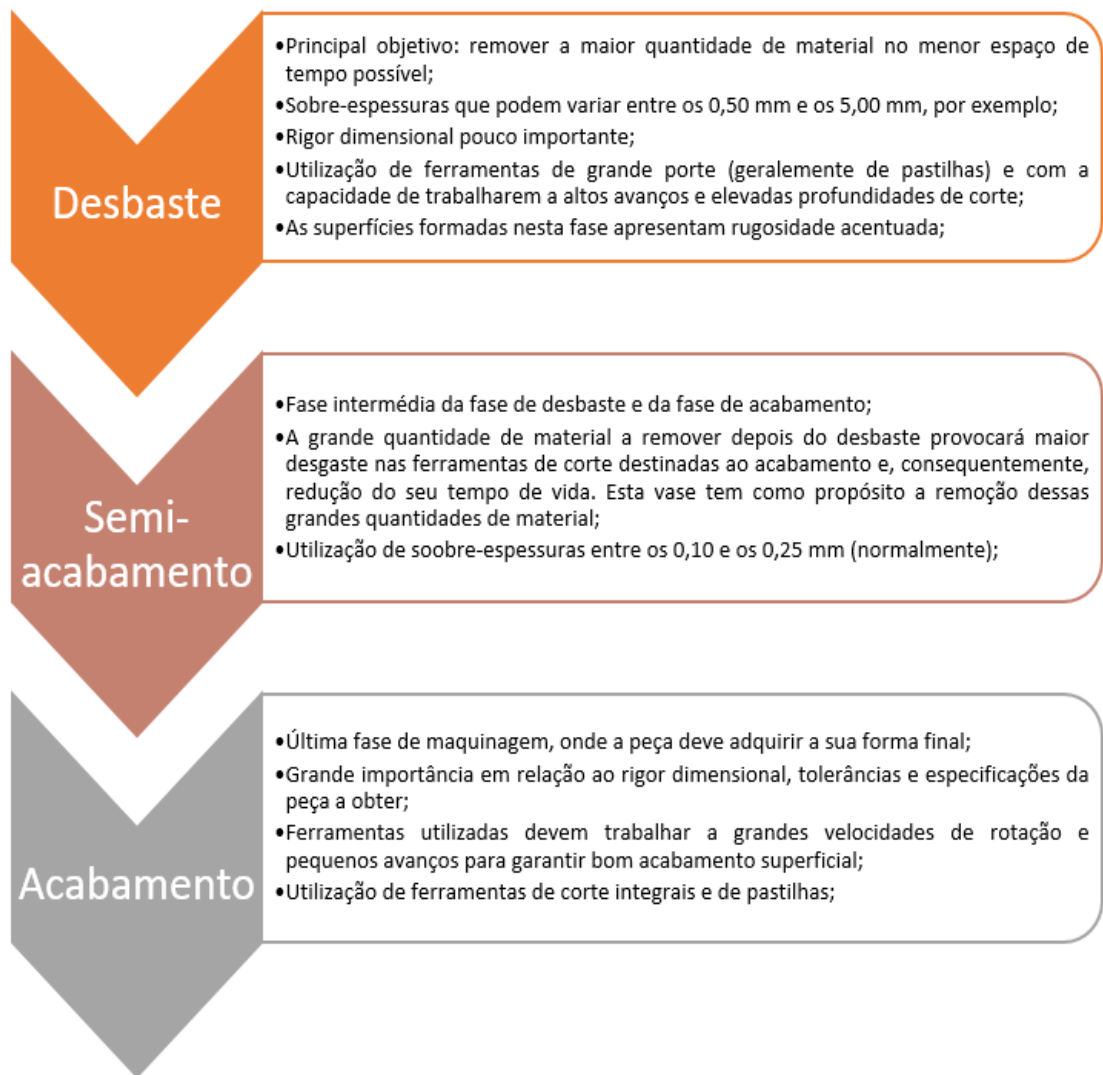


Figura 24 - Fases a que uma peça está normalmente sujeita até adquirir a sua forma final.

Os centros de maquinagem permitem a realização não só de operações de fresagem (apresentadas na Tabela 19), como de furação e roscagem (ver Tabela 20).

Tabela 19 - Operações de fresagem mais comuns [34].

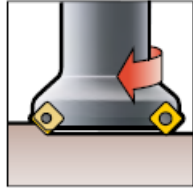
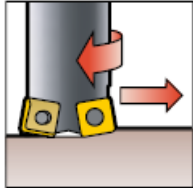
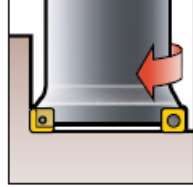
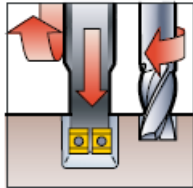
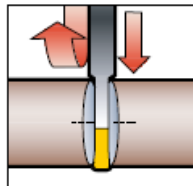
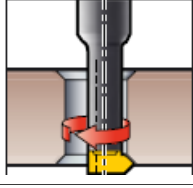

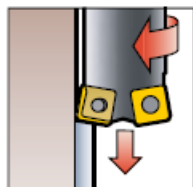
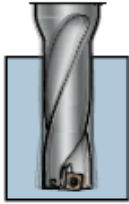

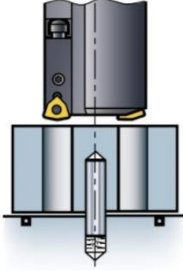
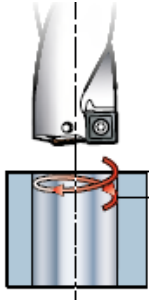

Operação	Caracterização	Ilustração
<b>Facejamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operação de fresamento mais comum;</li> <li>• Consiste na maquinagem de uma face ao longo de um plano;</li> <li>• <math>A_e</math> superior à <math>A_p</math>;</li> </ul>	
<b>Fresagem com altos avanços</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operação semelhante ao facejamento, mas com a utilização de velocidades de corte superiores a 1000 m/min;</li> </ul>	
<b>Fresagem de cantos a 90 graus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Combinação de fresagem periférica com facejamento;</li> <li>• Profundidade de corte pode ser superior à largura de corte;</li> </ul>	
<b>Fresagem de ranhuras ou canais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consiste na maquinagem de rasgos ou canais;</li> </ul>	
<b>Sangramento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operação mais comum em torneamento, mas também utilizada em fresagem;</li> <li>• Consiste na abertura de um rasgo passante, de forma a dividir a peça ou bloco de material em dois;</li> </ul>	
<b>Fresagem de chanfros</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operação para remover rebarbas ao longo das arestas da peça ou dos elementos realizados;</li> </ul>	
<b>Fresagem de perfis</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consiste na maquinagem de superfícies côncavas ou convexas, em múltiplas direções;</li> <li>• Utiliza geralmente ferramentas esféricas e destina-se a operações de acabamento;</li> </ul>	
<b>Fresagem em mergulho</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operação adequada para desbastar cavidades;</li> <li>• Funciona de forma semelhante à furação.</li> </ul>	

Tabela 20 - Operações de furação e roscagem mais utilizadas em centros de maquinagem [1 e 11].

Operação	Caracterização	Ilustração
<b>Furação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maquinagem de um furo na peça;</li> <li>• Utiliza apenas rotação e o movimento do eixo responsável pela profundidade do furo;</li> </ul>	
<b>Furação escalonada</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizada para realizar dois furos concêntricos, mas com diâmetros diferentes;</li> <li>• Comum na maquinagem de furos com chanfros ou alojamentos de parafusos;</li> </ul>	
<b>Trepanação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizado para a maquinagem de furos passantes de grande diâmetro;</li> <li>• A ferramenta de corte não corta todo o diâmetro do furo, mas apenas o anel periférico;</li> </ul>	
<b>Mandrilamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operação efetuada para acabar um furo feito previamente;</li> <li>• Utilizado para alargar e melhorar a face de acabamento de um furo, através da remoção de uma pequena quantidade de material;</li> <li>• Permite maior rigor dimensional;</li> </ul>	
<b>Roscagem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operação utilizada para maquinar roscas;</li> <li>• Necessita da realização de um furo prévio.</li> </ul>	

As operações de maquinagem podem ser executadas de diferentes formas, sendo que a estratégia definida para o corte pode variar de caso para caso.

A Tabela 21 apresenta algumas das estratégias de maquinagem mais utilizadas em fresagem, que visam sobretudo melhorar as condições de corte da ferramenta, reduzindo o tempo de trabalho e os esforços a que estará sujeita, aumentando o seu tempo de vida útil.

Uma operação de fresagem de chanfros pode ser executada com uma estratégia de entrada em arco ou não, assim como uma ranhura pode ser maquinada com uma estratégia de corte toroidal, por exemplo.

Tabela 21 - Estratégias de maquinagem mais comuns em fresagem [34].

Estratégia	Caracterização	Ilustração
<b>Entrada em arco</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suavização da entrada na peça a trabalhar;</li> <li>• Espessura da apara pequena na saída;</li> <li>• Reduz vibrações;</li> <li>• Aumenta o tempo de vida da ferramenta;</li> <li>• Utilizado quando a ferramenta inicia o seu movimento fora da peça, ou da superfície a maquinar;</li> </ul>	 <p>Ilustração de uma ferramenta de fresagem realizando uma entrada em arco em uma peça, com uma linha vermelha indicando o caminho da ferramenta e uma seta vermelha indicando a direção de corte.</p>
<b>Fresagem trocoidal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicado para abertura de rasgos largos/estreitos;</li> <li>• Movimentos de corte em espiral permitem manter as forças de corte baixas e grandes profundidades de corte;</li> <li>• Pouco tempo de contacto;</li> <li>• Aparas pequenas;</li> <li>• Bom tempo de vida da ferramenta;</li> </ul>	 <p>Ilustração de uma ferramenta de fresagem realizando movimentos de corte em espiral (trocoidal) em uma peça, com uma linha vermelha indicando o caminho da ferramenta e uma seta vermelha indicando a direção de corte.</p>
<b>Redução de cantos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muito utilizado na fase de semi-acabamento;</li> <li>• Tem como propósito retirar o material que a ferramenta anterior não conseguiu retirar;</li> <li>• É recomendado que a ferramenta utilizada para reduzir cantos tenha um diâmetro superior a metade do diâmetro da ferramenta precedente, e inferior ao diâmetro do raio de canto;</li> <li>• Risco elevado de vibração;</li> </ul>	 <p>Ilustração de uma ferramenta de fresagem realizando a redução de cantos em uma peça, com uma linha vermelha indicando o caminho da ferramenta e uma seta vermelha indicando a direção de corte.</p>
<b>Rampa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estratégia de entrada da ferramenta no material a maquinar;</li> <li>• Utilizado para abrir caixas, furos ou cavidades;</li> <li>• Elimina a necessidade de um furo;</li> <li>• Evita a entrada brusca da ferramenta na vertical;</li> <li>• O movimento de rampa pode ser a direito ou circular (hélice);</li> <li>• <math>\alpha</math> é o ângulo de inclinação da rampa.</li> </ul>	 <p>Ilustração de uma ferramenta de fresagem realizando a estratégia de rampa em uma peça, com uma linha vermelha indicando o caminho da ferramenta e uma seta vermelha indicando a direção de corte. O ângulo de inclinação da rampa é denotado por <math>\alpha</math>.</p>

A seleção da estratégia de maquinagem mais eficiente e da ferramenta de corte adequada, representam um papel importante na diminuição dos tempos de maquinagem e, conseqüentemente, do custo final do processo. Nesse sentido, apresentam-se na Tabela 22 alguns estudos sobre a seleção de ferramentas de corte e estratégias de maquinagem apropriadas.

Tabela 22 - Estudos relativos à seleção de ferramenta de corte e estratégias de maquinagem

Referência	Descrição
[61]	Um estudo comparativo sobre fresas de topo na maquinagem de aço inoxidável duplex, verifica que as fresas com quatro lâminas de corte, produzem superfícies com menor rugosidade, e que se adequam a operações de fresagem periférica. As fresas com 2 ou 3 lâminas de corte, por sua vez, adequam-se a operações de fresagem de ranhuras, mas apresentam menor tempo de vida. Uma menor quantidade de lâminas de corte, facilita a remoção das aparas produzidas nas arestas de corte da ferramenta, mas acelera o desgaste das mesmas;
[62]	É desenvolvido um método para melhorar o cálculo de movimentos de corte em espiral, que diminui o caminho total percorrido pela ferramenta e melhora o desempenho do processo de maquinagem. O método proposto permite reduzir a curvatura ao longo do caminho de corte, que se traduz numa diminuição das forças de corte e num aumento do tempo de vida da ferramenta;
[63]	O artigo apresenta uma nova abordagem para o planeamento de operações de maquinagem de matrizes de corte e estampagem. O método proposto permitiu reduzir os custos de maquinagem em 5%, aumentando o tempo de maquinagem de 8 para 24 horas de trabalho, e reduziu os tempos de <i>setup</i> assim como os erros associados à programação CAM;
[64]	É analisada a influência da sequência de ferramentas no consumo de energia durante uma operação de fresagem. Os autores propõem um modelo para definir a sequência de ferramentas com base na minimização do consumo de energia e do custo de maquinagem;
[65]	Os autores procuram minimizar o tempo de maquinagem de operações de fresagem em mergulho através da otimização dos parâmetros de corte. Os resultados obtidos demonstram que a metodologia desenvolvida supera a abordagem convencional, em termos de tempo de maquinagem, em mais de 55%.

## 2.3 REDES NEURONAIS ARTIFICIAIS

### 2.3.1 Definição e enquadramento histórico

As Redes Neurais Artificiais, comumente designadas como redes neuronais, são modelos matemáticos que, inspirados pelo funcionamento do cérebro humano e pela sua unidade fundamental, o neurónio, procuram entender relações complexas existentes num determinado conjunto de dados. São definidas como um processador eminentemente paralelo, composto por simples unidades de processamento, com propensão natural para armazenar conhecimento empírico e torná-lo acessível ao utilizador. O seu comportamento é análogo ao do cérebro humano em dois aspectos [66]:

- O conhecimento é adquirido a partir de um ambiente e com recurso a um processo de aprendizagem;
- O conhecimento é armazenado nas conexões, também designadas por ligações ou sinapses, entre os neurónios.

O processo de aprendizagem (ou de treino) é realizado por um algoritmo de aprendizagem, sendo a força (ou peso) das ligações entre neurónios ajustada de forma a atingir um determinado objetivo ou estado de conhecimento da rede [66].

Na Figura 25 e na Tabela 23, apresentam-se os dados e informações considerados pertinentes sobre o percurso histórico das redes neuronais artificiais.

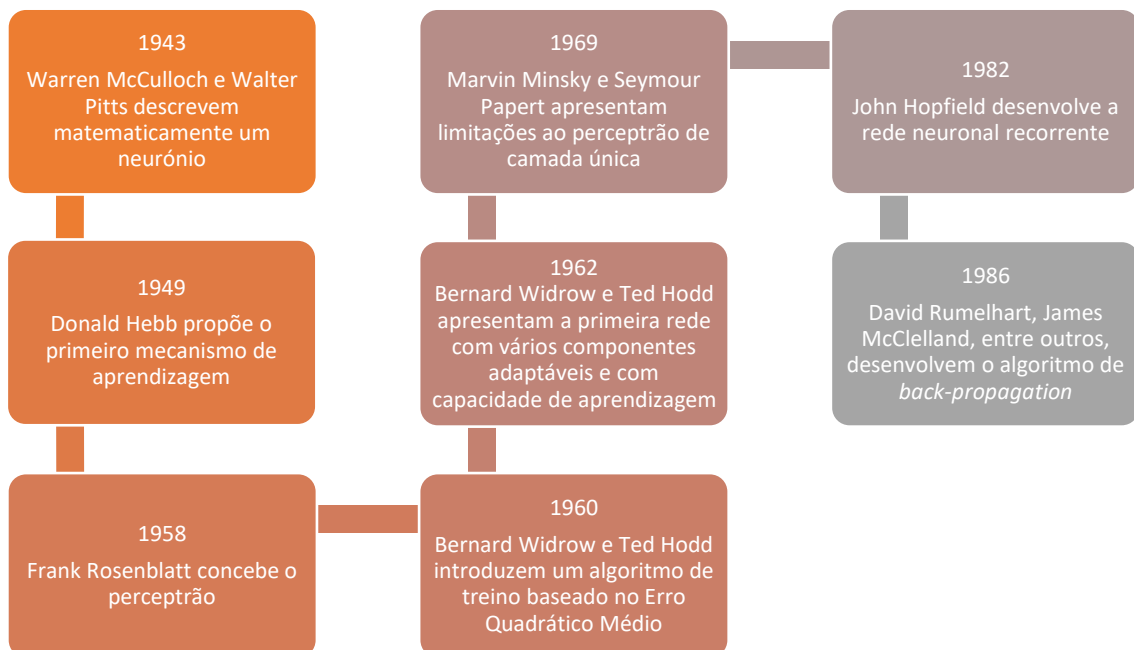


Figura 25 - Percurso histórica dos pioneiros das redes neuronais artificiais [67].

Tabela 23 - Resenha histórica dos pioneiros das redes neuronais artificiais [67].

Autor(es)	Ano	Acontecimento
Warren McCulloch e Walter Pitts	1943	Os autores levaram a cabo a primeira tentativa de descrever um neurónio matematicamente, demonstrando que uma rede neuronal tinha capacidade de computar qualquer função aritmética ou lógica. Ainda assim, o modelo apresentado carecia de capacidade de aprendizagem;
Donald Hebb	1949	Proposta do primeiro mecanismo de aprendizagem, conhecido como a regra de Hebb (ou regra <i>hebbiana</i> ) de aprendizagem. De acordo com a mesma, a ligação entre dois neurónios simultaneamente ativos (matematicamente com o mesmo sinal), é reforçada pela ativação repetida da sinapse;
Frank Rosenblatt	1958	Conceção da forma mais simples de uma rede neuronal, o perceptrão, que se destina à classificação de padrões que se encontrem em lados opostos de um hiperplano (linearmente separáveis). Apesar do entusiasmo inicial, foi posteriormente demonstrado que o perceptrão básico tem apenas capacidade para resolver uma pequena gama de problemas;
Bernard Widrow e Ted Hodd	1960	Introdução e implementação de um algoritmo de treino baseado no erro quadrático médio no ADALINE ( <i>Adaptative Linear Element</i> ), semelhante em estrutura e capacidade ao perceptrão de Rosenblatt. Mais tarde, os mesmos autores, apresentam a MADALINE ( <i>Multiple ADALINE</i> ), uma das primeiras redes neuronais com vários componentes adaptáveis e com capacidade de aprendizagem;
Marvin Minsky e Seymour Papert	1969	Apresentam algumas limitações das redes neuronais, provando matematicamente a existência de limites fundamentais nas operações que um perceptrão de camada única consegue executar. Os argumentos convincentes apresentados pelos autores sobre as limitações das redes neuronais à data, tiveram um efeito desencorajador nos investigadores, o que levou à suspensão generalizada dos estudos neste domínio;
John Hopfield	1982	John Hopfield desenvolve a rede neuronal recorrente (ou redes Hopfield), que podem ser utilizadas como sistemas de memória. Para além disso, devido ao desenvolvimento tecnológico e à crescente facilidade de acesso a computadores, os estudos sobre redes neuronais voltam a aumentar nos anos 80.
David Rumelhart e James McClelland	1986	Como resultado do trabalho desenvolvido por vários autores, surge o algoritmo de retropropagação ( <i>back-propagation</i> ) para treino de redes de múltiplas camadas de perceptrões. Este algoritmo, que nos dias de hoje ainda é o mais divulgado, permitiu ultrapassar as limitações assinaladas anteriormente.

### 2.3.2 Analogia com o modelo biológico

De acordo com o descrito na Tabela 23, as RNAs têm origem na tentativa de descrever matematicamente um neurónio biológico, levada a cabo por Warren McCulloch e Walter Pitts em 1943. Assim, da mesma forma que o cérebro humano é constituído por neurónios, as redes neuronais são formadas pelo seu equivalente artificial.

De forma a estabelecer o paralelo entre os dois sistemas, é feita uma representação genérica de um neurónio biológico na Figura 26 e de um neurónio artificial na Figura 27.

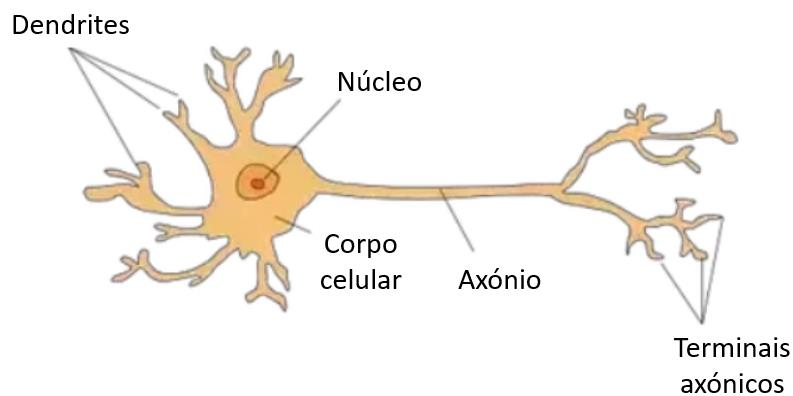


Figura 26 - Ilustração de um neurónio biológico (adaptado de [68]).

O neurónio biológico é a unidade base do sistema nervoso e apresenta, tipicamente, uma estrutura simples constituída por três componentes: corpo celular, dendrites e axónio. Estes componentes são responsáveis por três funções básicas: entrada, processamento e saída de sinais nervosos. As dendrites são ligações através das quais os neurónios recebem estímulos nervosos (correntes elétricas), produzidos por outros neurónios ou órgãos que são depois processados no núcleo do neurónio. Estes impulsos propagam-se a partir do corpo celular e ao longo do axónio. Quando estes impulsos atingem a sinapse, que é a região onde a corrente elétrica passa dos terminais axónicos de um neurónio (pré-sináptico) para a dendrite de outro neurónio (pós-sináptico), ocorre a libertação de substâncias químicas, designadas como neurotransmissores. É a interação com outros neurónios cujas sinapses são adjacentes, que determina se o neurónio seguinte produzirá o seu próprio impulso nervoso que levará à libertação de neurotransmissores ou não, e assim sucessivamente.

A estrutura de uma rede neuronal é, assim, de forma semelhante ao sistema nervoso, constituída por várias unidades ligadas entre si e designadas por nós ou neurónios, onde cada um recebe determinados valores de entrada (*inputs*), efetua cálculos relativamente simples com os mesmos (processamento) e gera outros valores de saída (*outputs*). O valor de saída de um neurónio é depois transmitido como o valor de entrada de outro neurónio, ou como *output* final de todo o sistema, à semelhança daquilo que acontece nas sinapses do neurónio biológico. Uma RNA é, assim, um sistema que recebe dados de entrada, processa-os e devolve um ou mais dados de saída.

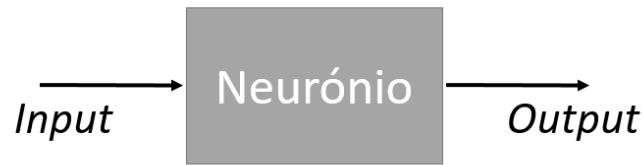


Figura 27 - Esquema do funcionamento de um neurónio artificial.

### 2.3.3 Princípios de funcionamento das RNAs

#### Neurónio

O neurónio, como unidade de processamento de uma RNA, funciona como um comparador que produz uma saída quando os valores de entrada excedem um determinado valor limite. A Figura 28 apresenta um neurónio com apenas uma entrada.

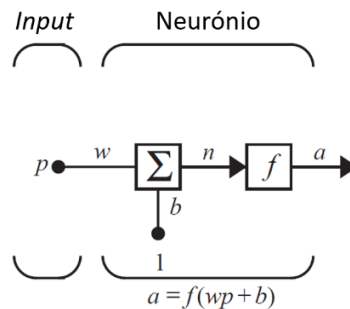


Figura 28 - Neurónio artificial de uma entrada [67].

De forma simples, o valor de entrada  $p$  é multiplicado pelo seu peso sináptico  $w$ , formando  $wp$ , um dos termos enviados para o somatório. O outro valor de entrada,  $1$ , é multiplicado pelo viés (ou *bias*)  $b$ , e também enviado para o somatório. O valor de saída do somatório,  $n$ , é depois enviado para uma função de ativação,  $f$ , de onde se determina o valor final de saída do neurónio [67].

O valor de saída de um neurónio de apenas uma entrada, pode assim ser calculado de acordo com a expressão [67]:

$$a = f(wp + b) \quad (9)$$

Normalmente, um neurónio tem mais do que um valor de entrada. A Figura 29 apresenta um neurónio com  $R$  valores de entrada, onde cada um desses valores  $p_1, p_2, \dots, p_R$  é multiplicado pelo seu peso correspondente,  $w_{1,1}, w_{1,2}, \dots, w_{1,R}$ . O peso representa o quanto uma entrada afeta a ativação do neurónio e compõe a matriz de pesos  $\mathbf{W}$ .

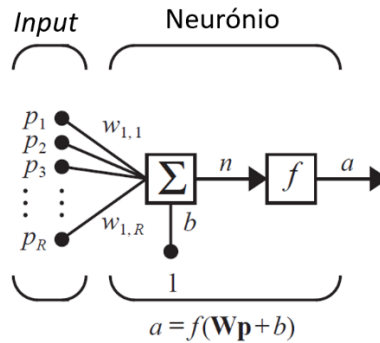


Figura 29 - Neurónio artificial com várias entradas [67].

Considerando o *bias*  $b$ , o valor de saída do somatório,  $n$ , com várias entradas, pode ser calculado de acordo com a expressão [67]:

$$n = w_{1,1}p_1 + w_{1,2}p_2 + \dots + w_{1,R}p_R + b = \mathbf{Wp} + b \quad (10)$$

O valor de saída,  $a$ , do neurónio, pode ser determinado aplicando a expressão [67]:

$$a = f(\mathbf{Wp} + b) \quad (11)$$

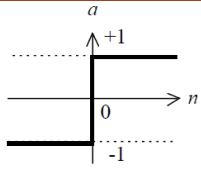
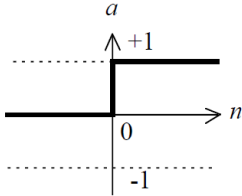
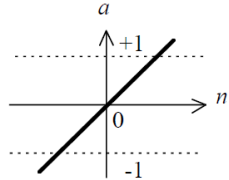
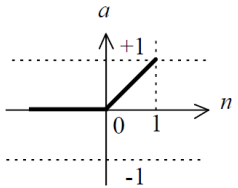
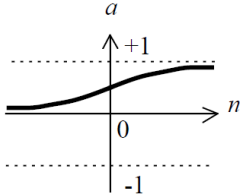
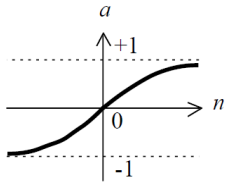
Assim, um neurónio artificial é composto por:

- Um conjunto de conexões ( $w_{i,j}$ ) que traduz o quanto o valor de entrada ou sinal de estímulo  $p$  deve influenciar o valor do somatório,  $n$ , assim como uma conexão extra,  $b$ , designada por *bias* e cujo valor de entrada é 1;
- Um integrador, sendo frequentemente utilizada a função de adição ( $\Sigma$ ), que reduz os  $R$  argumentos de entrada a um único valor;
- Uma função de ativação ( $f$ ), que condiciona o valor de saída do neurónio.

Existem várias funções de ativação, apresentadas na Tabela 24, e que devem ser escolhidas em função do problema que se pretende resolver. A função binária e a função bipolar, são funções não lineares que transformam o valor à saída do neurónio em apenas dois valores. São funções pouco utilizadas nos dias de hoje, pois não são deriváveis na origem e a sua derivada corresponde a 0 para os restantes valores, tornando-se incompatíveis com as técnicas de treino de redes neuronais baseadas no gradiente [69].

As funções lineares, como a função linear e a função *Rectified Linear Unit* (ReLU), são geralmente utilizadas na última camada de uma rede neuronal multicamada, sendo que a função ReLU limita o valor de saída do neurónio [69].

Tabela 24 - Funções de ativação mais comuns [69].

Nome	Função	Representação
Função bipolar	$a = \begin{cases} -1, & n < 0 \\ +1, & n \geq 0 \end{cases}$	
Função binária	$a = \begin{cases} 0, & n < 0 \\ 1, & n \geq 0 \end{cases}$	
Função linear	$a = n$	
Função ReLU	$a = \begin{cases} 0, & n < 0 \\ n, & 0 \leq n \end{cases}$	
Função sigmoide	$a = \frac{1}{1 + e^{-n}}$	
Função tangente hiperbólica	$a = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}}$	

As funções logísticas são outro grupo de funções de ativação, como a função sigmoide e a tangente hiperbólica (ver figura). São geralmente utilizadas nas camadas intermédias de redes multicamada, devido ao facto de serem completamente deriváveis e compatíveis com a maior parte dos algoritmos de treino utilizados atualmente [69].

### Redes multicamada

Dois ou mais dos neurónios apresentados anteriormente, podem ser combinados numa ou várias camadas (*layers*) que podem ser também elas agregadas formando uma rede

neuronal. A arquitetura de uma rede neuronal típica apresenta uma camada de entrada (*Input Layer*), uma camada de saída (*Output Layer*) e, pelo menos, uma camada intermédia ou oculta (*Hidden Layer*). Os nós da camada de entrada da rede recebem os valores de entrada do modelo, e estes circulam pela rede até atingir a camada de saída, onde são produzidos os valores de saída.

As RNAs são geralmente utilizadas para resolver dois tipos de problemas:

- **Problemas de classificação** – o objetivo é determinar a que tipo de categoria pertence um dado específico. As redes utilizadas para problemas de classificação produzem, geralmente, vários *outputs*, sendo o valor de saída mais alto o valor selecionado pela rede;
- **Problemas de regressão** – o objetivo é estimar um resultado numérico específico. As redes utilizadas para problemas de regressão produzem, geralmente, apenas um *output*.

A Figura 30 apresenta a arquitetura de uma rede multicamada com múltiplos valores de saída. Importa salientar que o número de neurónios da primeira camada,  $S$ , não tem que ser obrigatoriamente igual ao número de dados de entrada,  $R$ , e que as funções de ativação de cada uma das camadas podem ser diferentes. O valor de saída de uma camada é um vetor, calculado pela expressão (11) [69].

Para descrever uma rede multicamada, a notação utilizada até agora deve ser expandida. Nesse sentido, as matrizes de pesos ligadas aos valores de entrada serão designadas como *input weights* (IM), e as matrizes dos pesos dos valores de saída das camadas intermédias de *layer weights* (LW). Sendo assim, o valor de saída da camada 1 da Figura 30, pode ser dado como [69]:

$$a^1 = f^1(IW^{1,1}p + b^1) \tag{12}$$

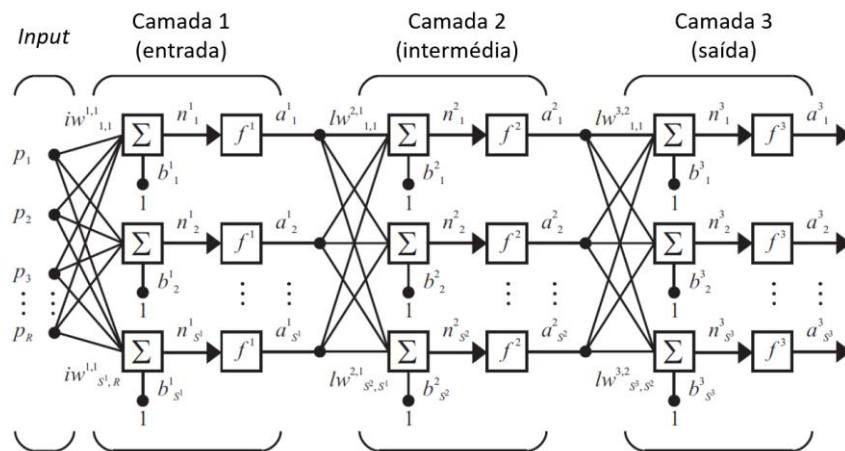


Figura 30 - Rede multicamada [69].

O valor de saída da camada 2, pode ser determinado pela expressão [69]:

$$a^2 = f^2(LW^{2,1}a^1 + b^2) \quad (13)$$

De forma semelhante, o valor de saída da última camada pode ser calculado como [69]:

$$a^3 = f^3(LW^{3,2}a^2 + b^3) \quad (14)$$

Ou, conjugando as expressões anteriores (12), (13) e (14) [69]:

$$a^3 = f^3(LW^{3,2}f^2(LW^{2,1}f^1(IW^{1,1}p + b^1) + b^2) + b^3) \quad (15)$$

#### 2.3.4 Arquiteturas de rede

A arquitetura de rede corresponde à forma como os neurónios estão organizados e conectados na rede neuronal. Existem vários tipos de arquiteturas, sendo geralmente classificadas em três grupos diferentes [66, 67]:

- **Redes Feedforward de uma só camada:** é a forma mais simples de uma rede, sendo composta por uma camada de entrada que se liga diretamente à camada de saída. As conexões deste tipo de rede são sempre unidirecionais, e a camada de entrada não é contabilizada como uma camada da RNA visto não serem efetuados cálculos na mesma;
- **Redes Feedforward Multicamada:** distingue-se pelo facto de ter uma ou mais camadas intermédias cuja função é melhorar a capacidade da rede para modelar funções de maior complexidade, o que é bastante útil quando o número de neurónios da camada de entrada é elevado. O aumento do número de camadas intermédias apresenta como condicionante o aumento do tempo de aprendizagem;
- **Redes Recorrentes:** distinguem-se das redes anteriores por possuírem pelo menos uma recorrência, onde a saída de um elemento influencia a entrada para esse mesmo elemento, criando um ou mais circuitos fechados. A presença de ciclos impede que os valores de saída sejam função exclusiva das conexões entre nós, mas também de uma dimensão temporal.

#### 2.3.5 Fases de desenvolvimento de uma RNA

A implementação de uma RNA divide-se em quatro fases distintas:

- **Preparação dos dados:** o objetivo desta etapa é de definir o conjunto de dados adequados a serem utilizados na RNA, escolhendo as variáveis de entrada e identificando as variáveis a prever. A recolha e preparação dos dados é, geralmente, a etapa mais demorada da implementação de uma RNA. Os dados são normalmente divididos em dois ou três conjuntos: o conjunto com maior

quantidade de dados (70 a 80%) é usado para o treino da rede, outro conjunto para o teste da rede e, em alguns casos, um terceiro conjunto para validação da rede. A quantidade de dados disponível é importante para o sucesso de uma rede neuronal, sendo que quanto maior a quantidade de dados introduzidos no treino da rede, mais fácil é para a rede identificar relações existentes entre os dados;

- **Treino da RNA:** é nesta etapa que a RNA vai adquirir conhecimento a partir dos dados de entrada introduzidos. A aprendizagem é normalmente efetuada a partir de dados dos quais se conhece o valor de saída, assim, a rede neuronal vai ajustando os valores dos pesos das ligações até conseguir um erro bastante reduzido;
- **Teste da RNA:** durante esta etapa, a RNA previamente treinada é testada para verificar o seu desempenho, ou seja, é determinado se o erro entre os valores de saída reais e os valores de saída estimados são aceitáveis ou não;
- **Previsão:** é nesta fase que uma RNA treinada e testada, é colocada em prática para estimar valores de saída desconhecidos.

### 2.3.6 Casos de aplicação

As RNAs têm um vasto espectro de aplicações no mundo industrial. A Tabela 25 apresenta algumas aplicações onde as RNAs deram um forte contributo [69].

Tabela 25 - Aplicações das RNAs em diferentes ramos industriais [69].

Indústria	Aplicações
Aerospacial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Piloto automático de aeronaves de alto desempenho;</li> <li>• Simulação de trajetórias de voo;</li> <li>• Detecção de falha de componentes de aeronaves;</li> </ul>
Automóvel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de veículos guiados automaticamente;</li> <li>• Análise de garantias;</li> </ul>
Bancária	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificação e leitura de documentos;</li> <li>• Avaliação de pedidos de crédito;</li> </ul>
Defesa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reconhecimento facial;</li> <li>• Armas com direção automática;</li> </ul>
Eletrónica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precisão de sequência de códigos;</li> <li>• Visão de máquina;</li> </ul>
Financeira	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avaliação imobiliária;</li> <li>• Previsão do preço da moeda;</li> </ul>
Transformação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controlo de processos de fabrico;</li> <li>• Análise e desenho de produtos;</li> </ul>
Médica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análise de células cancerígenas;</li> <li>• Modelação de próteses;</li> </ul>
Robótica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controlo de trajetória;</li> <li>• Sistemas de visão.</li> </ul>

Para além disso, têm sido desenvolvidos alguns estudos, com vista a facilitar a estimativa de custos de fabrico de diversos componentes [70, 71], e para otimizar o processo de fabrico de moldes de injeção [72, 73].

Também o processo de maquinagem têm sido alvo de estudos que visam aprimorar o desempenho do processo [74][75][76], assim como estimar a rugosidade da superfície maquinada [77, 78], o desgaste da ferramenta [79], e prever as forças de corte [80, 81].

A Tabela 26 apresenta alguns estudos sobre a aplicação de redes neuronais na estimativa de tempos e custos de maquinagem.

Tabela 26 - Estudos sobre a aplicação de redes neuronais na estimativa de tempos e custos de maquinagem.

Autor	Descrição
[82]	O artigo apresenta um modelo para estimar o tempo de maquinagem com recurso a RNAs. Os dados utilizados no treino da rede foram recolhidos de operações de maquinagem reais. O modelo utilizou como variáveis de entrada um conjunto de parâmetros relacionados com a peça a maquinar e com as operações de corte, permitindo estimar o tempo de maquinagem com um erro médio de 10,20 minutos, e com um desvio padrão de 17,42 minutos;
[83]	O estudo propõe inicialmente uma rede neuronal para reconhecimento de <i>features</i> . São posteriormente aplicadas redes neuronais com algoritmo de <i>backpropagation</i> para estabelecer a relação entre a quantidade de <i>features</i> e o custo da peça, produzindo uma estimativa mais precisa do que outras ferramentas de regressão. O método proposto permite ainda a análise individual do custo de cada <i>feature</i> ;
[84]	Os autores apresentam uma ferramenta de inteligência artificial para estimativa de custos de fabrico, que permite aos projetistas identificar visualmente, num modelo 3D, as áreas da peça projetada que afetam significativa o custo de fabrico. Desta forma, a ferramenta desenvolvida permite reduzir os custos de fabrico de um componente ainda na fase de projeto.
[85]	É desenvolvida uma rede neuronal para estimar o tempo de fabrico de moldes de injeção, utilizando como variáveis de entrada, diferentes dimensões do molde a fabricar, material, complexidade do molde e tolerância dimensional. A rede desenvolvida permitiu estimar tempos de fabrico com um erro percentual de menos de 25% para 96,2% dos casos;

- 
- [86] Os autores comparam a eficácia de diferentes redes neuronais na estimativa de tempos de maquinagem. Observou-se que as redes neuronais modulares apresentaram o menor erro percentual (1,89%), seguidas das redes neuronais de *backpropagation* com um erro percentual de 2,03%;
-

# DESENVOLVIMENTO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

3.2 PREPARAÇÃO DOS DADOS

3.3 REDE NEURONAL ARTIFICIAL

3.4 MODELOS COMPARATIVOS

3.5 ANÁLISE DE RESULTADOS



### 3 DESENVOLVIMENTO

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

O presente trabalho tem como objetivo a criação de uma rede neuronal com aprendizagem supervisionada que consiga estimar o tempo de maquinagem de placas *standard* de moldes para injeção de plásticos, de forma célere e eficaz. Para o efeito, considerou-se que as placas *standard* são peças onde os elementos (ou *features*) a maquinar variam em dimensão, mas que podem ser agrupados em grupos, como por exemplo, alojamentos para parafusos, roscas métricas, caixas circulares, entre outros.

Assim, a premissa da solução passa por uma RNA com esquema ilustrado na Figura 31, e que terá como variáveis de entrada o material da peça, assim como a quantidade, o volume e/ou a área total de cada um dos grupos de elementos a maquinar. O valor de saída será o tempo de maquinagem total da peça.

O sucesso desta proposta permitiria, para uma peça comum, que através da introdução do material, da quantidade de elementos, volume total maquinado e área superficial a maquinar, por exemplo, a RNA conseguisse estimar o tempo de maquinagem.

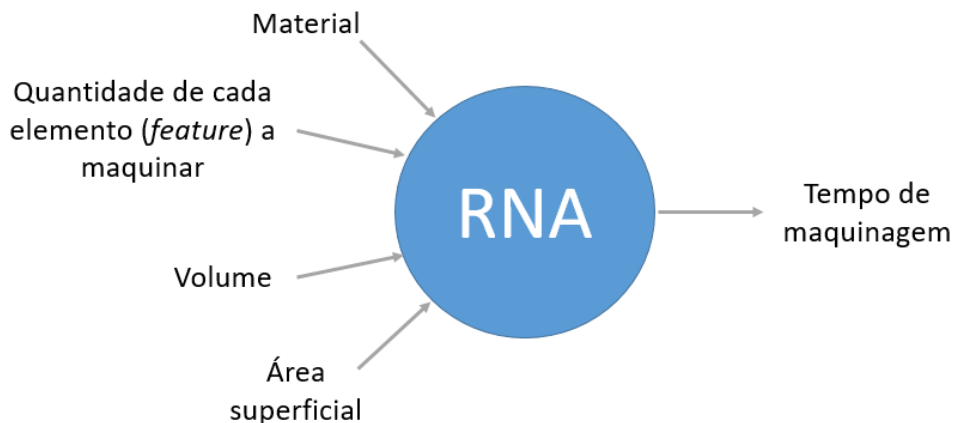


Figura 31 - Esquema da solução proposta.

Foi então necessário seguir as etapas apresentadas anteriormente para o desenvolvimento de redes neuronais:

- Preparação dos dados;
- Treino da RNA;
- Teste da RNA;
- Aplicação da RNA.

O objetivo da preparação dos dados é calcular o tempo de maquinagem de placas *standard* de moldes para injeção de plásticos. Esses tempos serão posteriormente utilizados no treino e teste da RNA.

Como apurado na revisão bibliográfica, a quantidade de dados de entrada utilizados no treino da rede neuronal tem grande influência na precisão da mesma. A precisão de uma RNA treinada com 10 valores de entrada é inferior à de uma RNA, igual, mas treinada com 500 valores de entrada, por exemplo. Isto porque a rede tem mais facilidade em identificar relações existentes entre os dados, quando há uma maior quantidade de valores de entrada.

Para o cálculo dos tempos de maquinagem, torna-se necessária a programação CAM, com recurso a *software* adequado, de diferentes peças. A programação CAM requer, por sua vez, um modelo 3D da peça a programar. Dessa forma, para a preparação de dados, é necessária a modelação e programação CAM de várias placas *standard*.

A modelação e programação CAM de 500 peças, por exemplo, é morosa, com prejuízo para o tempo de realização do trabalho. A alternativa encontrada passou por calcular individualmente o tempo de maquinagem de uma série de elementos diferentes e atribuí-los de forma aleatória a cada peça através de um “gerador de dados” criado para o efeito. Dessa forma, foi possível determinar o tempo de maquinagem de 750 peças diferentes sem serem necessárias a modelação e programação CAM de cada uma delas.

Foram então definidos dois métodos para a criação dos dados:

- **Método tradicional:** onde foram modeladas e programadas 30 peças comuns às placas *standard* dos moldes de injeção da forma tradicional (modelação CAD e programação CAM);
- **Método empírico:** onde foram gerados os dados de entrada e saída para o treino e teste das RNAs, com base no tempo de maquinagem individual de cada um dos elementos.

O tempo das 30 peças modeladas será também calculado com recurso ao método empírico. Os tempos recolhidos serão comparados com os do método tradicional para validação do método empírico.

O método empírico será depois utilizado para gerar 750 peças para treino das RNAs e 100 peças para comparação de resultados.

As arquiteturas de rede, a influência da quantidade de dados de entrada e as variáveis de entrada adequadas ao treino da rede, foram analisadas nos três ensaios realizados ao longo deste trabalho:

- **Ensaio 1:** nove RNAs com diferentes arquiteturas e treinadas utilizando os dados obtidos pelo método empírico. As variáveis de entrada foram a quantidade e o volume de cada um dos grupos de elementos definidos;
- **Ensaio 2:** utilizando a arquitetura da melhor rede do ensaio 1 e utilizando as mesmas variáveis de entrada, variou-se o número de dados utilizados para

treino da rede (50, 100, 150, ..., 750 peças) de forma a analisar a precisão da RNA em função da quantidade de dados de entrada;

- **Ensaio 3:** utilizando novamente a arquitetura da melhor rede do ensaio 1, diversificar as variáveis de entrada no treino da rede.

### 3.2 PREPARAÇÃO DOS DADOS

Nesta etapa, foram calculados os tempos de maquinagem de placas *standard* de moldes para injeção de plásticos, com o objetivo de serem utilizados posteriormente no treino e teste da RNA.

A Figura 32 ilustra a metodologia seguida para a preparação dos dados necessários ao trabalho:

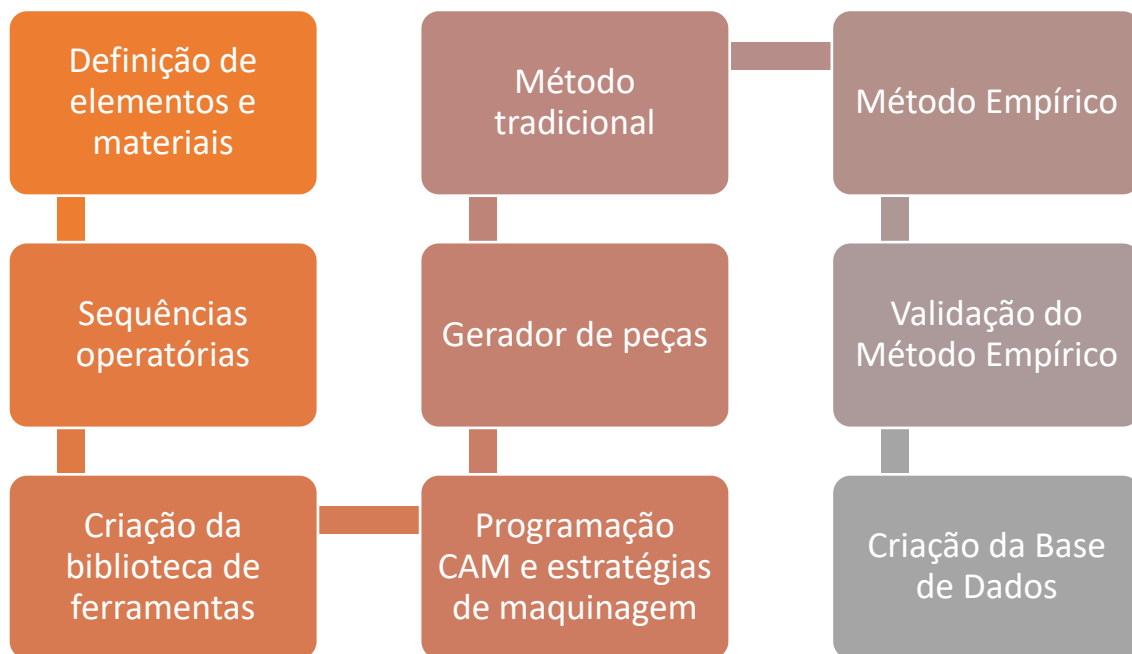


Figura 32 - Metodologia seguida na etapa de preparação dos dados.

#### 3.2.1 Definição de elementos e materiais das peças

Com base na revisão bibliográfica e na consulta de fabricantes de componentes normalizados para moldes de injeção, como a HASCO® e a Meusburger®, foram definidas as dimensões das peças, os materiais e as geometrias dos elementos mais comuns a maquinar. Os elementos foram agrupados de acordo com a Tabela 27, que apresenta ainda a justificação para a utilização de cada um dos grupos de elementos.

Para uma melhor organização do trabalho, foi atribuída uma nomenclatura a cada um dos grupos de elementos a maquinar, apresentada na Tabela 27. O “XX” deverá ser substituído pelo número do referido elemento, por exemplo, uma rosca métrica M3 terá o código ROSC01.

Tabela 27 - Grupo de elementos usados, a sua nomenclatura e justificação da sua utilização.

Grupo de elementos	Nomenclatura	Justificação
Roscas métricas	ROSCXX	Roscas para ligações aparafusadas para o sistema de fixação dos moldes ou para fixação de outros acessórios;
Furos passantes	FOLGXX	Furos para passagem de parafusos, de cabos elétricos, de sistema de refrigeração, de extratores, etc.
Alojamentos para parafusos	ALQJXX	Alojamentos para fixação dos parafusos;
Cavilhas	CAVIXX	Cavilhas para garantir centramento das placas e/ou acessórios;
Caixas retangulares	RECTXX	Caixa retangulares para acessórios retangulares, como batentes (réguas);
Guias	GUIAXX	Alojamentos para as guias passantes;
Caixas circulares passantes	CIRPXX	Alojamento para suportes de pilar;
Caixas circulares cegas	CIRCXX	Alojamentos para os anéis de centragem.

### Dimensões das peças

As dimensões das peças (ver Figura 33) utilizadas são uma variação das dimensões apresentadas na Tabela 28, o que possibilita um total de 75 peças de dimensões diferentes.

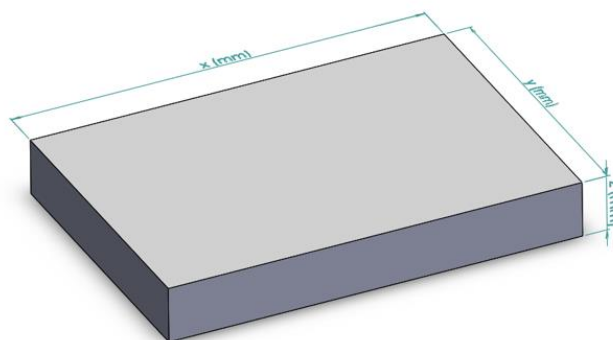


Figura 33 - Exemplo de uma peça e dimensões correspondentes.

As dimensões atribuídas são de aplicação recorrente nas placas de moldes de injeção, tendo sido utilizada mais uma dimensão em Z de forma a aumentar a variabilidade dos dados produzidos. A espessura da peça é a dimensão que mais influencia a escolha da ferramenta de corte aquando a maquinagem de elementos vazantes, como os furos passantes, alojamentos para parafusos, guias e caixas circulares passantes. A utilização de mais ferramentas, com diversos parâmetros de corte, produzirá diferentes tempos de maquinagem.

Tabela 28 - Dimensões consideradas para as peças.

x (mm)	y (mm)	z (mm)
996,00	796,00	46,00
896,00	696,00	66,00
796,00	596,00	86,00
696,00	546,00	96,00
		136,00

## Materiais

Foram considerados dois materiais diferentes para as peças, a fim de variar os parâmetros de corte das ferramentas e, conseqüentemente, o tempo de maquinagem final. De acordo com a revisão bibliográfica, foram selecionados os materiais apresentados na Tabela 29 por serem habitualmente utilizados nas estruturas de moldes de injeção para plástico. As Tabela 30 e Tabela 31 apresentam a composição química do aço 1.1730 e do aço 1.2311, respetivamente.

Tabela 29 - Normas equivalentes dos aços 1.1730 e 1.2311 [19].

Nº de Material	EuroNorma (EN)	AISI	DIN
1.1730	C45E / C45U	1045	Ck45
1.2311	--	P20	40 CrMnMo 7

Tabela 30 - Composição química do aço 1.1730 [19].

Elemento Químico	Mínimo (%)	Máximo (%)
Carbono (C)	0,42	0,50
Silício (Si)	--	0,40
Manganês (Mn)	0,50	0,80
Fósforo (P)	--	0,035
Enxofre (S)	--	0,035

Tabela 31 - Composição química do aço 1.2311 [19].

Elemento Químico	Mínimo (%)	Máximo (%)
Carbono (C)	0,35	0,45
Silício (Si)	0,20	0,40
Manganês (Mn)	1,30	1,60
Fósforo (P)	--	0,035
Enxofre (S)	--	0,035
Crómio (Cr)	1,80	2,10
Molibdénio (Mo)	0,15	0,25

## Roscas Métricas

A Tabela 32 apresenta as dimensões de cada uma das roscas métricas consideradas, e a Figura 34 apresenta a imagem de uma rosca.

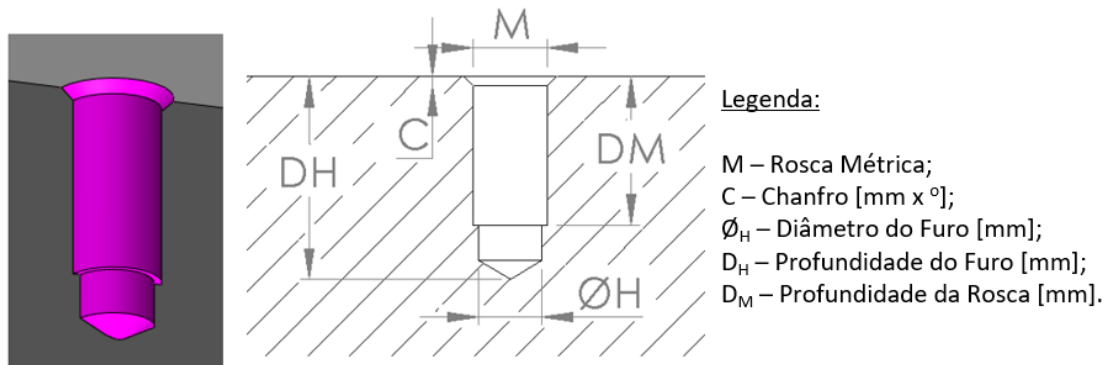


Figura 34 - Roscas métricas.

Importa salientar que a profundidade dos elementos ROSC10 e ROSC11 superam a espessura das peças com 46 mm de espessura. Nestes casos, o tempo dos elementos não foi determinado como roscas métricas cegas, mas sim como roscas métricas passantes.

Tabela 32 - Dimensões das roscas métricas consideradas.

Referência	M	Ø <sub>H</sub> (mm)	D <sub>H</sub> (mm)	D <sub>M</sub> (mm)	Passo (mm)	C (mm x °)
ROSC01	M3	2,50	7,50	6,00	0,50	1 x 45
ROSC02	M4	3,30	10,10	8,00	0,70	1 x 45
ROSC03	M5	4,20	12,40	10,00	0,80	1 x 45
ROSC04	M6	5,00	15,00	12,00	1,00	1 x 45
ROSC05	M8	6,80	19,75	16,00	1,25	1 x 45
ROSC06	M10	8,50	24,75	20,00	1,50	1 x 45
ROSC07	M12	10,20	29,25	24,00	1,75	1 x 45
ROSC08	M16	14,00	38,00	32,00	2,00	1 x 45
ROSC09	M20	17,50	47,50	40,00	2,50	1 x 45
ROSC10	M24	21,00	57,00	48,00	3,00	1 x 45
ROSC11	M30	26,50	70,50	60,00	3,50	1 x 45

## Furos Passantes

Os furos passantes estão ilustrados na Figura 35 e as suas dimensões caracterizadas na Tabela 33. Como são elementos passantes, foi calculado o tempo de maquinagem para cada um em função da espessura.

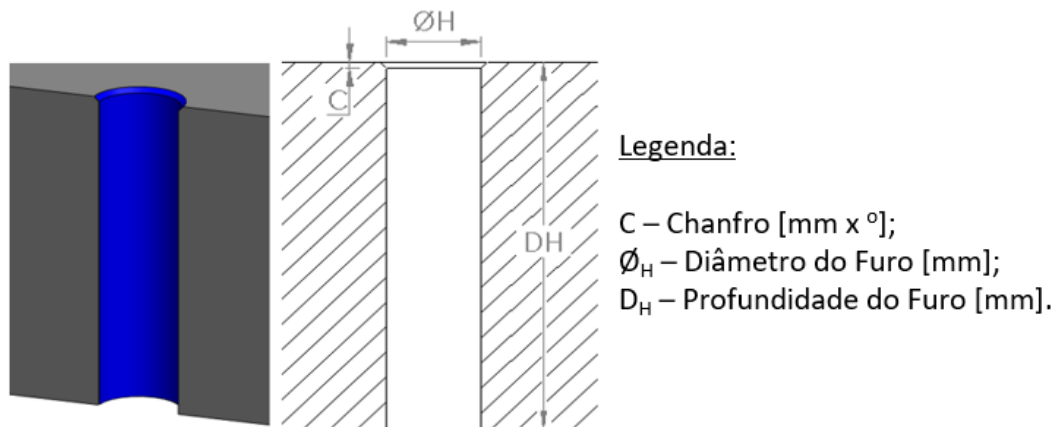


Figura 35 - Furos passantes.

Alguns furos com menor diâmetro não foram considerados para algumas espessuras, pela dificuldade em encontrar ferramenta para a operação.

Tabela 33 - Dimensões dos furos passantes considerados.

Ø <sub>H</sub> (mm)	C (mm x °)	D <sub>H</sub> (mm)				
		46,00	66,00	86,00	96,00	136,00
6,00	1 x 45	FOLG01				
7,00	1 x 45	FOLG02				
9,00	1 x 45	FOLG03	FOLG16			
10,00	1 x 45	FOLG04	FOLG17	FOLG29	FOLG41	
11,00	1 x 45	FOLG05	FOLG18	FOLG30	FOLG42	
11,50	1 x 45	FOLG06	FOLG19	FOLG31	FOLG43	
13,50	1 x 45	FOLG07	FOLG20	FOLG32	FOLG44	FOLG53
14,00	1 x 45	FOLG08	FOLG21	FOLG33	FOLG45	FOLG54
15,50	1 x 45	FOLG09	FOLG22	FOLG34	FOLG46	FOLG55
16,00	1 x 45	FOLG10	FOLG23	FOLG35	FOLG47	FOLG56
17,50	1 x 45	FOLG11	FOLG24	FOLG36	FOLG48	FOLG57
20,00	1 x 45	FOLG12	FOLG25	FOLG37	FOLG49	FOLG58
22,00	1 x 45	FOLG13	FOLG26	FOLG38	FOLG50	FOLG59
22,50	1 x 45	FOLG14	FOLG27	FOLG39	FOLG51	FOLG60
27,00	1 x 45	FOLG15	FOLG28	FOLG40	FOLG52	FOLG61

### Alojamento para parafusos

Assim como nos furos passantes, o tempo de maquinagem foi calculado para cada um em função da espessura da peça, e encontram-se ilustrados na Figura 36 e as suas dimensões na Tabela 34.

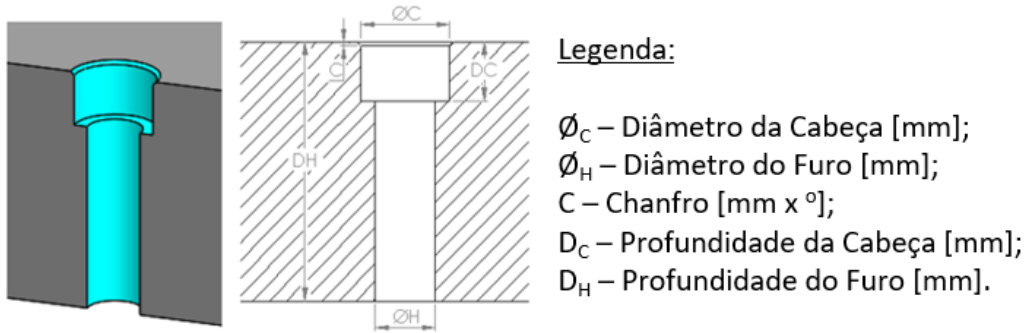


Figura 36 - Alojamento para parafusos

Alguns furos com menor dimensão não foram considerados para algumas espessuras, pela dificuldade em encontrar ferramenta para a operação.

Tabela 34 - Dimensões dos alojamentos para parafusos considerados.

$\varnothing_C$ (mm)	$\varnothing_H$ (mm)	$D_C$ (mm)	C (mm x °)	$D_H$ (mm)				
				46,00	66,00	86,00	96,00	136,00
10,00	6,00	6,00	1 x 45	ALOJ01				
11,00	7,00	7,00	1 x 45	ALOJ02				
14,00	9,00	9,00	1 x 45	ALOJ03	ALOJ10			
17,00	11,00	11,00	1 x 45	ALOJ04	ALOJ11	ALOJ17	ALOJ23	
21,00	13,50	13,00	1 x 45	ALOJ05	ALOJ12	ALOJ18	ALOJ24	ALOJ29
23,00	15,50	15,00	1 x 45	ALOJ06	ALOJ13	ALOJ19	ALOJ25	ALOJ30
26,00	17,50	17,00	1 x 45	ALOJ07	ALOJ14	ALOJ20	ALOJ26	ALOJ31
32,00	22,00	21,00	1 x 45	ALOJ08	ALOJ15	ALOJ21	ALOJ27	ALOJ32
37,00	27,00	27,00	1 x 45	ALOJ09	ALOJ16	ALOJ22	ALOJ28	ALOJ33

## Cavilhas

As cavilhas consideradas encontram-se caracterizadas na Tabela 35. A Figura 37 ilustra uma cavilha exemplo.

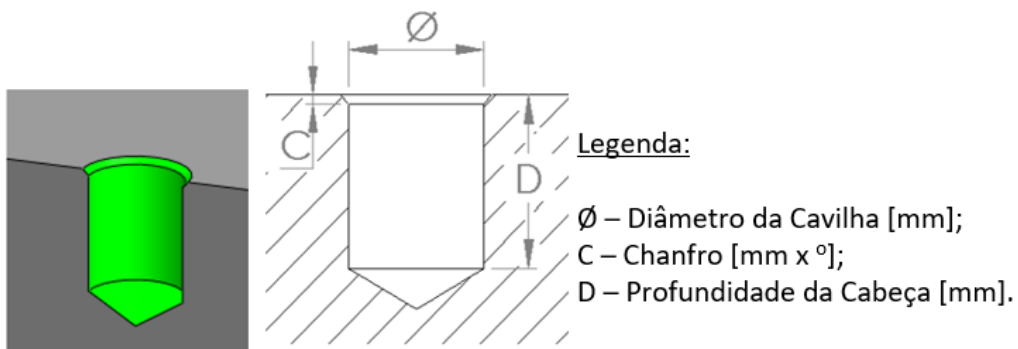


Figura 37 - Cavilha.

Tabela 35 - Dimensões das cavilhas consideradas.

Ø (mm)	C (mm x °)	D (mm)			
		10,00	16,00	25,00	30,00
10,00	1 x 45	CAVI01	CAVI05	CAVI09	CAVI13
12,00	1 x 45	CAVI02	CAVI06	CAVI10	CAVI14
16,00	1 x 45	CAVI03	CAVI07	CAVI11	CAVI15
20,00	1 x 45	CAVI04	CAVI08	CAVI12	CAVI16

### Caixas retangulares

A Figura 38 ilustra uma caixa retangular exemplo, enquanto a Tabela 36 apresenta as dimensões consideradas.

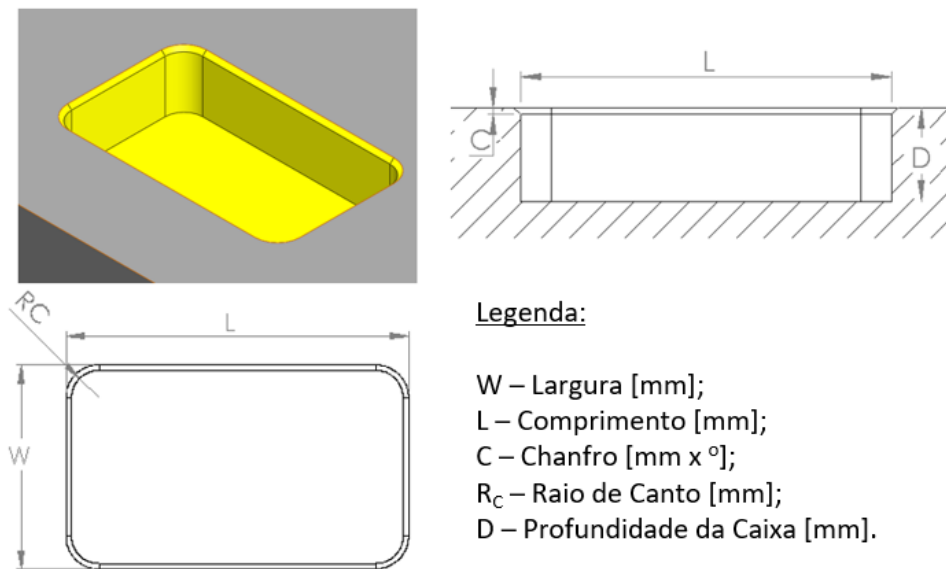


Figura 38 - Caixas retangulares.

Tabela 36 - Caixas retangulares consideradas e suas dimensões.

Referência	L (mm)	W (mm)	D (mm)	R <sub>c</sub> (mm)	C (mm x °)
RECT01	50,00	25,00	10,00	5,00	1 x 45
RECT02	60,00	35,00	15,00	5,00	1 x 45
RECT03	80,00	45,00	10,00	5,00	1 x 45
RECT04	90,00	55,00	15,00	10,00	1 x 45
RECT05	100,00	55,00	20,00	10,00	1 x 45
RECT06	115,00	55,00	25,00	10,00	1 x 45
RECT07	140,00	55,00	20,00	10,00	1 x 45
RECT08	120,00	45,00	25,00	8,00	1 x 45
RECT09	110,00	65,00	30,00	10,00	1 x 45
RECT10	180,00	55,00	35,00	10,00	1 x 45
RECT11	205,00	50,00	30,00	8,00	1 x 45

## Guias

A Figura 39 apresenta a ilustração de uma guia exemplo, e a Tabela 37 apresenta as dimensões consideradas.

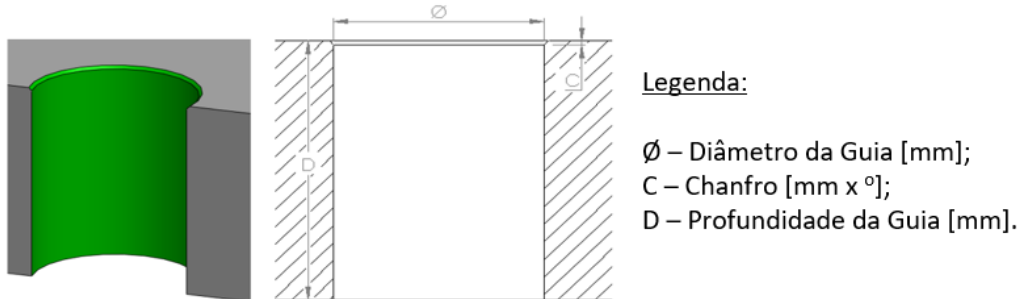


Figura 39 - Guias.

Tabela 37 - Dimensões das guias consideradas.

Ø (mm)	C (mm x °)	D (mm)				
		46,00	66,00	86,00	96,00	136,00
30,00	1 x 45	GUIA01	GUIA08	GUIA15	GUIA22	GUIA29
32,00	1 x 45	GUIA02	GUIA09	GUIA16	GUIA23	GUIA30
40,00	1 x 45	GUIA03	GUIA10	GUIA17	GUIA24	GUIA31
42,00	1 x 45	GUIA04	GUIA11	GUIA18	GUIA25	GUIA32
50,00	1 x 45	GUIA05	GUIA12	GUIA19	GUIA26	GUIA33
52,00	1 x 45	GUIA06	GUIA13	GUIA20	GUIA27	GUIA34
60,00	1 x 45	GUIA07	GUIA14	GUIA21	GUIA28	GUIA35

## Caixas circulares cegas

A Figura 40 apresenta a ilustração de uma caixa circular cega, e a Tabela 38 as dimensões consideradas.



Figura 40 - Caixa circular cega.

Tabela 38 - Dimensões das caixas circulares cegas consideradas.

$\varnothing$ (mm)	C (mm x °)	D (mm)					
		6,00	7,00	9,00	11,00	14,00	15,00
110,00	1 x 45	CIRC01		CIRC02		CIRC03	
160,00	1 x 45		CIRC04		CIRC05		CIRC06
175,00	1 x 45		CIRC07		CIRC08		CIRC09
200,00	1 x 45		CIRC10		CIRC11		CIRC12

### Caixas circulares passantes

As caixas circulares passantes consideradas encontram-se caracterizadas na Tabela 39 e ilustradas na Figura 41.



Figura 41 - Caixas circulares passantes.

Tabela 39 - Dimensões das caixas circulares passantes consideradas.

$\varnothing$ (mm)	C (mm x °)	D (mm)				
		46,00	66,00	86,00	96,00	136,00
63,00	1 x 45	CIRP01	CIRP04	CIRP07	CIRP10	CIRP13
80,00	1 x 45	CIRP02	CIRP05	CIRP08	CIRP11	CIRP14
100,00	1 x 45	CIRP03	CIRP06	CIRP09	CIRP12	CIRP15

### 3.2.2 Sequências operatórias

Nesta etapa serão definidas e justificadas as operações para a maquinagem de cada um dos elementos.

#### 1 - Roscas Métricas

Para a maquinagem das roscas métricas, foi definida a seguinte sequência de operações:

- Furar;
- Escarear;
- Roscar.

A justificação de cada operação é apresentada na Tabela 40.

Tabela 40 - Sequência de operações para a maquinagem das roscas métricas.

Nº Op.	Operação	Justificação
1.1	Furar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O objetivo desta operação é a realização do furo da rosca com diâmetro <math>\varnothing_H</math> a uma profundidade <math>D_H</math> nos casos em que a rosca é cega, ou a uma profundidade superior em 5 mm à espessura da peça nos casos em que a rosca é passante;</li> <li>- Os diâmetros internos das roscas são normalizados, pelo que existem brocas normalizadas para a operação;</li> </ul>
1.2	Escarear	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tem como objetivo maquinar o chanfro da rosca;</li> <li>- Esta operação deve ser feita antes da de roscar, para garantir que o macho utilizado na operação de roscagem não encontre rebarbas geradas pela Op. 1.1 e desvie;</li> </ul>
1.3	Roscar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nesta operação, deve ser utilizado um macho adequado à rosca que se pretende maquinar;</li> <li>- O macho deverá ir até uma profundidade <math>D_M</math> nos casos em que a rosca é cega, ou a uma profundidade superior em 5 mm à espessura da peça no caso das roscas passantes;</li> <li>- Nas roscas cegas, a profundidade da rosca é menor que a profundidade do furo, para garantir que a ferramenta de roscagem não seja danificada por limalhas acumuladas no fundo do furo.</li> </ul>

## 2 – Furos Passantes

Para a maquinagem dos furos passantes, foi definida a seguinte sequência de operações:

- Furar;
- Escarear.

A Tabela 41 apresenta a justificação das operações selecionadas.

Tabela 41 - Sequência de operações para a maquinagem dos furos passantes.

Nº Op.	Operação	Justificação
2.1	Furar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A estratégia mais simples para maquinar um furo é através da furação;</li> <li>- Como os furos são passantes, a broca deve ir até uma profundidade superior em 5 mm à espessura da peça;</li> </ul>
2.2	Escarear	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O objetivo desta operação é a maquinagem dos chanfros dos furos.</li> </ul>

### 3 – Alojamento para parafusos

Para a maquinagem dos alojamentos para parafusos, foi definida a seguinte sequência de operações:

- Furar;
- Furar (cabeça);
- Escarear.

É apresentada na Tabela 42 a justificação das operações selecionadas.

Tabela 42 - Sequência de operações para a maquinagem dos alojamentos para parafusos.

Nº Op.	Operação	Justificação
3.1	Furar	- De forma semelhante à operação 2.1, o objetivo é realizar um furo de $\varnothing_H$ e com profundidade superior em 5 mm à espessura da peça; - Deve ser a primeira operação para facilitar as operações seguintes;
3.2	Furação Escalonada	- Deve ser feita como uma operação de furação, mas com uma ferramenta estilo <i>counter-boring</i> , de forma a permitir a maquinagem dos ângulos retos das cabeças dos alojamentos; - As ferramentas <i>counter-boring</i> precisam de um furo inicial, daí a necessidade desta operação ser subsequente da 3.1;
3.3	Escarear	- O objetivo desta operação é a maquinagem dos chanfros das cabeças dos alojamentos para parafusos.

### 4 – Cavilhas

Para a maquinagem das cavilhas, foi definida a seguinte sequência de operações, sendo apresentada na Tabela 43 a justificação de cada uma das operações:

- Furar;
- Escarear;
- Mandrilar.

Tabela 43 - Sequência de operações para a maquinagem das cavilhas.

Nº Op.	Operação	Justificação
4.1	Furar	- As cavilhas são elementos onde o diâmetro é de tolerância apertada, e essa tolerância não é garantida pela broca, mas sim por um mandril; - É realizado um pré-furo com uma broca de diâmetro muito próximo do diâmetro da cavilha, de forma a deixar material suficiente para a operação 4.3;

4.2	Escarear	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O objetivo desta operação é a maquinagem dos chanfros das cavilhas;</li> <li>- Esta operação, à semelhança da operação 1.2, deve ser feita antes do mandrilamento, para garantir que o mandril não sofre desvio em rebarbas criadas pela broca;</li> </ul>
4.3	Mandrilar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A operação de mandril é feita com recurso a um mandril inteiriço de diâmetro igual ao diâmetro da cavilha;</li> <li>- Os mandris garantem as tolerâncias apertadas requeridas.</li> </ul>

## 5 – Caixas retangulares

Para a maquinagem das caixas retangulares, foi definida a seguinte sequência de operações, sendo apresentada na Tabela 44 a devida justificação:

- Desbastar;
- Redução de cantos;
- Escarear;
- Acabamento de chão;
- Acabamento das paredes.

Tabela 44 - Sequência de operações para a maquinagem das caixas retangulares.

Nº Op.	Operação	Justificação
5.1	Desbastar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O objetivo desta operação é remover a maior quantidade de material no menor tempo possível;</li> <li>- Esta operação deixará uma sobre-espessura (<i>stock</i>) de 0,15 mm nas superfícies verticais (paredes) e horizontais (chão), para posterior acabamento;</li> </ul>
5.2	Redução de cantos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Esta operação deve ser realizada sempre que o diâmetro da ferramenta de corte utilizada no desbaste seja superior ao dobro do raio de canto (<math>R_c</math>);</li> <li>- Nesta operação mantém-se o <i>stock</i> de 0,15 mm;</li> <li>- O objetivo é garantir que o elemento desbastado tem um <i>stock</i> uniforme por todas as suas superfícies, de forma a salvaguardar o comportamento das ferramentas de acabamento;</li> </ul>
5.3	Escarear	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O objetivo desta operação é maquinar o chanfro das caixas retangulares;</li> <li>- A ferramenta utilizada deve ter um diâmetro inferior ao dobro do raio de canto (<math>R_c</math>);</li> </ul>

5.4	Acabamento de chão	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O objetivo desta operação é acabar as superfícies horizontais da caixa retangular, garantindo os requisitos dimensionais e de rugosidade superficial;</li> <li>- Nesta operação, deve ser utilizada uma ferramenta com diâmetro inferior ao dobro do raio de canto <math>R_c</math>;</li> <li>- O acabamento de chão é feito antes do acabamento das paredes, para remover o raio de fundo deixado (ou não) pelas ferramentas de desbaste e redução de cantos. Assim, é salvaguardada a ferramenta de acabamento de paredes;</li> <li>- Deve então ser utilizada uma ferramenta com raio de fundo pequeno;</li> </ul>
5.5	Acabamento das paredes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O objetivo desta operação é acabar as superfícies verticais da caixa retangular, garantindo os requisitos dimensionais e de rugosidade superficial;</li> <li>- Nesta operação, deve ser utilizada uma ferramenta com diâmetro inferior ao dobro do raio de canto <math>R_c</math>.</li> </ul>

## 6 – Guias

Para a maquinagem das guias, foi definida a seguinte sequência de operações:

- Furar;
- Desbastar;
- Escarear;
- Mandrilar.

A Tabela 45 apresenta a justificação das operações selecionadas.

Tabela 45 - Sequência de operações para a maquinagem das guias.

Nº Op.	Operação	Justificação
6.1	Furar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O objetivo desta operação é realizar um furo, passante, e o mais próximo possível diâmetro da guia, de forma a remover a maior quantidade de material possível no menor tempo;</li> </ul>
6.2	Desbastar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Devido às dimensões das guias, nem sempre existem brocas com diâmetro suficiente para, à semelhança das cavilhas, realizar um pré-furo com um diâmetro muito próximo do diâmetro final da guia;</li> <li>- É assim necessária uma operação de desbaste para aproximar o diâmetro maquinado do diâmetro final da guia (0,15 mm de <i>stock</i>), e garantir o comportamento do mandril;</li> </ul>

<b>6.3</b>	Escarear	- Esta operação tem como objetivo a maquinagem do chanfro da guia; - Deve ser realizada, à semelhança das operações 1.2 e 4.2, antes da última operação, para garantir que a ferramenta não desvie em rebarbas;
<b>6.4</b>	Mandrilar	- As guias são elementos de alto rigor dimensional, pelo que o seu acabamento deve ser garantido por um mandril.

## 7 – Caixas circulares cegas

Para a maquinagem das caixas circulares cegas, foi definida a seguinte sequência de operações:

- Desbastar;
- Escarear;
- Acabamento de chão;
- Acabamento das paredes.

É apresentado na Tabela 46 a justificação das operações selecionadas.

Tabela 46 - Sequência de operações para maquinagem das caixas circulares cegas.

<b>Nº Op.</b>	<b>Operação</b>	<b>Justificação</b>
<b>7.1</b>	Desbastar	- Esta operação tem como objetivo remover a maior quantidade de material possível no menor tempo; - Deve ser deixado um <i>stock</i> de 0,15 mm nas superfícies verticais e horizontais, para posterior acabamento;
<b>7.2</b>	Escarear	- O objetivo desta operação é a maquinagem dos chanfros das caixas circulares cegas;
<b>7.3</b>	Acabamento de chão	- Nesta operação, é acabada a superfície horizontal das caixas circulares cegas, garantindo o seu rigor dimensional e superficial; - Esta operação deve ser efetuada antes do acabamento das paredes, pois as ferramentas de acabamento de chão irão remover grande parte do raio de fundo deixado pela ferramenta de desbaste, salvaguardando o comportamento da ferramenta de acabamento de paredes;
<b>7.4</b>	Acabamento das paredes	- Nesta operação, é acabada a superfície vertical das caixas circulares cegas, garantindo o seu rigor dimensional e superficial.

## 8 – Caixas circulares passantes

Para a maquinagem das caixas circulares passantes, foi definida a seguinte sequência de operações:

- Furar;
- Desbastar;
- Escarear;
- Acabamento das paredes.

É apresentado na Tabela 47 a justificação das operações selecionadas.

Tabela 47 - Sequência de operações para a maquinagem das caixas circulares passantes.

Nº Op.	Operação	Justificação
8.1	Furar	- À semelhança da Op. 6.1, esta operação tem como objetivo realizar um furo passante e o mais próximo possível do diâmetro da caixa circular passante, de forma a remover a maior quantidade de material possível e no menor tempo;
8.2	Desbastar	- Também à semelhança da Op. 6.2, devido ao dimensionamento das caixas circulares, nem sempre existem brocas com diâmetro igual ao da caixa circular passante; - É assim necessária uma operação de desbaste para aproximar o diâmetro maquinado do diâmetro final da guia (0,15 mm de <i>stock</i> ), e garantir o correto comportamento da ferramenta de acabamento de paredes;
8.3	Escarear	- O objetivo desta operação é a maquinagem dos chanfros das caixas circulares passantes;
8.4	Acabamento das paredes	- Esta operação tem como objetivo acabar as superfícies verticais das caixas circulares passantes, garantindo o rigor dimensional e superficial exigido.

### 3.2.3 Criação da biblioteca de ferramentas

Finda a definição da sequência de operações para cada elemento, foram selecionadas as ferramentas adequadas a cada uma das operações. A seleção das ferramentas, das estratégias de maquinagem e dos parâmetros de corte, foi feita com auxílio de aplicações disponibilizadas por fabricantes de ferramentas de corte, nomeadamente o *CoroPlus ToolGuide* da Sandvik® e sugestões da SECO®, tendo por base os seguintes critérios [86, 87]:

- **Operação:** a ferramenta selecionada deve ser capaz de desempenhar a operação a que se destina;
- **Material:** a ferramenta deve conseguir maquinar os materiais selecionados (1.1730 e 1.2311);
- **Geometria:** a ferramenta deve garantir as dimensões requeridas para cada elemento;
- **Altura:** para cada operação foi selecionada a ferramenta com menor altura possível, para evitar o mau comportamento desta;
- **Tempo:** a ferramenta selecionada é a que, segundo estimativas dos fabricantes, demora menos tempo para realizar a operação.

Foram também consultados catálogos de outros fabricantes como a Tungaloy® e a Pinzbohr® para algumas operações.

O material a maquinar (1.2311 ou 1.1730) também foi considerado na seleção das ferramentas e parâmetros de corte.

As ferramentas foram posteriormente desenhadas no *software* utilizado para a programação CAM, pelo que lhes foi atribuída a nomenclatura apresentada na Figura 42, para facilitar a organização do trabalho.

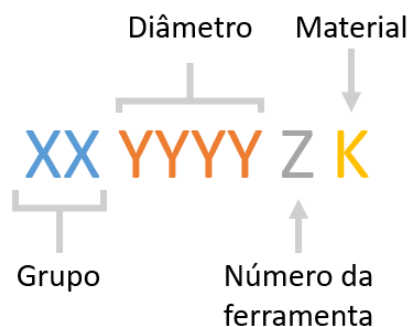


Figura 42 - Nomenclatura utilizada para as ferramentas.

Da nomenclatura importa referir:

- **Número do Grupo (XX):** as ferramentas foram divididas em grupos, em função do tipo de ferramenta e da operação a que se destinam. Os grupos são:
  - 10 – Brocas;
  - 11 – Escareadores;
  - 12 – Machos de corte;
  - 13 – *Counter-boring*;
  - 14 – Mandris;
  - 15 – Fresas para desbaste;
  - 16 – Fresas para acabamento;

- **Diâmetro da ferramenta (YYYY):** os quatro números seguintes corresponderão ao diâmetro da ferramenta, em milímetros, sendo o último número a décima de milímetro. Dessa forma, uma ferramenta de diâmetro 10,00 mm terá como código “0100”, e uma ferramenta de 10,50 mm apresentará o código “0105”;
- **Número da ferramenta (Z):** foi selecionada a ferramenta mais curta possível para cada operação, de forma a simular ao máximo um processo de maquinagem comum e a assegurar o correto funcionamento das ferramentas de corte. Assim, foram surgindo ferramentas do mesmo grupo e com o mesmo diâmetro, mas com altura diferente, pelo que se atribui um outro número com início em “1”;
- **Número do material a maquinar (K):** foi também conferido um número para o material de corte a maquinar. A mesma ferramenta terá uns parâmetros de corte para o aço 1.1730 e outros para o 1.2311. O número “1” corresponderá ao aço 1.1730 e o “2” ao 1.2311.

Assim, a broca mais curta de diâmetro 10 milímetros e com parâmetros de corte para aço 1.2311, por exemplo, terá o código “10010012”.

## Brocas

Apresenta-se na Tabela 48 as brocas utilizadas para a operação 1.1, assim como as principais características geométricas. Restantes informações sobre as ferramentas, assim como os parâmetros de corte, apresentam-se no anexo 6.1. De referir que nos códigos apresentados nas tabelas subsequentes, retirou-se o último número correspondente ao material a maquinar, por não serem apresentados os parâmetros de corte das mesmas.

De forma geral, foram utilizadas brocas inteiriças para furos de diâmetro inferior a 11,80 mm e brocas de pastilhas indexáveis para os restantes diâmetros. A Figura 43 apresenta as ferramentas 1001021 e 1001751, uma broca inteiriça e uma broca de pastilhas indexáveis, respetivamente.



Figura 43 - Broca inteiriça da ferramenta 1001021 (à esquerda) e broca 1001751 de pastilhas indexáveis (à direita).

Tabela 48 - Brocas utilizadas para a Op. 1.1 (Roscas métricas).

Código	Fabricante	Tipo	Diâmetro de Corte (mm)	Comprimento de Corte (mm)	Comprimento útil (mm)
1000251	Sandvik	Inteiraça	2,50	18,80	25,00
1000331	Sandvik	Inteiraça	3,30	17,10	28,00
1000421	Sandvik	Inteiraça	4,20	13,30	24,00
1000501	Sandvik	Inteiraça	5,00	15,80	28,00
1000681	Sandvik	Inteiraça	6,80	21,50	34,00
1000851	Sandvik	Inteiraça	8,50	26,90	47,00
1001021	Sandvik	Inteiraça	10,20	32,30	55,00
1001401	Sandvik	Indexável	14,00	42,00	45,00
1001751	Sandvik	Indexável	17,50	53,00	56,00
1002101	Sandvik	Indexável	21,00	63,00	66,00
1002651	Sandvik	Indexável	26,50	80,00	83,00

Para a furação das cavilhas (Operação 4.1), foram selecionadas brocas com um diâmetro inferior em 0,2 mm ao diâmetro da cavilha, de forma a deixar 0,1 mm de *stock* de material nas paredes, que serão posteriormente removidos pelos mandris inteiriços, garantindo a tolerância do diâmetro das cavilhas.

A Tabela 49 apresenta as brocas utilizadas na operação 4.1, assim como as suas principais características geométricas.

Tabela 49 - Brocas utilizadas para a Op. 4.1 (Cavilhas).

Código	Fabricante	Tipo	Diâmetro de Corte (mm)	Comprimento de Corte (mm)	Comprimento útil (mm)
1000981	Sandvik	Inteiraça	9,80	48,30	61,00
1001181	Sandvik	Inteiraça	11,80	37,30	55,00
1001581	Sandvik	Indexável	15,80	50,42	53,00
1001981	Sandvik	Indexável	19,80	63,01	66,00

Para a operação 6.1, foram selecionadas brocas indexáveis de dois diâmetros diferentes. As brocas de  $\varnothing 38,00$  mm foram utilizadas nas guias de  $\varnothing 40$  mm e  $\varnothing 42$  mm, e as brocas de  $\varnothing 45$  mm nas guias de diâmetro 50, 52 e 60 mm (ver Tabela 50).

A operação 6.1 das guias de diâmetro 30 e 32 mm foi feita utilizando brocas de  $\varnothing 27$  mm, apresentadas na Tabela 51, por terem sido utilizadas também nos furos passantes e furos para alojamentos de parafusos.

As restantes ferramentas caracterizadas na Tabela 51 foram utilizadas nas operações 2.1 dos furos passantes e/ou 3.1 dos alojamentos para parafusos, tendo sido selecionadas em função do diâmetro pretendido e comprimento de corte necessário.

Tabela 50 - Brocas utilizadas para a Op. 6.1 (Guias).

<b>Código</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Tipo</b>	<b>Diâmetro de Corte (mm)</b>	<b>Comprimento de Corte (mm)</b>	<b>Comprimento útil (mm)</b>
1003801	Sandvik	Indexável	38,00	76,00	80,00
1003802	Sandvik	Indexável	38,00	114,00	118,00
1003803	Sandvik	Indexável	38,00	152,00	156,00
1004501	Sandvik	Indexável	45,00	90,00	95,00
1004502	Sandvik	Indexável	45,00	180,00	185,00

Tabela 51 - Brocas utilizadas nas Op. 2.1 (Furos passantes) e 3.1 (Alojamentos para parafusos).

<b>Código</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Tipo</b>	<b>Diâmetro de Corte (mm)</b>	<b>Comprimento de Corte (mm)</b>	<b>Comprimento útil (mm)</b>
1000601	Sandvik	Inteira	6,00	48,90	58,00
1000701	Sandvik	Inteira	7,00	57,10	68,00
1000901	Sandvik	Inteira	9,00	73,50	95,00
1001001	Sandvik	Inteira	10,00	48,00	61,00
1001002	Sandvik	Indexável	10,00	85,54	99,40
1001003	Sandvik	Indexável	10,00	106,52	120,40
1001101	Sandvik	Indexável	11,00	59,21	72,24
1001102	Sandvik	Indexável	11,00	93,68	107,25
1001103	Sandvik	Indexável	11,00	116,66	130,25
1001151	Sandvik	Indexável	11,50	61,80	75,17
1001152	Sandvik	Indexável	11,50	97,77	111,17
1001351	Sandvik	Indexável	13,50	72,11	74,00
1001352	Sandvik	Indexável	13,50	114,08	117,00
1001353	Sandvik	Indexável	13,50	142,06	145,00
1001401	Sandvik	Indexável	14,00	77,25	80,00
1001402	Sandvik	Indexável	14,00	122,22	125,00
1001403	Sandvik	Indexável	14,00	152,20	155,00
1001551	Sandvik	Indexável	15,50	82,40	85,00
1001552	Sandvik	Indexável	15,50	130,37	133,00
1001553	Sandvik	Indexável	15,50	162,35	165,00
1001601	Sandvik	Indexável	16,00	53,56	56,00
1001602	Sandvik	Indexável	16,00	87,54	90,00
1001603	Sandvik	Indexável	16,00	138,51	141,00

1001751	Sandvik	Indexável	17,50	53,00	56,00
1001752	Sandvik	Indexável	17,50	92,69	95,00
1001753	Sandvik	Indexável	17,50	146,66	149,00
1002001	Sandvik	Indexável	20,00	60,00	64,00
1002002	Sandvik	Indexável	20,00	108,14	111,00
1002003	Sandvik	Indexável	20,00	171,11	174,00
1002201	Sandvik	Indexável	22,00	66,00	69,00
1002202	Sandvik	Indexável	22,00	118,43	122,00
1002203	Sandvik	Indexável	22,00	187,40	191,00
1002251	Sandvik	Indexável	22,50	68,00	71,00
1002252	Sandvik	Indexável	22,50	118,43	122,00
1002253	Sandvik	Indexável	22,50	187,00	191,00
1002701	Sandvik	Indexável	27,00	54,00	58,00
1002702	Sandvik	Indexável	27,00	108,00	111,00
1002703	Sandvik	Indexável	27,00	144,19	148,00

### Escareadores

Em grande parte das operações de escareamento (1.2, 2.2, 3.3, 4.2, 6.3, 7.2, 8.3) foi utilizado o escareador 1101001 de ponta indexável para os elementos com diâmetro inferior a 17 mm, e o escareador 1101601 de pastilhas intercambiáveis para os restantes elementos (ver Figura 44).

Na operação 5.3 (caixas retangulares), o escareador foi selecionado em função do raio de canto da caixa retangular, 1101001 para raios de canto inferiores 8 mm e 1101601 para as restantes. Os escareadores e as suas principais características geométricas constam na Tabela 52.

Tabela 52 - Escareadores utilizados.

Código	Fabricante	Tipo	Diâmetro de Corte (mm)	Comprimento de Corte (mm)	Comprimento útil (mm)
1101001	SECO	Intercambiável	9,60	14,50	20,00
1101601	SECO	Indexável	16,00	80,00	32,00

### Machos de corte

Para a operação 1.3, foram utilizados os machos de corte apresentados na Tabela 53. Na Figura 44 consta uma imagem do macho da ferramenta 1201601.



Figura 44 - Ponta indexável do escareador 1101001 (à esquerda), escareador e pastilha utilizada na ferramenta 1101601 (ao centro) e macho da ferramenta 1201601 (à direita).

Tabela 53 - Machos de corte utilizados na Op. 1.3 (Roscas Métricas)

Código	Fabricante	Tipo	Rosca	Passo (mm)	Comprimento de Corte (mm)	Comprimento útil (mm)
1200301	Sandvik	Inteira	M3	0,50	6,00	18,00
1200401	Sandvik	Inteira	M4	0,70	7,00	21,00
1200501	Sandvik	Inteira	M5	0,80	8,00	25,00
1200601	Sandvik	Inteira	M6	1,00	10,00	31,00
1200801	Sandvik	Inteira	M8	1,25	12,00	35,00
1201001	Sandvik	Inteira	M10	1,50	15,00	39,00
1201201	Sandvik	Inteira	M12	1,75	16,00	55,00
1201601	Sandvik	Inteira	M16	2,00	20,00	60,00
1202001	Sandvik	Inteira	M20	2,50	25,00	72,00
1202401	Sandvik	Inteira	M24	3,00	30,00	91,00
1203001	Sandvik	Inteira	M30	3,50	36,00	108,00

### Counter-boring

Na operação 3.2 de furação escalonada, foram selecionadas ferramentas *counter-boring* do fabricante Tungaloy®. Estas ferramentas apresentam diâmetro fixo e são escolhidas em função do diâmetro e profundidade da cabeça do alojamento que se pretende maquinar. A Figura 45 expõe a ferramenta 1302301 e a Tabela 54 apresenta as ferramentas *counter-boring* utilizadas.

### Mandris

Os mandris utilizados, podem ser divididos em mandris inteiriços ou mandris de pastilha intercambiável. Os primeiros foram utilizados na operação 4.3 das cavilhas por terem diâmetro fixo, e os segundos na operação 6.4 das guias passantes por serem de diâmetro ajustável.

Tabela 54 - *Counter-boring* utilizados na Op. 3.2 (Alojamento para parafusos).

Código	Fabricante	Tipo	Diâmetro de Corte (mm)	Comprimento de Corte (mm)	Comprimento útil (mm)
1301001	Tungaloy	Indexável	10,00	13,00	17,00
1301101	Tungaloy	Indexável	11,00	14,00	18,70
1301401	Tungaloy	Indexável	14,00	18,00	24,00
1301701	Tungaloy	Indexável	17,00	13,00	21,00
1302101	Tungaloy	Indexável	21,00	17,00	26,00
1302301	Tungaloy	Indexável	23,00	19,00	29,00
1302601	Tungaloy	Indexável	26,00	21,00	33,00
1303201	Tungaloy	Indexável	32,00	40,00	40,00
1303701	Tungaloy	Indexável	37,00	50,00	70,00

A Figura 45 apresenta o mandril inteiriço da ferramenta 1402001 e o mandril de pastilha da ferramenta 1405001. As principais características geométricas dos mandris inteiriços e de pastilhas constam na Tabela 55 e Tabela 56, respetivamente.

Não são apresentados valores para o comprimento útil dos mandris de pastilha, porque este pode variar em função do cone utilizado. Os cones não foram considerados no presente trabalho, pelo que se assume que os mandris são capazes de maquinar 136,00 mm, o comprimento máximo de corte necessário neste trabalho. No catálogo dos fabricantes, não são definidos parâmetros de corte diferentes em função da altura a mandarilar.



Figura 45 - Mandril inteiriço da ferramenta 1402001 (à esquerda) e mandril de pastilha da ferramenta 1405001 (à direita).

Tabela 55 - Mandris utilizados na Op. 4.3 (Cavilhas).

Código	Fabricante	Tipo	Diâmetro de Corte (mm)	Comprimento de Corte (mm)	Comprimento útil (mm)
1401001	Sandvik	Inteiraça	10,00	20,00	80,00
1401201	Sandvik	Inteiraça	12,00	20,00	75,00
1401601	Sandvik	Inteiraça	16,00	25,00	102,00
1402001	Sandvik	Inteiraça	20,00	25,00	100,00

Tabela 56 - Mandris utilizados para a Op. 6.4 (Guias).

Código	Fabricante	Tipo	Diâmetro de Corte Mínimo (mm)	Diâmetro de Corte Máximo (mm)
1403001	Pinzbohr	Indexável	29,00	40,00
1404001	Pinzbohr	Indexável	39,00	50,00
1405001	Pinzbohr	Indexável	49,00	65,00

### Fresas para desbaste

Para o desbaste das caixas retangulares (Operação 5.1), foram selecionadas fresas de topo inteiriças, ou também designadas como fresas de lâminas (ver Figura 46). Estas ferramentas permitem um desbaste rápido, pois admitem trabalhar com profundidades de corte ( $a_p$ ) elevadas. Para além disso, permitem também um bom acabamento superficial e elevado rigor dimensional, pelo que foram também utilizadas nas operações de redução de cantos e acabamento de chão e paredes (Op. 5.2, 5.3 e 5.4, respetivamente). Para cada uma das operações, foram utilizados parâmetros de corte adequados e indicados pelos fabricantes. As principais características geométricas das fresas de topo utilizadas são apresentadas na Tabela 57.

Tabela 57 - Fresas utilizadas nas Op. 5.1, 5.2, 5.4 e 5.5 (Caixas Retangulares)

Código	Fabricante	Tipo	Diâmetro de Corte (mm)	Comprimento de Corte (mm)	Comprimento útil (mm)
1501001	Sandvik	Inteiraça	10,00	22,00	30,00
1500801	Sandvik	Inteiraça	8,00	18,00	18,00
1501201	Sandvik	Inteiraça	12,00	26,00	36,00
1501601	Sandvik	Inteiraça	16,00	34,00	42,00

Para as operações 6.2 e 8.2 de desbaste das guias e caixas circulares passantes, respetivamente, foram utilizadas as fresas de pastilhas intercambiáveis apresentadas na Tabela 58 e Figura 46.

Tabela 58 - Fresas utilizadas nas Op. 6.2 (Guias) e 8.2 (Caixas Circulares Passantes).

Código	Fabricante	Tipo	Diâmetro de Corte (mm)	Comprimento de Corte (mm)	Comprimento útil (mm)
1502501	SECO	Indexável	25,00	9,00	150,00
1503201	SECO	Indexável	32,00	10,00	150,00
1504001	SECO	Indexável	40,00	17,00	150,00



Figura 46 - Fresa de topo da ferramenta 1501601 (à esquerda) e fresa de pastilhas intercambiáveis da ferramenta 1502501 (à direita).

Para o desbaste das caixas circulares cegas, foram utilizadas as ferramentas apresentadas na Tabela 59 (Operação 7.1)

Tabela 59 - Fresas utilizadas na Op. 7.1 (Caixas circulares cegas).

Código	Fabricante	Tipo	Diâmetro de Corte (mm)	Comprimento de Corte (mm)	Comprimento útil (mm)
1503202	Sandvik	Indexável	32,00	15,70	40,00
1504002	Sandvik	Indexável	40,00	15,70	110,00

### Fresas para acabamento

Para o acabamento das superfícies verticais e horizontais das caixas circulares cegas, foi utilizada a ferramenta 1603801, apresentada na Tabela 60 e ilustrada na Figura 47.

O acabamento das superfícies verticais das caixas circulares passantes foi feito com recurso às fresas de lâminas apresentadas na Figura 47, e cujas principais características geométricas se apresentam na Tabela 61.

Tabela 60 - Ferramenta utilizada nas Op. 7.3 e 7.4 (caixas circulares cegas).

Código	Fabricante	Tipo	Diâmetro de Corte (mm)	Comprimento de Corte (mm)	Comprimento útil (mm)
1603801	Sandvik	Indexável	38,00	15,70	40,00

Tabela 61 - Ferramentas utilizadas na Op. 8.4 (caixas circulares passantes).

Código	Fabricante	Tipo	Diâmetro de Corte (mm)	Comprimento de Corte (mm)
1602001	SECO	Inteira	20,00	42,00
1601601	SECO	Inteira	16,00	80,00
1602002	SECO	Inteira	20,00	100,00
1603201	SECO	Inteira	32,00	160,00



Figura 47 - Fresa de pastilhas intercambiáveis utilizada na ferramenta 1603801 (à esquerda) e fresa de lâminas utilizada como ferramenta nº 1602002 (à direita).

### 3.2.4 Programação CAM e estratégias de maquinagem

A programação das peças e dos elementos a maquinar para recolha dos tempos de maquinagem, foi feita com recurso ao MasterCAM®. Apresentam-se de seguida as opções tomadas na maquinagem dos diversos elementos.

#### 1 – Furar

As operações de furação podem ser realizadas como um caminho 2D (2D *Toolpath*). De seguida, o MasterCAM® apresenta ao utilizador a janela apresentada na Figura 48.

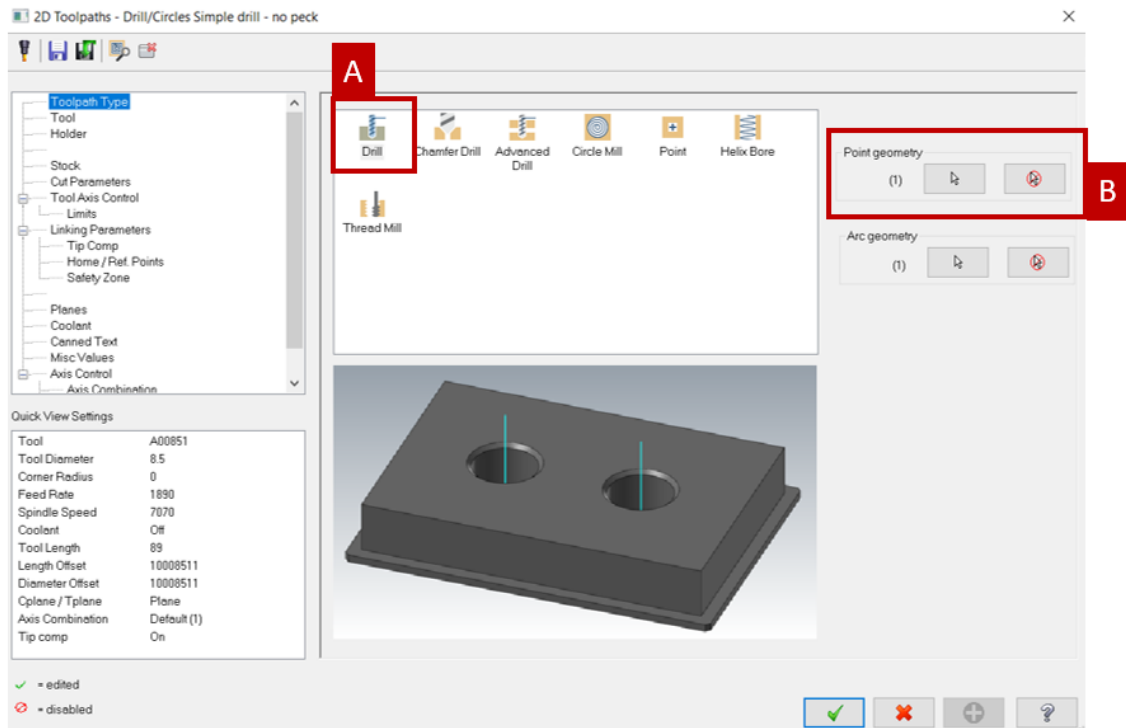


Figura 48 - Janela para seleção da estratégia 2D a adotar para furação.

A estratégia 2D para as operações de furação (1.1, 2.1, 3.1, 4.1, 6.1, 8.1) foi a *Drill* assinalada no ponto A da Figura 48, por ser a que mais se adequa à operação que se pretende realizar. O ponto B assinala o local onde é definido o centro do furo a maquinar. Este local é selecionado na peça 3D.

A segunda janela, apresentada na Figura 49, destina-se à seleção da ferramenta de corte a utilizar. No exemplo apresentado, a operação é a 1.1 de uma rosca métrica M10 para uma peça de aço 1.1730, pelo que se optou pela ferramenta 10008511. O ponto A da Figura 49 apresenta a biblioteca de ferramentas criada e onde constam o código da ferramenta, o diâmetro, comprimento, número de arestas de corte, entre outros. No ponto B são exibidas algumas propriedades da ferramenta, assim como os parâmetros de corte utilizados e uma caixa para comentários.

A Figura 50 representa a terceira janela, onde é selecionada a estratégia de furação a utilizar. O MasterCAM® dispõe de várias estratégias de furação: direta, com remoção da avara, com esmagamento da avara, mandrilamento, entre outras. Para a generalidade dos casos, foi selecionada a opção de furação direta, por ser a recomendada pelos fabricantes de ferramentas. Esta seleção encontra-se representada no ponto A da Figura 50 como *Drill/Counterbore*.

O ponto B assinala o *Dwell*, que corresponde ao tempo que a ferramenta de corte, numa estratégia de furação, despende, em rotação, no fundo do furo. Esta opção é utilizada quando se pretende garantir bom acabamento ou algum rigor dimensional, o que não é o caso das operações de furação, pelo que se manteve este valor a zero.

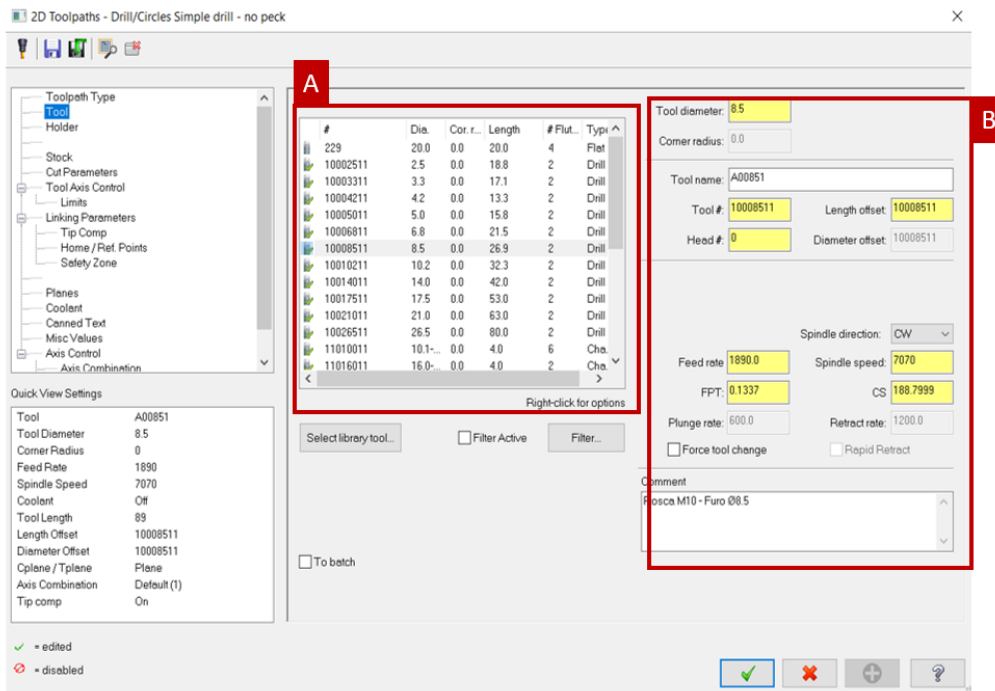


Figura 49 - Janela para seleção da ferramenta para furação.

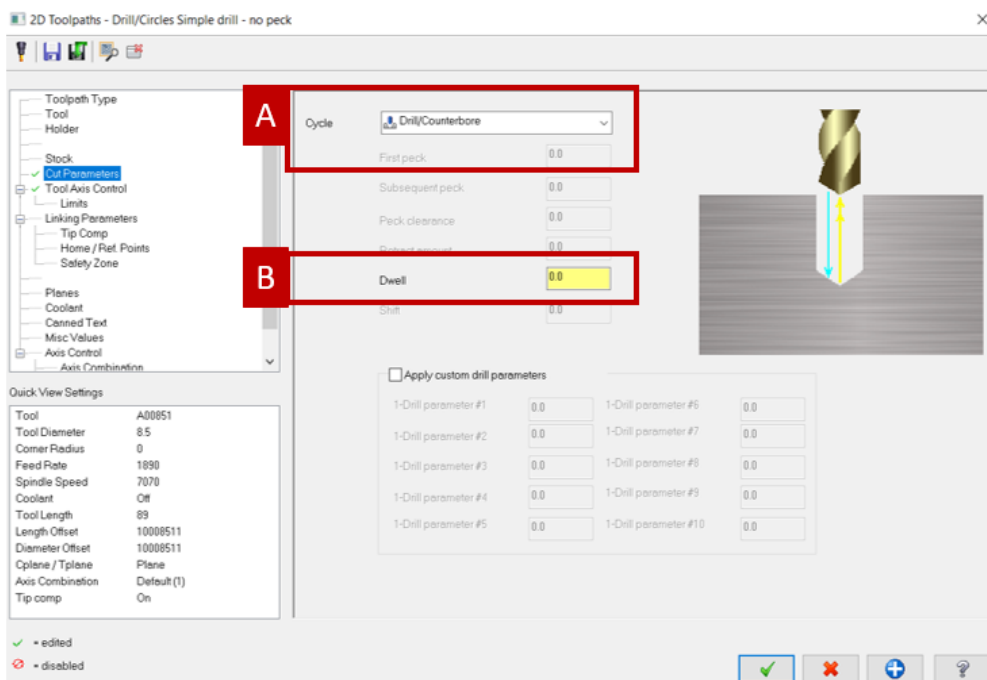


Figura 50 - Janela para seleção da estratégia de furação.

De seguida são selecionados os parâmetros de ligação (*Linking Parameters*) apresentados na Figura 51. Esta janela tem como finalidade definir as alturas e profundidades dos movimentos da ferramenta em corte, aproximação ou avanço rápido.

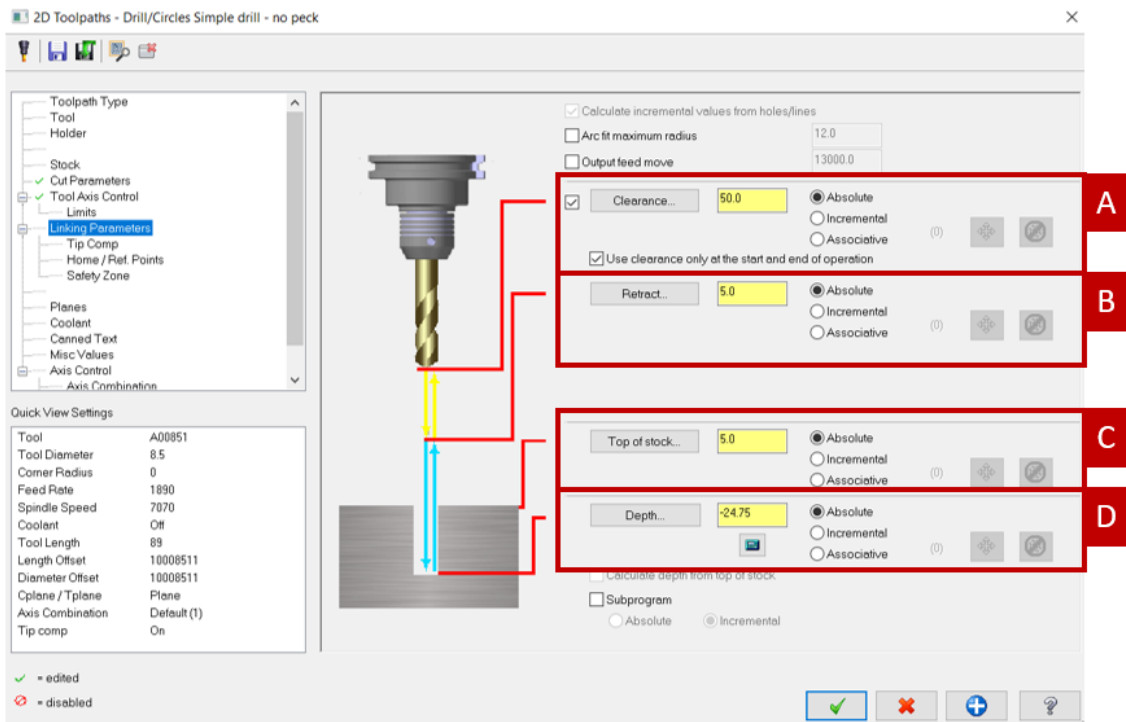


Figura 51 - Janela para seleção dos parâmetros de ligação.

As dimensões podem ser introduzidas como valores absolutos, incrementais ou associativos. As dimensões absolutas são sempre em relação à origem definida para a peça, enquanto as incrementais são em relação ao ponto selecionado anteriormente como centro do furo a maquinar. As dimensões associativas, por sua vez, são em relação a um outro ponto, superfície ou eixo que deve ser identificado. Neste trabalho, foram utilizadas dimensões absolutas.

O ponto A assinala a altura *Clearance* que corresponde à altura inicial e final do programa. É a distância da ponta da ferramenta até à face a maquinar (à qual corresponde o zero do eixo de maquinagem), e que foi definida como 50 mm para todas as operações deste trabalho.

O ponto B corresponde à altura até à qual a ferramenta se move em avanço rápido (*Retract*). É também até esta altura que a ferramenta se desloca quando se move de um elemento para outro. No presente trabalho, definiu-se 5 mm de altura para o *Retract*, no entanto, em situações reais deve ser dada especial atenção a esta altura, para evitar colisões entre a ferramenta e o sistema de fixação da peça, que não foi considerado neste trabalho.

O ponto C assinala a altura na qual a ferramenta inicia o movimento de corte, e que foi definido como zero. No ponto D, *Depth*, é introduzido o valor da profundidade a que se pretende furar.

Por fim, é definida a compensação da ponta da ferramenta na janela apresentada na Figura 52. Se esta opção não for ativada, a broca vai furar até à profundidade introduzida no ponto D da Figura 52, deixando material devido ao ângulo da ponta da broca. Se ativarmos a opção de compensação da ferramenta, no ponto A da Figura 52, o programa vai compensar o valor do ângulo da ponta da broca, garantindo a furação até à profundidade pretendida.

No ponto C, é automaticamente apresentado o ângulo de ponta da broca em função do valor introduzido na criação da ferramenta na biblioteca. O programa calcula então a altura da ponta da broca que é, no caso apresentado, de aproximadamente 1,26 mm. Assim, a broca em vez de furar até uma profundidade de 24,75 mm, vai furar até 26,01 mm.

No ponto B deve ser introduzida a distância a que se pretende que a ferramenta vá para além da espessura da peça. Como o furo para as roscas é cego, este valor é zero.

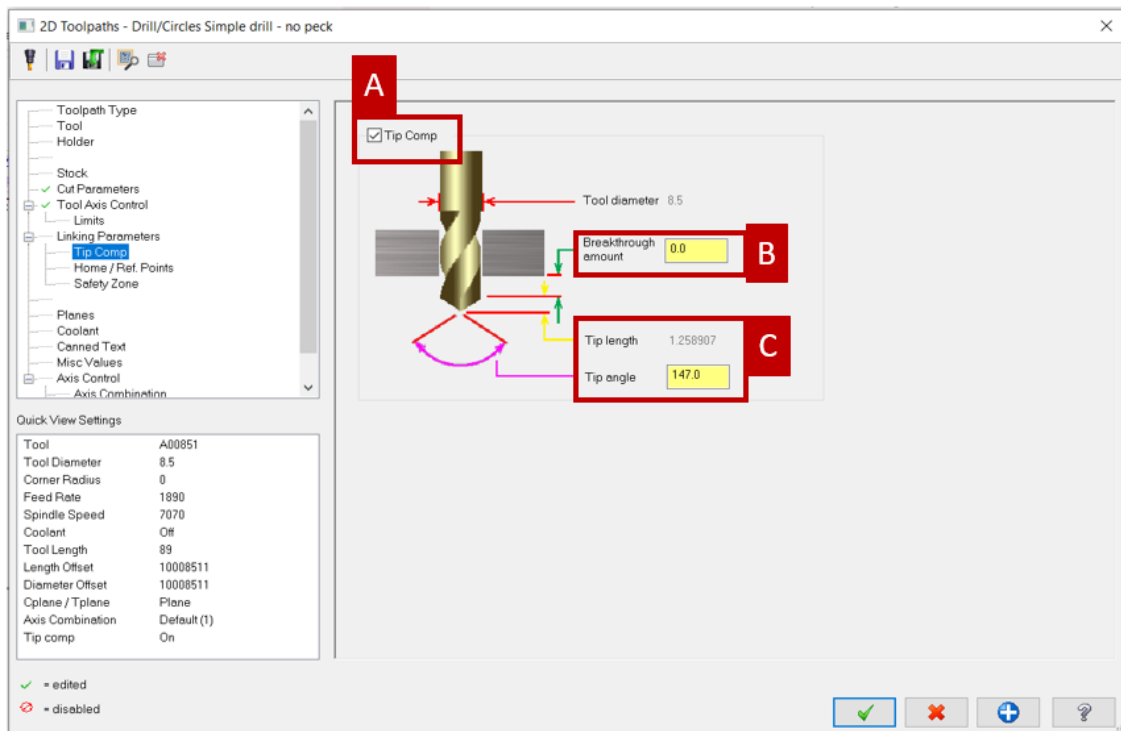


Figura 52 - Janela para seleção da compensação da ponta da ferramenta em furo cego.

No entanto, em casos de furos passantes, foi definido um valor de 0,25 mm para garantir que a broca excede a espessura da peça, garantindo que o furo é vazado. A Figura 53 apresenta a compensação da ponta da ferramenta num furo passante.

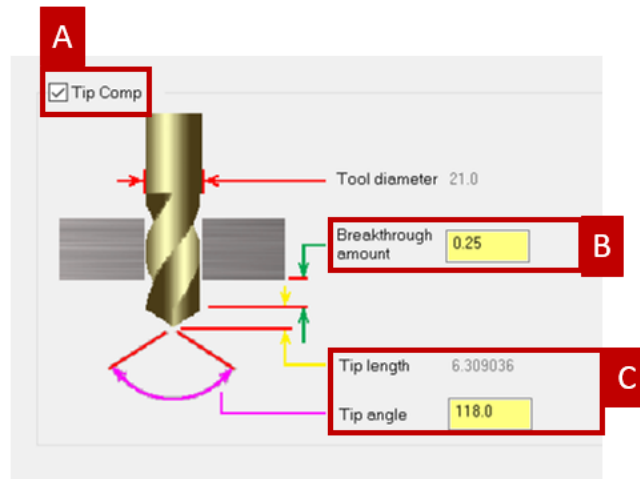


Figura 53 - Janela para a seleção da compensação da ponta da ferramenta num furo passante.

## 2 – Furação escalonada

A furação escalonada, utilizada na operação 3.2 para maquinar as cabeças dos alojamentos para parafusos, é feita de forma semelhante à furação apresentada anteriormente, sendo as únicas diferenças a seleção da ferramenta adequada e o *dwell*. De forma a garantir um bom acabamento e rigor dimensional das cabeças foram definidos dois segundos para o *Counter-boring* ficar na profundidade pretendida, apenas em rotação, de acordo com o apresentado na Figura 54.



Figura 54 - Estratégia de furação escalonada.

## 3 - Escarear

Para o escareamento das operações 1.2, 2.2, 3.2, 4.2, 5.3, 6.3, 7.1 e 8.3, foi selecionado o caminho 2D de contorno (*Contour*), de acordo com o apresentado no ponto A da Figura

55. No ponto B, ao contrário da furação, não foi selecionado um ponto, mas a aresta pela qual a ferramenta de escarear se deve guiar para maquinar o chanfro.

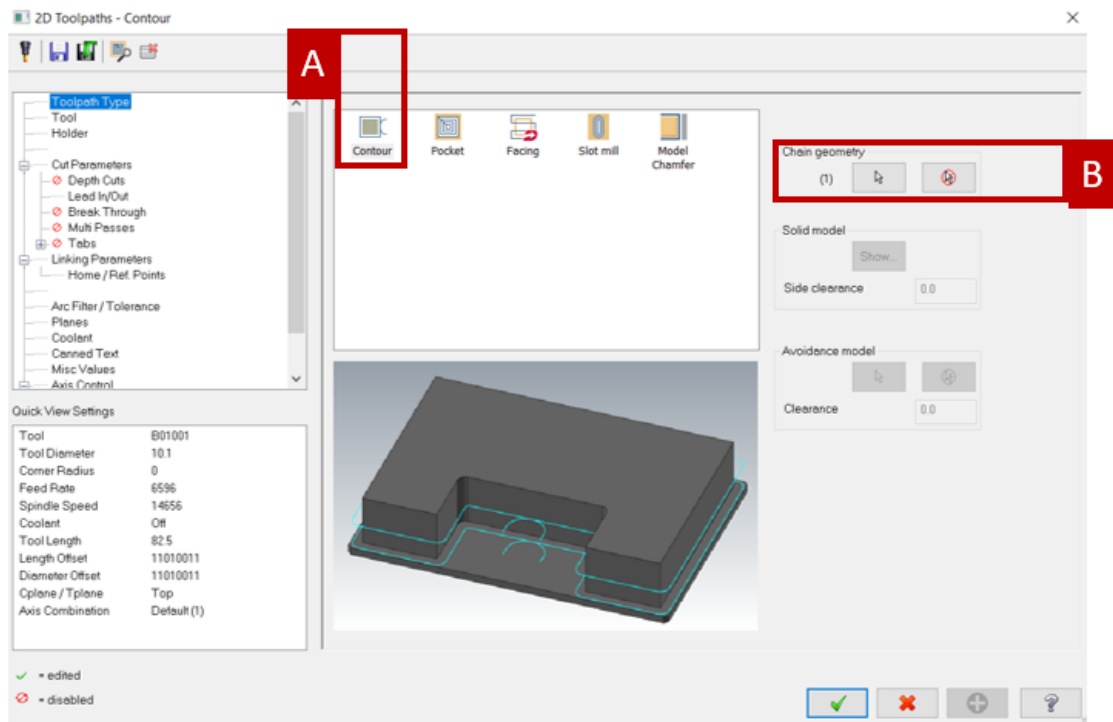


Figura 55 - Janela para a seleção da estratégia 2D a adotar para o escareamento.

A estratégia de contorno utilizada foi a 2D *chamfer* apresentada no ponto A da Figura 56. No ponto B, são apresentados os valores utilizados como largura do chanfro (*Chamfer width*) e o *Bottom offset*, onde é introduzida a distância a que se pretende que a ferramenta vá abaixo do chanfro (no caso, 1 mm).

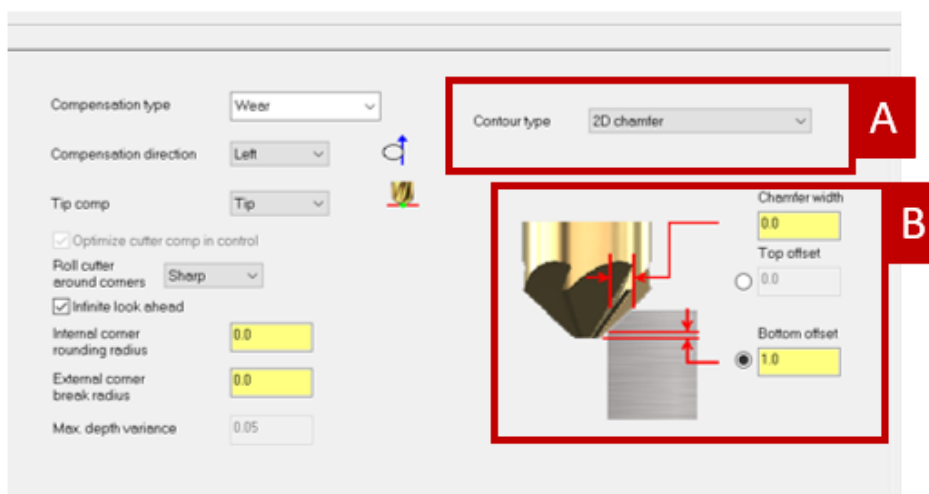


Figura 56 - Estratégia de contorno utilizada para o escareamento.

A largura do chanfro introduzido foi de 0 mm. Este valor depende da aresta selecionada no ponto B da Figura 55. Como foi selecionada a aresta inferior do chanfro em todas as situações, não foi necessário compensar a largura do chanfro.

A Figura 57 apresenta a estratégia de entrada e saída utilizada no escareamento. Esta função tem como objetivo garantir que a ferramenta inicia o corte fora do aço, e que a entrada no mesmo é feita de forma suave. Para o efeito, a entrada e saída foi ativada no ponto A, sendo atribuído um valor de 20% do diâmetro da ferramenta para o comprimento e raio do arco de entrada (ponto B) e saída (ponto C).

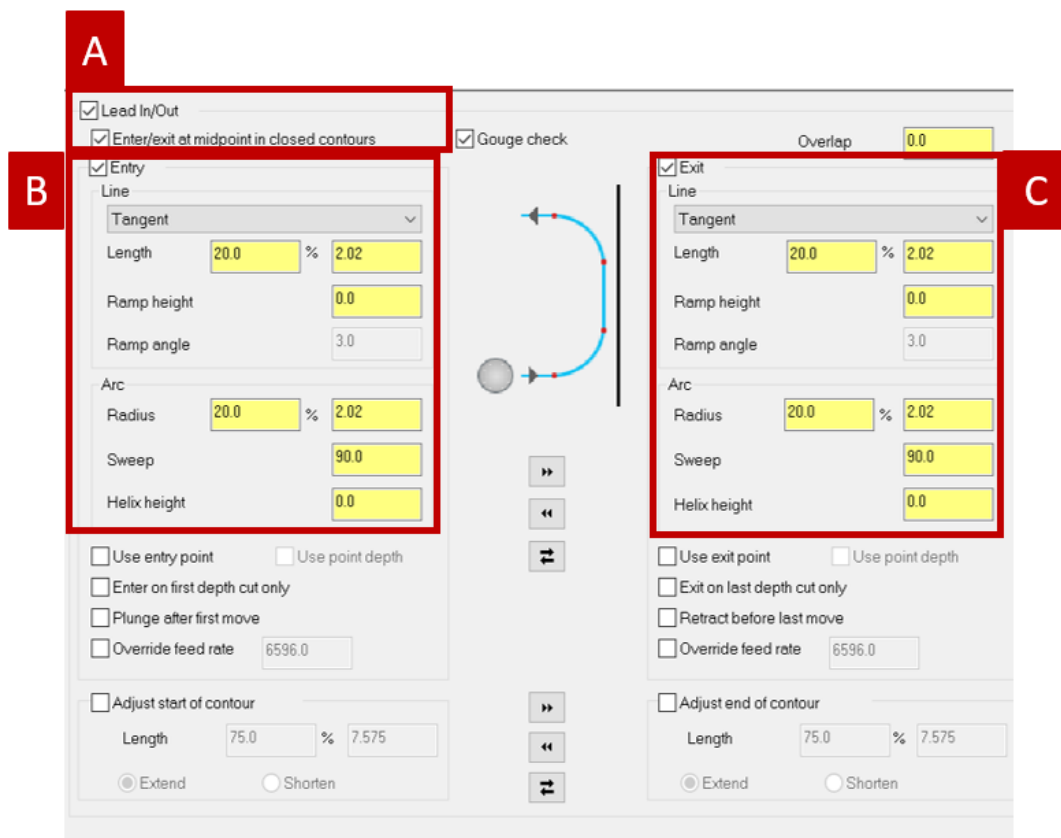


Figura 57 - Estratégias de entrada e saída no escareamento.

A profundidade introduzida nos parâmetros de ligação foi de 0 mm. As restantes alturas introduzidas foram iguais às da furação.

#### 4 - Roscar

A operação 1.3 de roscagem foi feita de forma semelhante à da furação. A diferença está na estratégia de furação selecionada. Ao contrário da furação, foi selecionada a opção *Tap* apresentada na Figura 58 e não foi ativada a opção de compensação da ponta da ferramenta, por os machos não apresentarem um ângulo de ponta significativo.

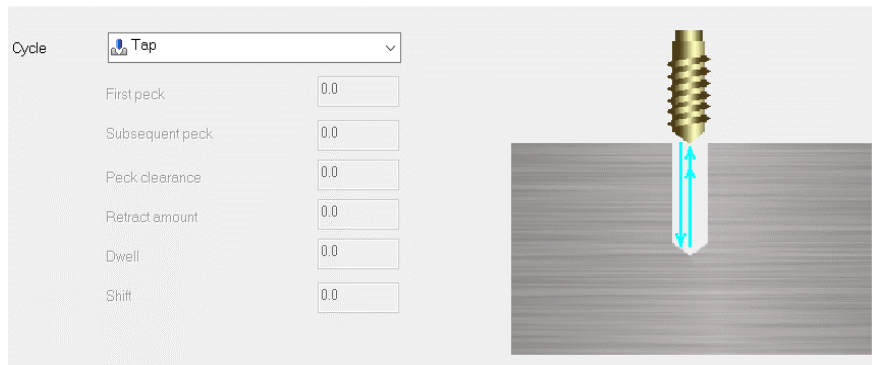


Figura 58 - Estratégia de furação utilizada na roscagem.

## 5 - Mandrilar

As operações de mandrilagem das cavilhas e das guias, 4.3 e 6.4, respetivamente, são feitas utilizando uma estratégia de furação 2D, como apresentado anteriormente.

No entanto, na mandrilagem das cavilhas, e à semelhança da furação escalonada, foram atribuídos dois segundos de tempo na opção *dwell* e não foi utilizada a compensação de ferramenta, de acordo com o apresentado na Figura 59.



Figura 59 - Estratégia de furação (à esquerda) e desativação da compensação da ponta da ferramenta (à direita) do mandrilamento das cavilhas.

Na mandrilagem das guias passantes, a estratégia de furação utilizada foi a assinalada no ponto A da Figura 60. Como as guias são passantes foi utilizada compensação da ponta da ferramenta, para esta ir para além da espessura da peça.

## 6 – Desbaste

Para o desbaste das caixas retangulares (Operação 5.1) e desbaste das caixas circulares cegas (Operação 7.1), e de acordo com o indicado pelo fabricante de ferramentas, foi utilizada um caminho 2D *Pocket* (caixa) apresentado na Figura 61.

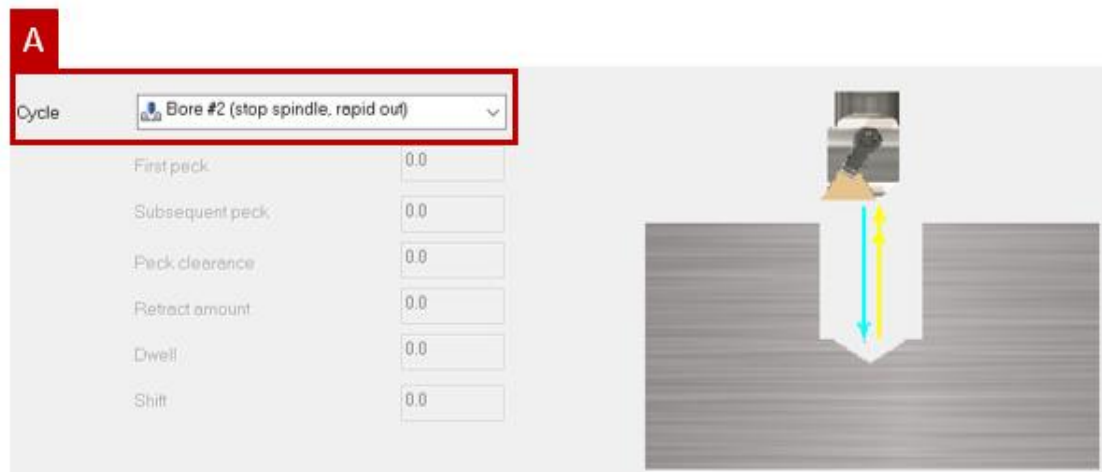


Figura 60 - Estratégia de furação utilizada na mandrilagem das guias passantes.

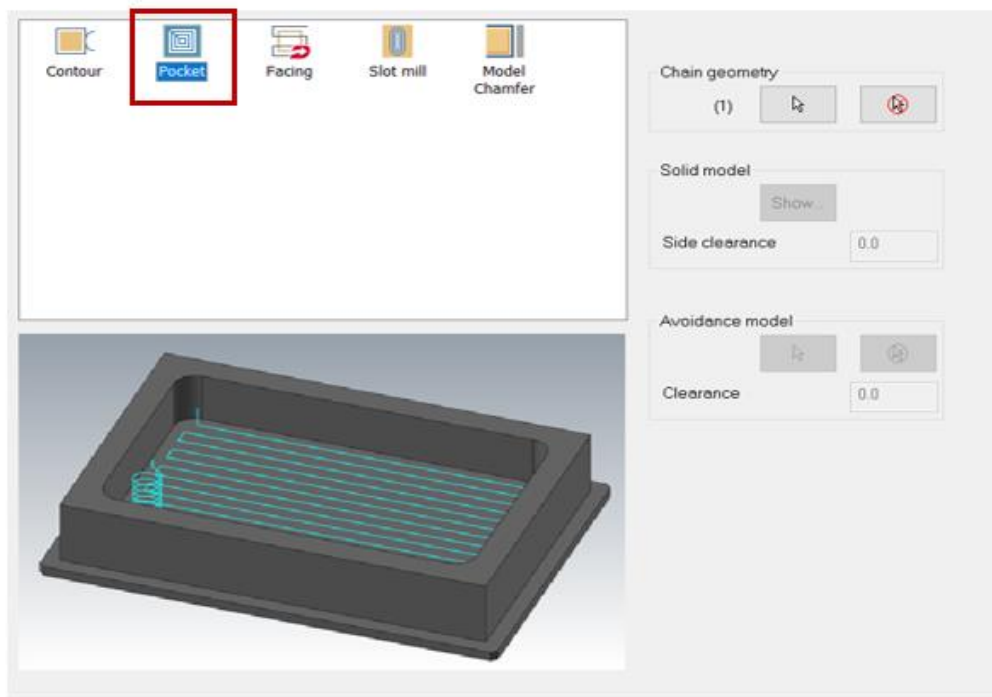


Figura 61 - Estratégia de corte utilizada para o desbaste das caixas retangulares.

Como apresentado no ponto A da Figura 62, foi selecionado um sentido de corte concordante (*Climb*) e foi definido um *stock* de 0,15 mm para as superfícies horizontais e verticais (ponto B).

A Figura 63 demonstra no ponto A que foi utilizada uma estratégia de desbaste de alto avanço. O ponto B assinala a largura de corte utilizada (50% do diâmetro da ferramenta), e que foi definida de acordo com o fabricante. No ponto C, foi introduzida uma suavização de raio de canto de 1 mm para salvaguardar o comportamento da ferramenta, evitando movimentos de corte retos. O valor introduzido foi de 10% do diâmetro da ferramenta de corte.

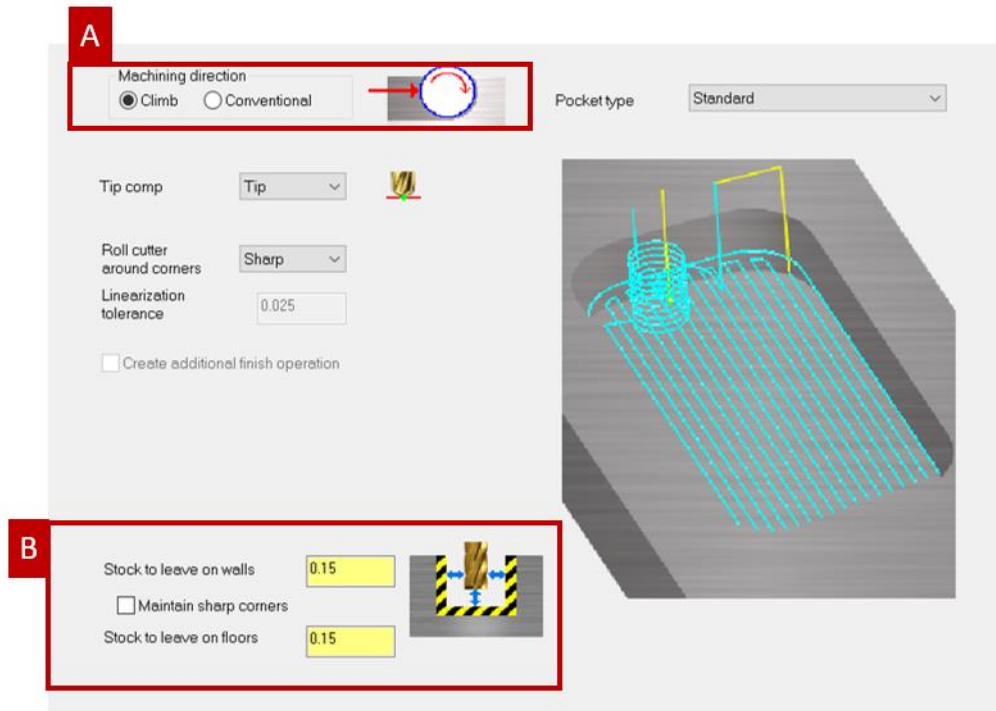


Figura 62 - Sentido de corte e stock utilizado no desbaste das caixas retangulares.

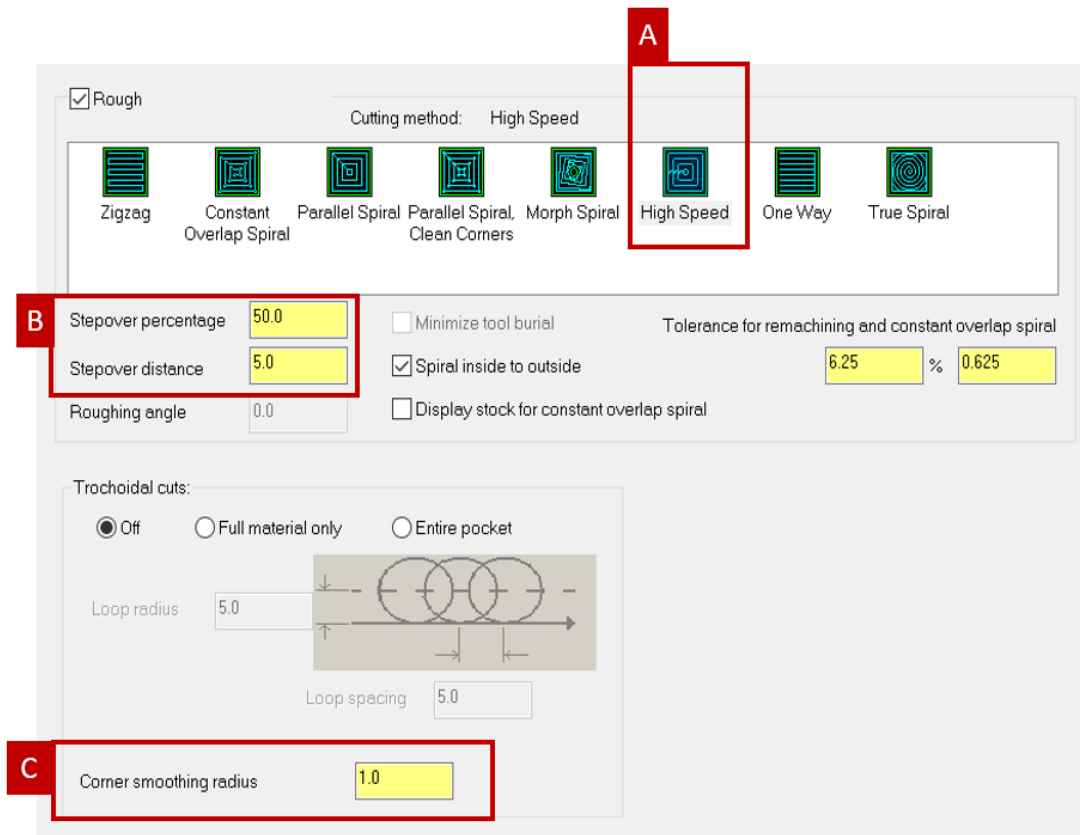


Figura 63 - Estratégia de desbaste utilizada no desbaste das caixas retangulares.

A entrada da ferramenta no material foi feita em hélice, de acordo com o ponto A da Figura 64. O ponto B da mesma figura apresenta os parâmetros introduzidos para a hélice da ferramenta em causa e definidos pelo fabricante. A Figura 65 apresenta a janela para introdução da profundidade de corte da ferramenta.

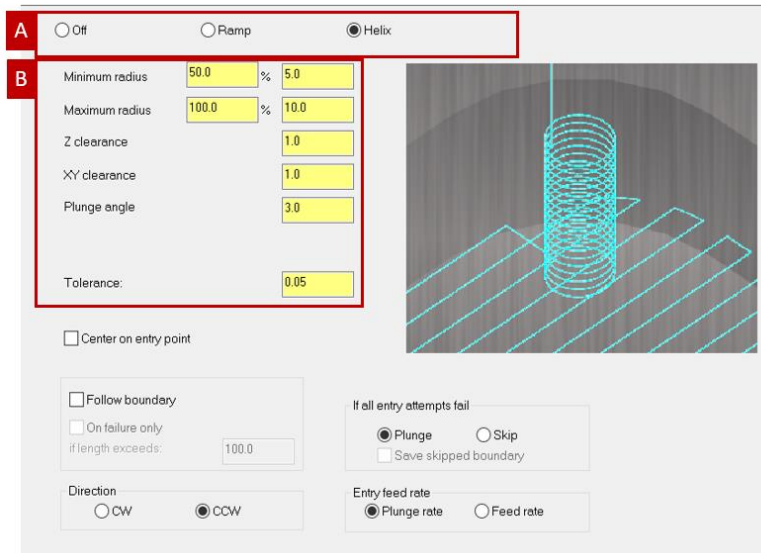


Figura 64 - Estratégia de entrada no desbaste das caixas retangulares.

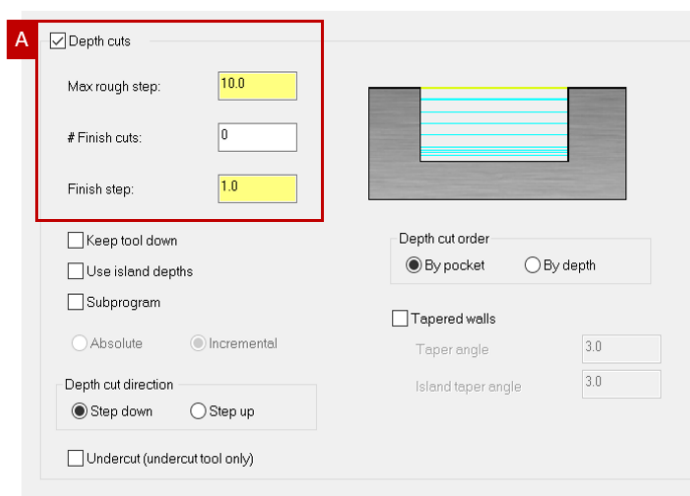


Figura 65 - Janela para introdução da profundidade de corte.

Nas caixas retangulares, nos casos em que o diâmetro da ferramenta de desbaste é superior ao dobro do raio de canto da caixa, foi realizada uma operação de redução de cantos (Op. 5.2).

Estas operações são também realizadas com o caminho 2D *pocket*. O sentido de corte da ferramenta mantém-se concordante, como demonstrado no ponto A da Figura 66, e o *stock* mantém-se como 0,15 mm para as paredes e chão (ponto C).

No ponto B foi selecionada a opção *Remachining* (Redesbaste), e no ponto D foi selecionada a opção para calcular o *stock* remanescente em função da última operação (op. 5.1). A combinação destes dois pontos solícita ao programa que apenas remova o material em excesso que está alojado nos cantos das caixas retangulares, permitindo a redução dos mesmos para o raio pretendido.

Foi ainda selecionada a opção de entrada em arco. As restantes opções são semelhantes às referidas anteriormente.

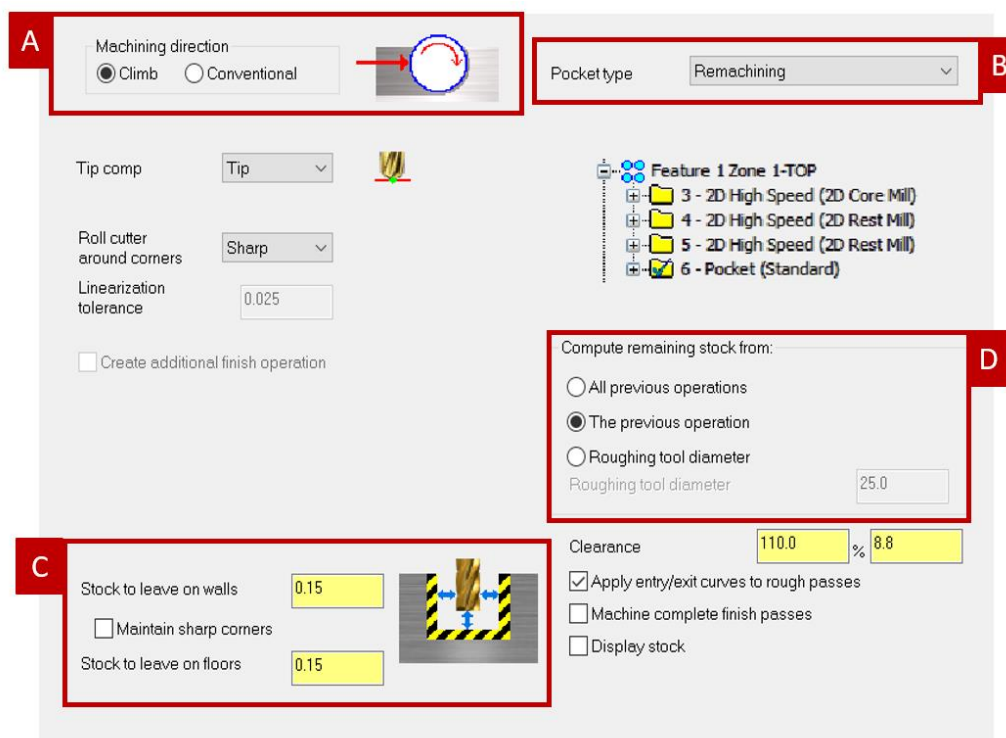


Figura 66 - Parâmetros utilizados na operação de redução de cantos das caixas retangulares.

O desbaste das caixas circulares passantes (Operação 8.2) e das guias (Operação 6.2), foi realizado com recurso à estratégia *Helix Bore* apresentada na Figura 67.

Foi introduzido o diâmetro da hélice, que foi igual ao diâmetro do elemento a maquinar, como demonstra o ponto A da Figura 68. O *stock* utilizado foi de 0,15 mm nas paredes e 0 mm no chão pois, como são elementos passantes, não têm superfícies horizontais (ponto B).

Os parâmetros da hélice apresentados na Figura 69 são os definidos pelo fabricante da ferramenta.

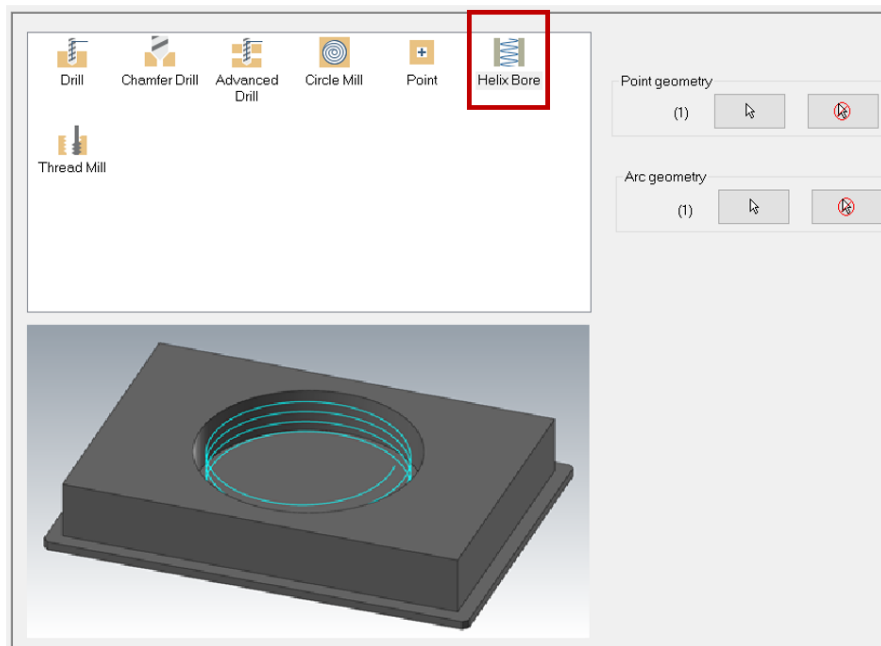


Figura 67 - Estratégia selecionada para o desbaste das caixas circulares passantes e guias.

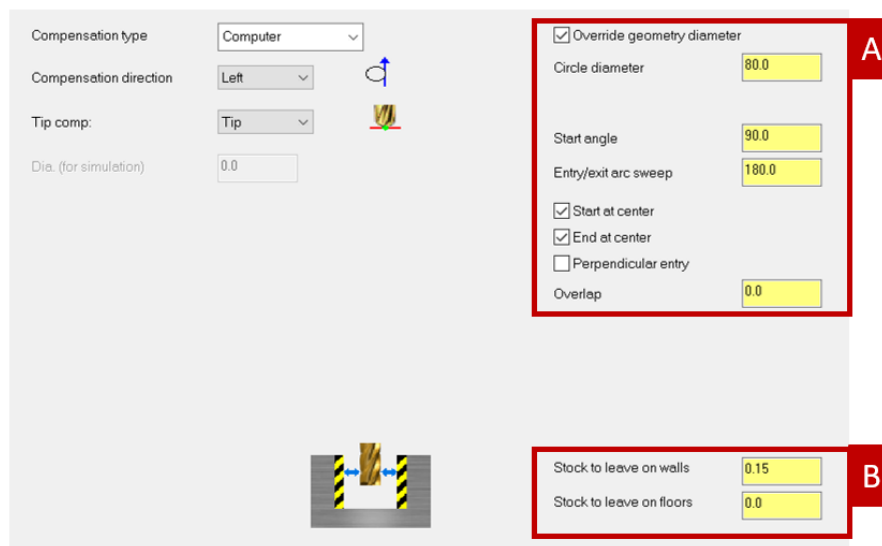


Figura 68 - Diâmetro da hélice e *stock* do desbaste das caixas circulares passantes e guias.

## 7 – Acabamento chão

O acabamento do chão das caixas circulares cegas e das caixas retangulares, foi também realizado com a estratégia *pocket*. A principal diferença foi a utilização de um *stock* de 0,25 mm às superfícies verticais e de 0 mm às horizontais. O *stock* de 0,25 mm tem como propósito evitar que a ferramenta retire material das paredes. O chão, como é a superfície que se pretende acabar, tem *stock* 0 mm (ver Figura 70).

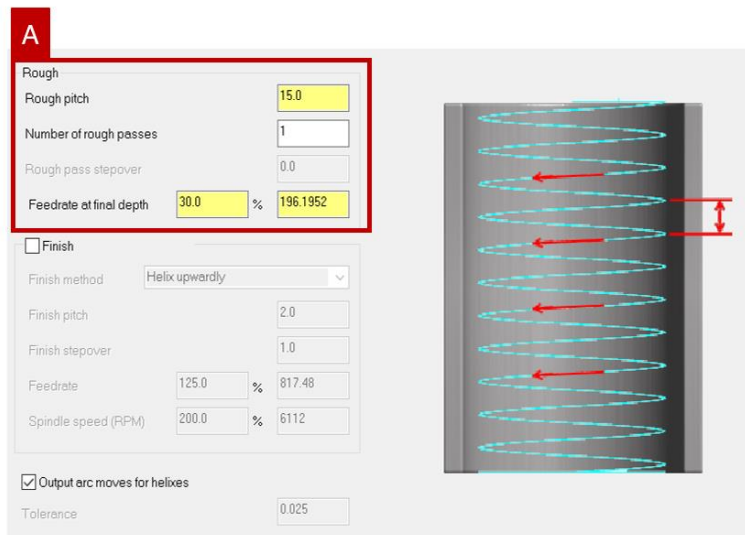


Figura 69 - Parâmetros de corte utilizados na hélice.

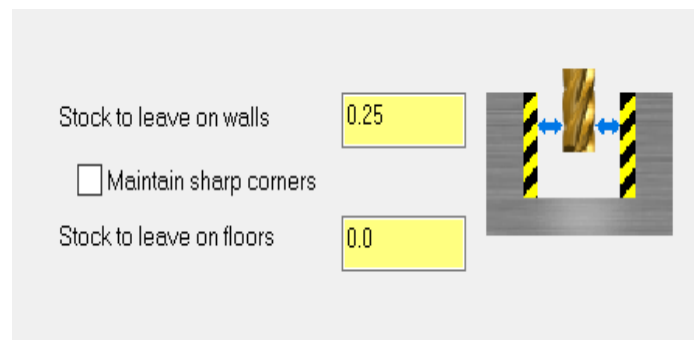


Figura 70 - Stock utilizado nas operações de acabamento de chão.

## 8 – Acabamento das paredes

As operações 5.5, 7.4 e 8.4 de acabamento das paredes foram realizadas com recurso a um caminho 2D de contorno (*Countour*), de acordo com o apresentado na Figura 71.

O ponto A da Figura 72 assinala que foi utilizado um tipo de contorno 2D enquanto o ponto B realça o *stock* utilizado nestas operações. O *stock* das paredes foi sempre de 0 mm, por ser a superfície que se pretende acabar. O *stock* do chão foi 0 mm nas caixas circulares passantes e de 0,03 mm nas caixas circulares cegas e caixas retangulares, para salvaguardar que a ferramenta não retire material do chão que já está acabado.

Na maquinagem de acabamento de paredes das caixas circulares passantes, foi ativada a opção *break through* para permitir que a ferramenta vá além da espessura da peça, no caso, 1 mm (ver Figura 73).

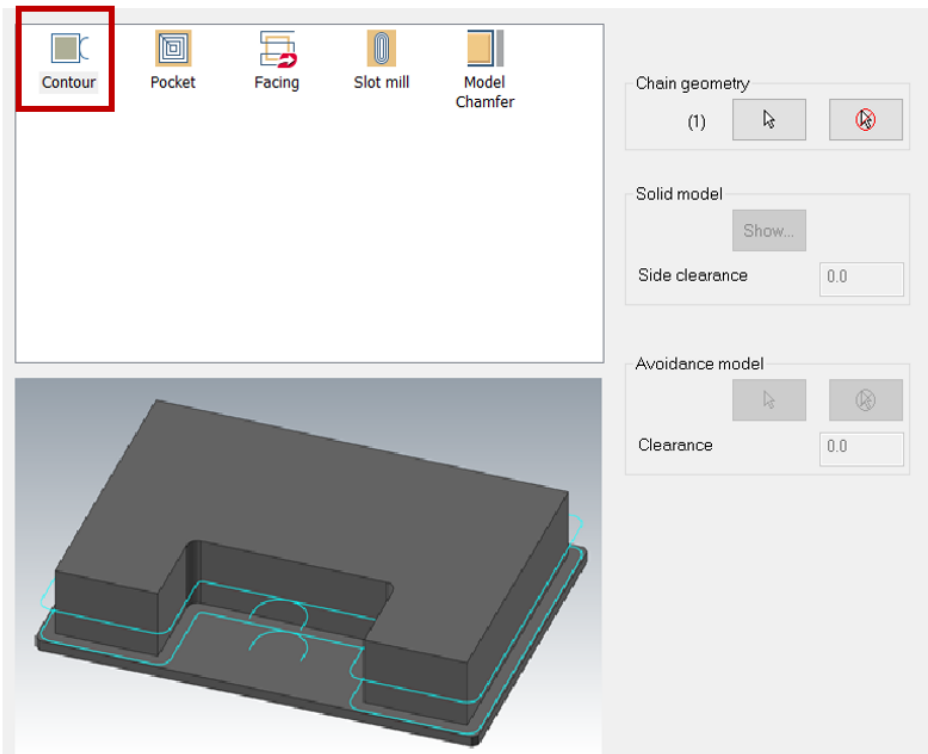


Figura 71 - Estratégia selecionada para o acabamento de paredes.

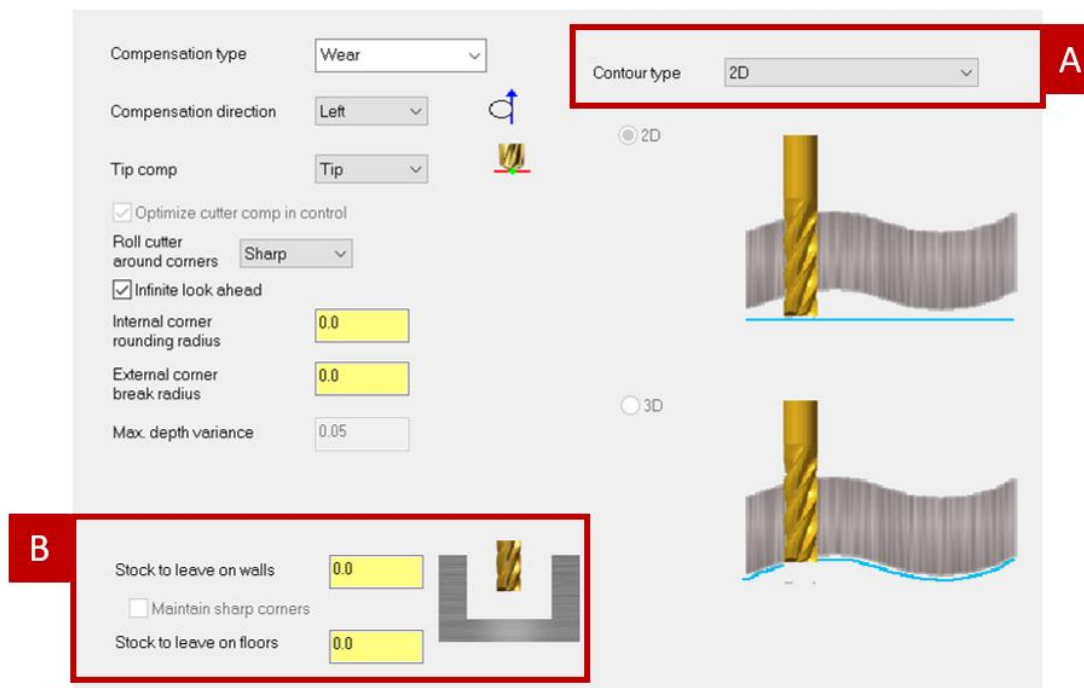


Figura 72 - Parâmetros de corte e stock utilizado no acabamento de paredes.

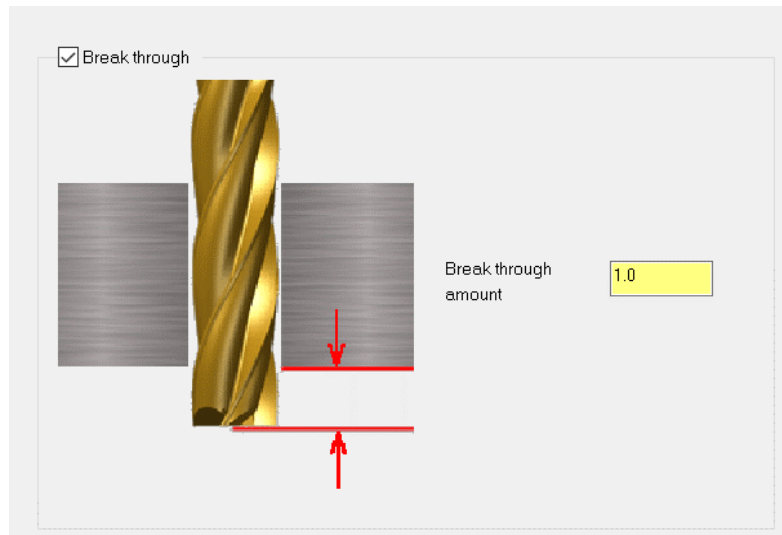


Figura 73 - Opção de *break through* utilizada no acabamento das paredes das caixas circulares.

### 3.2.5 Gerador de peças

O gerador de peças corresponde a uma folha de MS Excel® onde são definidas regras e valores limites para os elementos a maquinar. Tem como objetivo criar peças de forma automática e uniforme.

O gerador de peças é utilizado para definir os elementos das peças a modelar, e para, posteriormente, quando o tempo de maquinagem de cada elemento for calculado, gerar os dados de entrada pelo método empírico, no chamado gerador de dados que será apresentado mais à frente (ver anexo 0).

O processo para uma peça exemplo é:

#### a) Seleção da estrutura e material

É selecionada, aleatoriamente, uma das 75 peças possíveis e atribuído, também aleatoriamente, um material: 1.1730 ou 1.2311. A Tabela 62 apresenta as dimensões  $x$ ,  $y$  e  $z$  selecionadas para a peça nº 1, assim como o material. São ainda calculadas a área ( $A$ ) e o volume ( $V$ ), para posteriormente verificar a conformidade da peça gerada.

Tabela 62 - Estrutura e material selecionado para a peça exemplo (Peça nº 1).

Peça	ESTRUTURA					Material
	$x$ (mm)	$y$ (mm)	$z$ (mm)	$A$ (mm <sup>2</sup> )	$V$ (mm <sup>3</sup> )	
1	996,00	796,00	66,00	7,93E+05	5,23E+07	1.2311

### b) Roscas Métricas

São escolhidas aleatoriamente três roscas (diferentes ou não) numa quantidade (Q), também aleatória, entre 0 a 6. Ou seja, de acordo com a Tabela 63, a peça nº1 terá:

- 2 Roscas métricas M12;
- 1 Rosca métrica M20;
- 3 Roscas métricas M10.

Tabela 63 - Roscas métricas selecionadas para a peça exemplo (Peça nº 1).

Peça	ROSCAS MÉTRICAS						
	Ref.	M	A (mm <sup>2</sup> )	V (mm <sup>3</sup> )	Q	A <sub>total</sub> (mm <sup>2</sup> )	V <sub>total</sub> (mm <sup>3</sup> )
1	ROSC07	M12	8,17E+01	2,39E+03	2	1,63E+02	4,78E+03
	ROSC09	M20	2,41E+02	1,14E+04	1	2,41E+02	1,14E+04
	ROSC06	M10	5,67E+01	1,40E+03	3	1,70E+02	4,21E+03

### c) Furos passantes

São escolhidos aleatoriamente três furos passantes (diferentes ou não) numa quantidade entre 0 a 6. Assim, de acordo com a Tabela 64, a peça nº 1 terá:

- 2 Furos passantes FOLG17;
- 6 Furos passantes FOLG16;
- 6 Furos passantes FOLG27.

Tabela 64 - Furos passantes selecionados para a peça exemplo (Peça nº 1).

Peça	FUROS PASSANTES					
	Ref.	A (mm <sup>2</sup> )	V (mm <sup>3</sup> )	Q	A <sub>total</sub> (mm <sup>2</sup> )	V <sub>total</sub> (mm <sup>3</sup> )
1	FOLG17	7,85E+01	5,18E+03	2	1,57E+02	1,04E+04
	FOLG16	6,36E+01	4,20E+03	6	3,82E+02	2,52E+04
	FOLG27	3,98E+02	2,62E+04	6	2,39E+03	1,57E+05

### d) Alojamentos para parafusos

São escolhidos aleatoriamente três alojamentos para parafusos (diferentes ou não) numa quantidade entre 0 a 6. Assim, de acordo com a Tabela 65, a peça nº 1 terá:

- 11 Alojamentos para parafusos ALOJ16.

Importa salientar que, sempre que o mesmo elemento seja selecionado duas vezes, como é o caso do ALOJ16, é considerado que a peça tem a soma das quantidades aleatoriamente escolhidas para esse elemento (no caso da peça nº1 são 11 ALOJ16).

Sempre que a quantidade atribuída pelo gerador de dados seja 0, então o elemento não é considerado, como é o caso do ALOJ03.

Tabela 65 - Alojamentos para parafusos selecionados para a peça exemplo (peça nº 1).

Peça	ALOJAMENTOS PARA PARAFUSOS					
	Ref.	A (mm <sup>2</sup> )	V (mm <sup>3</sup> )	Q	A <sub>total</sub> (mm <sup>2</sup> )	V <sub>total</sub> (mm <sup>3</sup> )
1	ALOJ16	1,08E+03	5,14E+04	6	6,45E+03	3,08E+05
	ALOJ16	1,08E+03	5,14E+04	5	5,38E+03	2,57E+05
	ALOJ03	1,54E+02	3,74E+03	0		

#### e) Cavilhas

São escolhidos aleatoriamente três cavilhas (diferentes ou não) numa quantidade entre 0 a 4. Assim, de acordo com a Tabela 66, a peça nº 1 terá:

- 3 Cavilhas CAVI10.

Tabela 66 - Cavilhas selecionadas para a peça exemplo (Peça nº 1).

Peça	CAVILHAS					
	Ref.	A (mm <sup>2</sup> )	V (mm <sup>3</sup> )	Q	A <sub>total</sub> (mm <sup>2</sup> )	V <sub>total</sub> (mm <sup>3</sup> )
1	CAVI10	2,01E+02	3,22E+03	3	6,03E+02	9,65E+03
	CAVI06	1,13E+02	1,81E+03	0		
	CAVI04	7,85E+01	2,36E+03	0		

#### f) Caixas retangulares

São escolhidos aleatoriamente três caixas retangulares (diferentes ou não) numa quantidade entre 0 a 4. Assim, de acordo com a Tabela 67, a peça nº 1 terá:

- 3 Caixas retangulares RECT04;
- 1 Caixa retangular RECT10.

Tabela 67 - Caixas retangulares selecionadas para a peça exemplo (Peça nº 1).

Peça	CAIXAS RETANGULARES					
	Ref.	A (mm <sup>2</sup> )	V (mm <sup>3</sup> )	Q	A <sub>total</sub> (mm <sup>2</sup> )	V <sub>total</sub> (mm <sup>3</sup> )
1	RECT04	4,86E+03	7,30E+04	3	1,46E+04	2,19E+05
	RECT08	5,35E+03	1,34E+05	1	5,35E+03	1,34E+05
	RECT10	9,81E+03	3,43E+05	0		

### g) Guias passantes

É escolhida aleatoriamente uma guia passante e sempre em quantidade 4. Esta escolha deve-se ao facto de normalmente, as estruturas dos moldes de injeção apresentarem quatro guias iguais para o sistema de guiamento. Assim, e de acordo com a Tabela 68, a peça nº 1 terá:

- 4 Guias passantes GUIA11.

Tabela 68 - Guias passantes seleccionadas para a peça exemplo (Peça nº 1).

Peça	GUIAS PASSANTES					
	Ref.	A (mm <sup>2</sup> )	V (mm <sup>3</sup> )	Q	A <sub>total</sub> (mm <sup>2</sup> )	V <sub>total</sub> (mm <sup>3</sup> )
1	GUIA11	1,39E+03	9,14E+04	4	5,54E+03	3,66E+05

### h) Caixa circular cega

É escolhida aleatoriamente uma caixa circular cega em quantidade 1 ou 0. Esta escolha deve-se ao facto de normalmente, as estruturas dos moldes de injeção apresentarem apenas um anel de centragem ou nenhum. Assim, e de acordo com a Tabela 69, a peça nº 1 terá:

- 1 Caixa circular cega CIRC04.

Tabela 69 - Caixa circular cega seleccionada para a peça exemplo (Peça nº 1).

Peça	CAIXA CIRCULAR CEGA					
	Ref.	A (mm <sup>2</sup> )	V (mm <sup>3</sup> )	Q	A <sub>total</sub> (mm <sup>2</sup> )	V <sub>total</sub> (mm <sup>3</sup> )
1	CIRC04	2,01E+04	1,41E+05	1	2,01E+04	1,41E+05

### i) Caixas circulares passantes

São escolhidas aleatoriamente três caixas circulares passantes (diferentes ou não) numa quantidade entre 0 a 4. Assim, de acordo com a Tabela 70, a peça nº 1 terá:

- 8 Caixas circulares passantes CIRP05.

Tabela 70 - Caixas circulares passantes seleccionadas para a peça exemplo (Peça nº 1).

Peça	CAIXAS CIRCULARES PASSANTES					
	Ref.	A (mm <sup>2</sup> )	V (mm <sup>3</sup> )	Q	A <sub>total</sub> (mm <sup>2</sup> )	V <sub>total</sub> (mm <sup>3</sup> )
1	CIRP05	5,03E+03	3,32E+05	4	2,01E+04	1,33E+06
	CIRP05	5,03E+03	3,32E+05	4	2,01E+04	1,33E+06
	CIRP01	3,12E+03	1,43E+05	0		

## j) Análise

Como os elementos e a estrutura são atribuídos aleatoriamente, definiram-se algumas condições para garantir que não são geradas peças impraticáveis. As condições definidas são:

$$\text{Área maquinada} < 0,75 * \text{Área disponível} \quad (16)$$

$$\text{Volume maquinado} < 0,75 * \text{Volume disponível} \quad (17)$$

sendo a Área disponível ( $A_{disp}$ ) e o Volume disponível ( $V_{disp}$ ) a área e o volume da estrutura atribuída pelo gerador de dados e a Área maquinada ( $A_{maq}$ ) e o Volume maquinado ( $V_{maq}$ ) o somatório das áreas e volumes de cada um dos elementos a maquinar. Foi ainda considerada a percentagem de material removido ( $\%_{mat}$ ).

Se as condições não se verificarem, a peça é considerada “Não conforme”, e não é utilizada. A Tabela 71 apresenta a análise da peça nº 1 (ver anexo 6.2.2).

Tabela 71 - Análise da peça exemplo (Peça nº 1).

Peça	ANÁLISE						%mat
	$A_{disp}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{maq}$ (mm <sup>2</sup> )	Estado	$V_{disp}$ (mm <sup>3</sup> )	$V_{maq}$ (mm <sup>3</sup> )	Estado	
1	7,93E+05	1,02E+05	OK	5,23E+07	4,30E+06	OK	8,22

### 3.2.6 Método tradicional

O método tradicional consiste na seguinte ordem de operações:

- 1) Atribuição dos elementos de cada peça com recurso ao gerador de peças;
- 2) Modelação 3D de cada uma das peças;
- 3) Programação CAM de cada uma das peças.

Os elementos de cada uma das peças foram definidos utilizando o gerador de peças e, posteriormente, as mesmas foram modeladas com recurso ao *software* de CAD *SolidWorks*®. A Figura 74 ilustra a peça nº 1, fazendo o desenho das restantes peças parte do anexo 6.2.3. A posição dos elementos na peça é feita de forma aleatória.

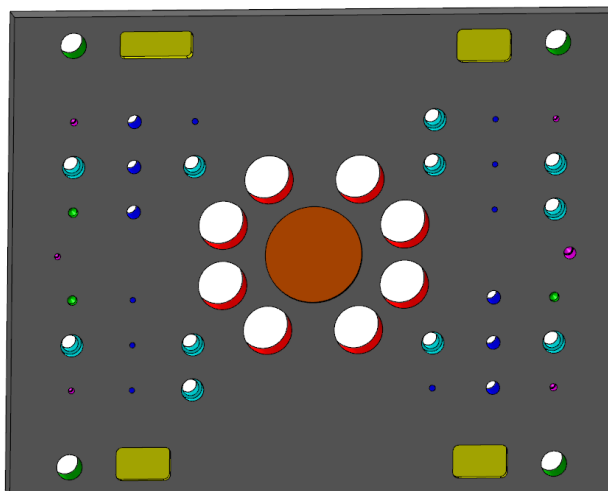


Figura 74 - Peça exemplo (Peça nº 1).

Para melhor compreensão e organização das peças, foi definido e utilizado o código de cores apresentado na Tabela 72.

Posteriormente, cada uma das peças foi programada individualmente, utilizando as sequências operatórias, ferramentas e estratégias de maquinagem definidas para cada elemento, e apresentadas anteriormente.

Tabela 72 - Código de cores.

Elemento	RGB			Cor
Peça	128	128	128	cinza
Roscas Métricas	255	0	255	magenta
Furos Passantes	0	0	255	azul
Alojamento para Parafusos	0	255	255	ciano
Cavilhas	0	255	0	verde-limão
Caixa Retangular	0	150	0	verde-escuro
Caixa Circular Passante	255	0	0	vermelho
Caixa Circular Cega	232	113	8	laranja

O tempo de maquinagem obtido, quantidade total de cada um dos elementos e material de cada uma das peças, é apresentado na Tabela 73.

O tempo de corte e de movimentos rápidos de cada um dos elementos é apresentado no anexo 0.

Tabela 73 - Quantidade total dos elementos de cada uma das peças modeladas e tempo de maquinagem total calculado com recurso ao método tradicional.

Peça	Q <sub>ROSC</sub>	Q <sub>FOLG</sub>	Q <sub>ALQJ</sub>	Q <sub>CAVI</sub>	Q <sub>RECT</sub>	Q <sub>GUIA</sub>	Q <sub>CIRC</sub>	Q <sub>CIRP</sub>	t (min)
1	6	14	11	3	4	4	1	8	94,45
2	14	5	6	9	8	4	1	7	195,33
3	7	8	12	6	4	4	1	7	80,30
4	3	6	5	6	3	4	1	4	66,30
5	11	8	11	3	9	4	1	3	159,42
6	11	11	12	8	3	4	1	2	70,90
7	13	13	17	5	6	4	1	2	98,74
8	12	11	12	3	5	4	1	4	94,33
9	8	6	5	7	8	4	0	11	141,59
10	6	0	6	4	5	4	1	1	77,62
11	15	9	4	1	3	4	1	5	78,14
12	12	5	6	4	7	4	1	7	162,28
13	7	9	14	4	11	4	1	4	149,28
14	11	7	15	4	5	4	1	6	143,62
15	7	10	13	4	8	4	0	9	182,49
16	9	8	9	6	4	4	1	5	108,92
17	12	7	6	1	5	4	1	7	148,47
18	11	4	12	6	9	4	1	7	120,12
19	9	11	10	5	8	4	1	3	163,33
20	11	10	14	7	4	4	1	4	130,81
21	7	8	8	3	9	4	1	6	145,09
22	8	14	4	3	5	4	1	2	92,12
23	7	8	5	2	3	4	1	15	106,77
24	26	9	3	7	4	4	1	5	85,14
25	12	3	5	7	7	4	0	9	145,07
26	12	6	8	12	6	4	1	10	141,25
27	2	2	7	8	5	4	1	3	134,09
28	7	7	8	2	6	4	1	2	88,25
29	10	8	14	6	4	4	1	3	87,76
30	13	9	8	6	9	4	1	8	169,19

### 3.2.7 Método empírico

No método empírico, foi determinado o tempo individual de cada elemento e depois, com recurso ao gerador de peças, é calculado o tempo de maquinagem total de cada peça, através da multiplicação da quantidade de cada elemento pelo tempo de maquinagem do mesmo. O tempo calculado para cada elemento individualmente é apresentado no anexo 6.3.

A Tabela 74 apresenta os tempos obtidos para as 30 peças modeladas com recurso ao método empírico.

Tabela 74 - Quantidade total dos elementos de cada uma das peças modeladas e tempo de maquinagem total calculado com recurso ao método empírico.

Peça	Q <sub>ROSC</sub>	Q <sub>FOLG</sub>	Q <sub>ALQJ</sub>	Q <sub>CAVI</sub>	Q <sub>RECT</sub>	Q <sub>GUIA</sub>	Q <sub>CIRC</sub>	Q <sub>CIRP</sub>	t (min)
1	6	14	11	3	4	4	1	8	82,44
2	14	5	6	9	8	4	1	7	153,20
3	7	8	12	6	4	4	1	7	65,35
4	3	6	5	6	3	4	1	4	56,47
5	11	8	11	3	9	4	1	3	119,13
6	11	11	12	8	3	4	1	2	56,36
7	13	13	17	5	6	4	1	2	76,20
8	12	11	12	3	5	4	1	4	75,83
9	8	6	5	7	8	4	0	11	113,72
10	6	0	6	4	5	4	1	1	64,76
11	15	9	4	1	3	4	1	5	64,96
12	12	5	6	4	7	4	1	7	127,23
13	7	9	14	4	11	4	1	4	112,44
14	11	7	15	4	5	4	1	6	117,99
15	7	10	13	4	8	4	0	9	143,47
16	9	8	9	6	4	4	1	5	88,61
17	12	7	6	1	5	4	1	7	122,22
18	11	4	12	6	9	4	1	7	93,77
19	9	11	10	5	8	4	1	3	127,79
20	11	10	14	7	4	4	1	4	102,48
21	7	8	8	3	9	4	1	6	115,66
22	8	14	4	3	5	4	1	2	72,10
23	7	8	5	2	3	4	1	15	89,05
24	26	9	3	7	4	4	1	5	73,16
25	12	3	5	7	7	4	0	9	118,22
26	12	6	8	12	6	4	1	10	115,65
27	2	2	7	8	5	4	1	3	104,79
28	7	7	8	2	6	4	1	2	72,15
29	10	8	14	6	4	4	1	3	71,79
30	13	9	8	6	9	4	1	8	131,41

### 3.2.8 Validação do método empírico

De forma a validar o método empírico, os tempos obtidos nos dois métodos foram comparados na Tabela 75. São apresentados os tempos de corte, de movimento rápido e total de cada uma das peças obtidos pelos diferentes sistemas. O tempo total é dado pela soma do tempo rápido com o tempo de corte. É ainda calculado o erro, como sendo a diferença dos tempos obtidos nos dois métodos.

Tabela 75 - Comparação dos tempos obtidos no método tradicional e no método empírico.

Peça	Método Tradicional			Método Empírico			Erro		
	$t_{\text{corte}}^{\text{Total}}$ (min)	$t_{\text{rápido}}^{\text{Total}}$ (min)	$t^{\text{Total}}$ (min)	$t_{\text{corte}}^{\text{Total}}$ (min)	$t_{\text{rápido}}^{\text{Total}}$ (min)	$t^{\text{Total}}$ (min)	$t_{\text{corte}}^{\text{Total}}$ (min)	$t_{\text{rápido}}^{\text{Total}}$ (min)	$t^{\text{Total}}$ (min)
1	80,87	13,58	94,45	80,87	1,58	82,44	0,00	12,01	12,01
2	150,93	44,40	195,33	150,93	2,26	153,20	0,00	42,14	42,14
3	63,87	16,43	80,30	63,87	1,48	65,35	0,00	14,95	14,95
4	55,28	11,02	66,30	55,28	1,19	56,47	0,00	9,83	9,83
5	117,41	42,01	159,42	117,41	1,72	119,13	0,00	40,29	40,29
6	55,32	15,59	70,90	55,32	1,04	56,36	0,00	14,54	14,54
7	74,22	24,52	98,74	74,22	1,98	76,20	0,00	22,54	22,54
8	73,99	20,33	94,33	73,99	1,84	75,83	0,00	18,49	18,49
9	111,95	29,64	141,59	111,95	1,77	113,72	0,00	27,87	27,87
10	63,68	13,93	77,62	63,68	1,08	64,76	0,00	12,85	12,85
11	63,90	14,24	78,14	63,90	1,06	64,96	0,00	13,18	13,18
12	125,95	36,33	162,28	125,95	1,28	127,23	0,00	35,05	35,05
13	110,40	38,88	149,28	110,40	2,03	112,44	0,00	36,84	36,84
14	116,07	27,54	143,62	116,07	1,92	117,99	0,00	25,62	25,62
15	141,62	40,87	182,49	141,62	1,85	143,47	0,00	39,01	39,01
16	87,06	21,85	108,92	87,06	1,55	88,61	0,00	20,31	20,31
17	120,50	27,98	148,47	120,50	1,72	122,22	0,00	26,25	26,25
18	91,89	28,23	120,12	91,89	1,88	93,77	0,00	26,35	26,35
19	126,42	36,92	163,33	126,42	1,38	127,79	0,00	35,54	35,54
20	101,10	29,72	130,81	101,10	1,39	102,48	0,00	28,33	28,33
21	113,65	31,44	145,09	113,65	2,01	115,66	0,00	29,43	29,43
22	70,89	21,23	92,12	70,89	1,21	72,10	0,00	20,02	20,02
23	87,29	19,47	106,77	87,29	1,76	89,05	0,00	17,72	17,72
24	72,20	12,94	85,14	72,20	0,95	73,16	0,00	11,98	11,98
25	116,60	28,47	145,07	116,60	1,63	118,22	0,00	26,85	26,85
26	113,65	27,61	141,25	113,65	2,01	115,65	0,00	25,60	25,60
27	103,64	30,46	134,09	103,64	1,16	104,79	0,00	29,30	29,30
28	70,73	17,52	88,25	70,73	1,42	72,15	0,00	16,09	16,09
29	70,24	17,52	87,76	70,24	1,55	71,79	0,00	15,97	15,97
30	129,55	39,64	169,19	129,55	1,86	131,41	0,00	37,78	37,78
<b>Erro médio (min)</b>							<b>0,00</b>	<b>24,42</b>	<b>24,42</b>

É possível concluir, através da análise da Tabela 75, que existe uma diferença média de 24,42 minutos dos tempos obtidos pelos dois sistemas, sendo os tempos do método tradicional sempre superiores ao do empírico.

Os tempos de corte obtidos nos dois métodos são iguais, o que se explica pelo facto de terem sido utilizadas as mesmas ferramentas, com os mesmos parâmetros de corte e com a mesma sequência de operações.

A diferença dos valores obtidos dá-se nos tempos de movimentos rápidos. No método tradicional, é calculado o tempo de deslocamento da ferramenta entre elementos e o tempo de aproximação da ferramenta à peça de trabalho, enquanto no método empírico, por desconhecimento da posição dos elementos na peça, apenas é contabilizado o tempo de aproximação da ferramenta. Esta é a principal razão da diferença de tempos obtidos nos dois métodos.

Assim, considera-se o método empírico válido para o cálculo dos tempos de corte, mas inválido para o cálculo dos tempos de movimentos rápidos. Dessa forma, e atentando que são a principal influência no tempo de maquinagem final, serão apenas utilizados os tempos de corte no desenvolvimento das redes neuronais.

### 3.2.9 Criação da base de dados

Após a validação do método empírico, que apresenta como vantagem a possibilidade de gerar uma infinidade de peças, foram criadas duas bases de dados para o desenvolvimento das redes neuronais:

- **dadostreino:** base de dados com 750 peças para treino, teste e validação das RNAs a desenvolver;
- **dadosteste:** base de dados com 100 peças para avaliar o desempenho das RNAs desenvolvidas.

### 3.3 REDE NEURONAL ARTIFICIAL

O desenvolvimento das redes neurais foi feito com recurso ao *software* Matlab®.

Foram desenvolvidas várias redes, sendo apresentados neste capítulo apenas os passos seguidos no desenvolvimento da rede E1\_CONF7 (rede do ensaio 1 com a configuração número 7). As restantes RNAs foram desenvolvidas de forma semelhante, pelo que se apresentam apenas os seus resultados.

#### 3.3.1 Estrutura

Para o problema proposto, foram utilizadas redes *Feedforward* multicamada, por serem as indicadas para problemas de regressão. A função tangente hiperbólica foi utilizada como função de ativação das camadas intermédias e a função linear como ativação da camada de saída.

A estrutura da rede E1\_CONF7 é apresentada na Figura 75, apresentando uma arquitetura 4 – 8 – 8 – 1.

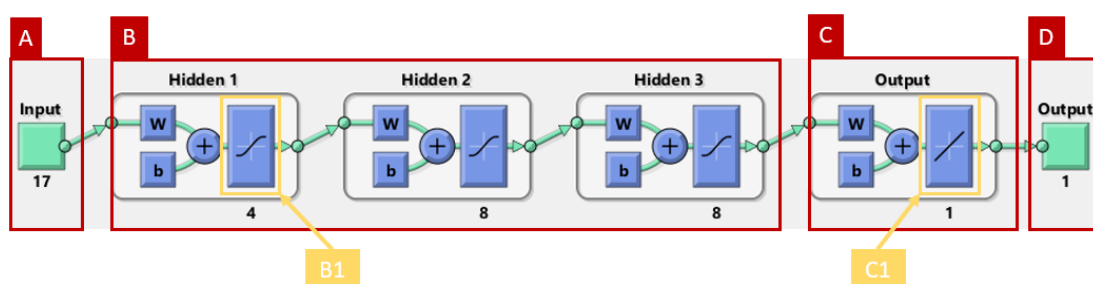


Figura 75 - Arquitetura da rede E1\_CONF7.

No ponto A da Figura 75, é apresentada a quantidade de variáveis de entrada utilizadas. No caso são utilizadas 17 variáveis de entrada, enumeradas mais à frente, mas a que correspondem a quantidade e volume de cada grupo de elementos e o material da peça.

O ponto B ilustra a estrutura das camadas intermédias da rede (*Hidden Layers*). Nesta configuração, foram utilizadas 3 camadas intermédias, sendo a primeira camada constituída por 4 neurónios e a segunda e terceira camada por 8 neurónios cada. A função de ativação utilizada em cada uma das camadas foi a função tangente hiperbólica, assinalada pelo ponto B1 da Figura 75.

A camada de saída, com apenas 1 neurónio, é sinalizada pelo ponto C e tem a função linear como ativação (ponto C1). Finalmente, no ponto D é assinalada a saída da rede neuronal, a que deverá corresponder uma matriz com os tempos de maquinaria estimados.

### 3.3.2 Preparação de dados e definição da RNA

O primeiro passo consistiu na importação das bases de dados **dadosteste** e **dadostreino** para o Matlab®. Depois foram definidas as matrizes de valores de entrada e de valores de saída, apresentadas na Figura 76.

```
A treino_e = (dadostreino(:, [1,3,4,6,7,9,10,12,13,15,16,18,19,21,22,24,25]))';  
   treino_s = (dadostreino(:,27))';  
  
B teste_e = (dadosteste(:, [1,3,4,6,7,9,10,12,13,15,16,18,19,21,22,24,25]))';  
   teste_s = (dadosteste(:,27))';
```

Figura 76 - Importação das bases de dados.

O ponto A da Figura 76 assinala as matrizes definidas para treino da RNA, nomeadamente a “treino\_e” e “treino\_s”, onde constam os valores de entrada e saída, respetivamente.

As matrizes de entrada e saída para teste da rede, apresentadas no ponto B da Figura 76, são a “teste\_e” e “teste\_s”, respetivamente, e serão utilizadas para aplicação da RNA desenvolvida e análise de erros.

Em ambos os pontos referidos anteriormente, são identificadas as colunas das tabelas **dadostreino** e **dadosteste**, que se pretendem introduzir como variáveis de entrada e valores de saída.

O segundo passo, apresentado na Figura 77, assenta na definição da rede neuronal e na quantidade de dados das amostras de treino da RNA.

```
net_e1_conf7 = feedforwardnet([4 8 8]);  
  
B net_e1_conf7.divideParam.trainRatio = 80/100;  
   net_e1_conf7.divideParam.valRatio = 10/100;  
   net_e1_conf7.divideParam.testRatio = 10/100;
```

Figura 77 - Definição da RNA e amostras de treino, validação e teste.

O ponto A da Figura 77 assinala a definição da rede `net_e1_conf7`, como sendo uma rede *Feedforward* com arquitetura 4 – 8 – 8.

Os dados de entrada (750 peças) são divididos no ponto B da Figura 77, de forma aleatória, e de acordo com:

- **Dados de treino:** 80% dos dados introduzidos (600 peças) serão apresentados à rede durante o treino, sendo esta ajustada em função dos mesmos;
- **Dados de validação:** 10% dos dados (75 peças) utilizados para medir o desempenho da RNA durante o seu treino. A rede termina quando o desempenho da rede deixa de melhorar;
- **Dados de teste:** 10% dos dados (75 peças) utilizados para avaliar a RNA desenvolvida após o treino.

O comando *feedforwardnet* permite o desenvolvimento de uma RNA com várias camadas. A primeira camada tem uma ligação com os valores de entrada da rede, e cada camada subsequente tem uma ligação com a camada anterior. A última camada produz o valor de saída da rede, de acordo com o apresentado anteriormente na Figura 75.

No interior do comando *feedforwardnet* é definida a arquitetura da RNA. Não é necessária a introdução da camada de saída nesta fase, pois esta é automaticamente definida pelo programa, como é possível confirmar pela Figura 78.

```
net_e1_conf7 =  
  
    Neural Network  
  
        name: 'Feed-Forward Neural Network'  
        userdata: (your custom info)  
  
    dimensions:  
  
        numInputs: 1  
        numLayers: 4  
        numOutputs: 1  
        numInputDelays: 0  
        numLayerDelays: 0  
        numFeedbackDelays: 0  
        numWeightElements: 189  
        sampleTime: 1
```

Figura 78 - Confirmação das dimensões da rede E1\_CONF7.

É possível verificar as características de cada uma das camadas na Figura 79. De acordo com o pretendido, e apresentado como valor *dimensions* (dimensões), a camada 1 é composta por 4 neurónios, a camada 2 e 3 por oito neurónios cada, e a camada 4 por um neurónio.

É também verificado que as camadas 1, 2 e 3 apresentam como função de ativação (*transferFcn*) a função *tansig*, que equivale à função tangente hiperbólica. A camada 4, por sua vez, é ativada pela função *purelin* correspondente à função linear.

Camada 1	Camada 2
<pre data-bbox="272 421 799 1144">&gt;&gt; net_e1_conf7.layers{1}  ans =  Neural Network Layer      name: 'Hidden 1'     dimensions: 4     distanceFcn: (none)     distanceParam: (none)     distances: []     initFcn: 'initnw'     netInputFcn: 'netsum'     netInputParam: (none)     positions: []     range: [4x2 double]     size: 4     topologyFcn: (none)     transferFcn: 'tansig'     transferParam: (none)     userdata: (your custom info)</pre>	<pre data-bbox="799 421 1319 1144">&gt;&gt; net_e1_conf7.layers{2}  ans =  Neural Network Layer      name: 'Hidden 2'     dimensions: 8     distanceFcn: (none)     distanceParam: (none)     distances: []     initFcn: 'initnw'     netInputFcn: 'netsum'     netInputParam: (none)     positions: []     range: [8x2 double]     size: 8     topologyFcn: (none)     transferFcn: 'tansig'     transferParam: (none)     userdata: (your custom info)</pre>
Camada 3	Camada 4
<pre data-bbox="272 1200 799 1904">&gt;&gt; net_e1_conf7.layers{3}  ans =  Neural Network Layer      name: 'Hidden 3'     dimensions: 8     distanceFcn: (none)     distanceParam: (none)     distances: []     initFcn: 'initnw'     netInputFcn: 'netsum'     netInputParam: (none)     positions: []     range: [8x2 double]     size: 8     topologyFcn: (none)     transferFcn: 'tansig'     transferParam: (none)     userdata: (your custom info)</pre>	<pre data-bbox="799 1200 1319 1904">&gt;&gt; net_e1_conf7.layers{4}  ans =  Neural Network Layer      name: 'Output'     dimensions: 1     distanceFcn: (none)     distanceParam: (none)     distances: []     initFcn: 'initnw'     netInputFcn: 'netsum'     netInputParam: (none)     positions: []     range: [1x2 double]     size: 1     topologyFcn: (none)     transferFcn: 'purelin'     transferParam: (none)     userdata: (your custom info)</pre>

Figura 79 - Propriedades de cada uma das camadas da RNA E1\_CONF7.

### 3.3.3 Treino da rede

O treino da RNA é iniciado com o comando apresentado na Figura 80, sendo definidas para o treino da rede as matrizes “treino\_e” e “treino\_s”.

```
[net_e1_conf7, tr_e1_conf7] = train(net_e1_conf7, treino_e, treino_s)
```

Figura 80 - Comando para treino da RNA E1\_CONF7.

A execução do comando anterior abre a janela da Figura 81.

The screenshot shows the 'Neural Network Training (ntraintool)' window. It is divided into several sections:

- A Neural Network:** A diagram of a feedforward neural network with 17 input nodes, three hidden layers (4, 8, and 8 nodes respectively), and 1 output node.
- B Algorithms:**
  - Data Division: Random (dividerand)
  - Training: Levenberg-Marquardt (trainlm)
  - Performance: Mean Squared Error (mse)
  - Calculations: MEX
- C Progress:** A table showing training progress:

Epoch:	0	24 iterations	1000
Time:		0:00:00	
Performance:	7.82e+03	26.3	0.00
Gradient:	4.37e+04	291	1.00e-10
Mu:	0.00100	0.100	1.00e+10
Validation Checks:	0	6	6
- D Plots:**
  - Performance (plotperform)
  - Training State (plottrainstate)
  - Error Histogram (ploterrhist)
  - Regression (plotregression)
  - Plot Interval: 1 epochs
- E Validation stop.** A green checkmark and the text 'Validation stop.' are displayed, indicating that the training process has reached a validation stop condition.

Buttons for 'Stop Training' and 'Cancel' are visible at the bottom right.

Figura 81 - Janela de treino da RNA E1\_CONF7.

No ponto A da Figura 81, é apresentada a estrutura da rede neuronal a treinar, semelhante à Figura 75 apresentada anteriormente.

No ponto B, são descritos os algoritmos utilizados no treino da rede, que são predefinidos para o comando *feedforwardnet*. A função *dividerand* é responsável pela divisão dos dados de forma aleatória pelas amostras de teste, validação e teste utilizadas no treino da RNA. O algoritmo de *backpropagation* Levenberg-Marquardt (*trainlm*) é utilizado para o treino da rede. Este algoritmo atualiza os pesos e *bias* de acordo com a otimização de Levenberg-Marquardt. Apesar de solicitar mais memória do que outras opções, este algoritmo é o mais rápido da *toolbox* do Matlab® e o mais recomendado para redes *Feedforward*.

São ainda apresentados no ponto B o algoritmo *mse*, que utiliza o erro médio quadrático (*Mean Squared Error*) para calcular o erro das amostras de validação e de teste, para correta análise do desempenho do treino da rede, e o algoritmo *MEX*, que visa melhorar a velocidade do treino da rede.

No ponto C é apresentado o progresso do treino da rede, e no ponto D é possível aceder a gráficos que permitem analisar o treino da rede. No ponto E é referido que o treino da rede terminou por validação, o que significa que de acordo com os dados de validação, o desempenho da rede não tem espaço para melhorar, de acordo com a configuração apresentada.

Do ponto D são gerados os gráficos das Figura 82 a Figura 85. O gráfico da Figura 82 apresenta a evolução do erro médio quadrático das amostras de treino (a azul), de validação (a verde) e de teste (a vermelho), ao longo dos 24 ciclos de treino.

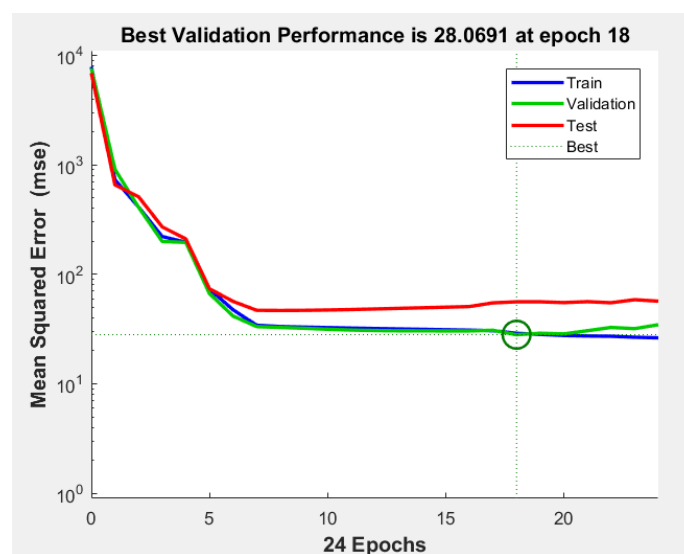


Figura 82 - Progresso do treino da RNA E1\_CONF7.

O treino da rede terminou quando o erro de validação falhou em diminuir por seis ciclos consecutivos, ao 24º ciclo, de acordo com o apresentado na Figura 82 e no último gráfico da Figura 83.

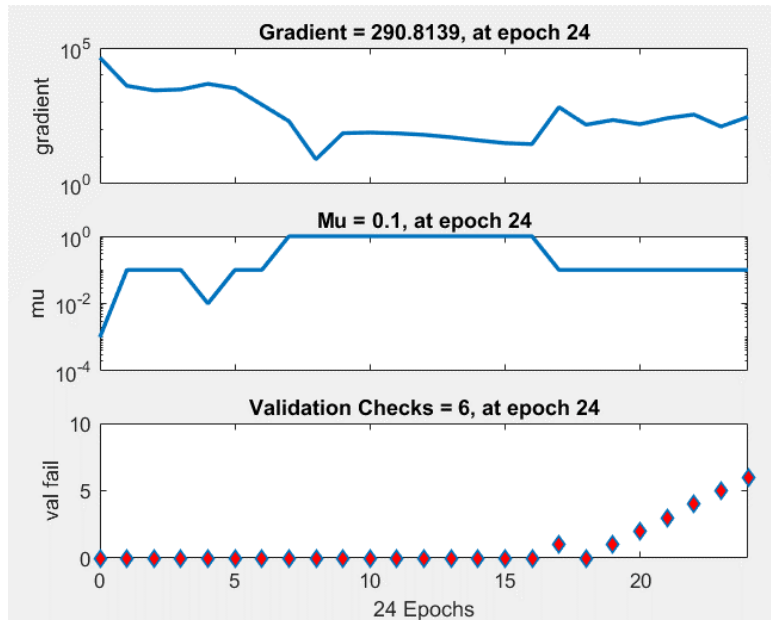


Figura 83 - Estado do treino ao longo dos 24 ciclos de treino.

O histograma de erros é apresentado na Figura 84, onde as barras a azul representam as amostras de treino, as barras a verde as amostras de validação, e as barras a vermelho as amostras de teste.

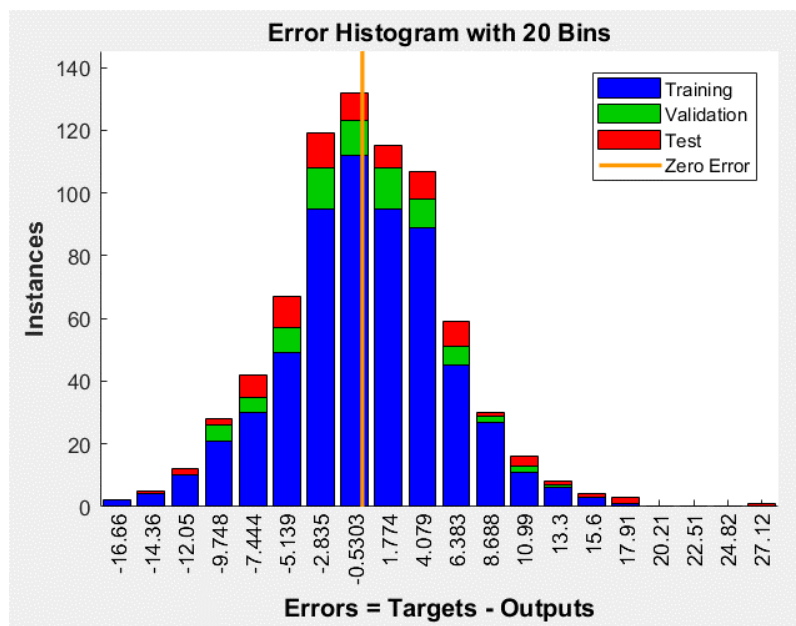


Figura 84 - Histograma de erros no final do treino.

O histograma permite identificar a existência de dados com erro superior à média de erros, e que estão a prejudicar a precisão da rede. No caso, os erros variam essencialmente entre os -17 e 18 minutos, existindo uma pequena quantidade de dados com erro de aproximadamente 27 minutos, sem grande influência para o desempenho final da rede. Estes dados desviantes podem também ser observados nos gráficos de regressão apresentados na Figura 85.

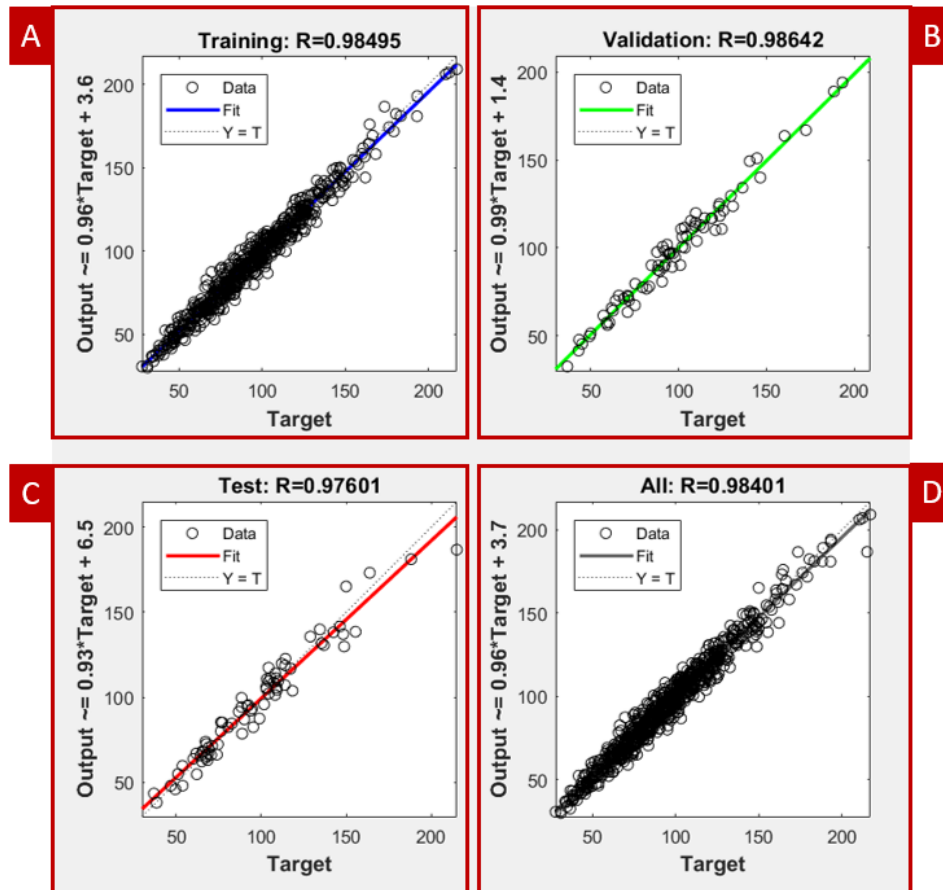


Figura 85 - Regressão das amostras para treino (ponto A), validação (ponto B), teste (ponto C) e de todos os dados (ponto D).

Os gráficos da Figura 85 apresentam os valores de saída, estimados pela rede em relação aos valores de saída introduzidos para o treino. O ponto A apresenta a regressão da amostra de treino, o ponto B a regressão da amostra de validação, o ponto C da amostra de teste, e o ponto D a regressão de todos os dados de treino.

Num bom treino, as retas de regressão apresentam uma inclinação de  $45^\circ$  e o valor de R é de 1. No caso apresentado, os valores de R e a inclinação das retas de regressão indiciam um bom treino da RNA.

### 3.3.4 Previsão de tempos de maquinagem e teste da rede

Apesar das redes serem testadas imediatamente após o treino, decidiu-se testar o desempenho das redes desenvolvidas na estimativa dos tempos de maquinagem das 100 peças da base de dados **dadosteste**. Dessa forma, o desempenho das RNAs será avaliado perante os mesmos dados de entrada, e não perante dados aleatórios.

A estimativa dos tempos de maquinagem através da aplicação da rede E1\_CONF7, é realizada com a execução do comando apresentado na Figura 86.

```
e1_conf7_teste_se = (net_e1_conf7(teste_e))'
```

Figura 86 - Comando para estimativa dos tempos de maquinagem dos dados de entrada “teste\_e”.

Desta forma, é criada a matriz de tempos de saída estimados e1\_conf7\_teste\_se, que será comparada aos tempos reais de saída presentes na matriz teste\_s.

A avaliação do desempenho da rede é feita calculando o erro médio (EM), o erro absoluto médio (EAM), o erro quadrático médio (EQM) e o erro percentual (EP) entre os valores reais e os valores estimados. É também apresentado o erro máximo como EM<sub>máx</sub>.

O erro médio foi calculado de acordo com a expressão:

$$EM = \frac{\sum_{t=1}^n e_t}{n} \quad (18)$$

onde o erro  $e_t$  é calculado como a diferença em o tempo real ( $Z_t$ ) e o tempo estimado ( $Z_t^e$ ), de acordo com a expressão:

$$e_t = Z_t - Z_t^e \quad (19)$$

O erro absoluto médio, por sua vez, é obtido de acordo com:

$$EAM = \frac{\sum_{t=1}^n |e_t|}{n} \quad (20)$$

A expressão 21 foi utilizada no cálculo do erro quadrático médio.

$$EQM = \frac{\sum_{t=1}^n e_t^2}{n} \quad (21)$$

O erro percentual foi calculado de acordo com a expressão:

$$EP = \frac{|z_t^e - z_t|}{z_t} \times 100 \quad (22)$$

Dessa forma, os erros da rede E1\_CONF7 na estimativa dos valores de teste são apresentados na Tabela 76.

Tabela 76 - Erros da rede E1\_CONF7 na estimativa dos valores de teste.

		Erro
EM	Erro Médio	0,26 min
EAM	Erro Absoluto Médio	4,85 min
EQM	Erro Quadrático Médio	41,42 min
EP	Erro Percentual	2,52%
EMáx.	Erro Máximo	25,71 min

### 3.4 MODELOS COMPARATIVOS

#### 3.4.1 Ensaio 1 – Variação de arquiteturas de rede

O primeiro ensaio procurou a arquitetura de rede com melhor precisão. Foram utilizadas as 750 peças da base de dados **dadostreino**, e o treino das redes foi executado de forma semelhante ao apresentado para a rede E1\_CONF7. Todas as camadas intermédias são ativadas pela função tangente hiperbólica e a camada de saída pela função linear. As variáveis de entrada destas redes são a quantidade e volume de cada um dos grupos de elementos, assim como o material da peça a trabalhar.

Os ensaios, a arquitetura de rede e os resultados do treino são apresentados na Tabela 77. São assinalados a verde os melhores resultados em cada uma das regressões.

Todos os dados de treino das redes neuronais artificiais desenvolvidas no ensaio 1 constam no anexo 6.4.1.

Na Tabela 78, são apresentados os erros obtidos quando as redes foram aplicadas à base de dados **dadosteste**. Os melhores resultados em cada um dos erros são assinalados a verde.

Tabela 77 - Redes utilizadas no ensaio 1 e resultados do treino.

Ensaio	Arquitetura de Rede	R			Total
		Treino	Validação	Teste	
E1_CONF1	4-8-1	0,98	0,97	0,98	0,98
E1_CONF2	4-4-1	0,94	0,93	0,85	0,93
E1_CONF3	4-9-1	0,99	0,98	0,97	0,98
E1_CONF4	4-10-1	0,98	0,98	0,96	0,98
E1_CONF5	4-15-1	0,98	0,97	0,98	0,98
E1_CONF6	4-20-1	0,98	0,97	0,98	0,98
E1_CONF7	4-8-8-1	0,99	0,99	0,98	0,98
E1_CONF8	4-10-10-1	0,99	0,98	0,97	0,98
E1_CONF9	4-4-4-1	0,97	0,96	0,96	0,97

Tabela 78 - Resultados dos erros das redes utilizadas no ensaio 1.

Ensaio	Arquitetura de Rede	Erro				EP (%)
		EM (min)	EAM (min)	EQM (min)	EMáx. (min)	
E1_CONF1	4-8-1	0,16	5,00	42,22	17,14	2,63
E1_CONF2	4-4-1	-1,82	8,40	221,91	71,23	6,15
E1_CONF3	4-9-1	0,57	4,74	38,72	23,13	2,78
E1_CONF4	4-10-1	1,95	5,31	43,74	15,30	2,86
E1_CONF5	4-15-1	0,16	5,37	47,20	21,72	2,89
E1_CONF6	4-20-1	1,38	5,20	45,47	19,54	2,66
E1_CONF7	4-8-8-1	0,26	4,85	41,42	25,71	2,52
E1_CONF8	4-10-10-1	-0,66	5,57	62,06	37,06	2,88
E1_CONF9	4-4-4-1	2,09	6,62	75,98	34,69	3,13

### 3.4.2 Ensaio 2 – Influência da quantidade de dados de entrada

O segundo ensaio procurou estudar a influência da quantidade de dados de entrada na precisão da RNA. Utilizando como critério o erro percentual, considerou-se a rede E1\_CONF7 como a melhor rede do ensaio 1. A quantidade de dados de entrada para treino da rede foi variada de acordo com o apresentado na Tabela 79. Na mesma tabela, são apresentados os resultados do treino de cada uma das RNA, sendo os melhores resultados assinalados a verde (ver anexo 6.4.2).

Importa salientar que a rede E2\_750 é igual à rede E1\_CONF7. Na Tabela 80, são apresentados os resultados dos erros das redes utilizadas no ensaio 2, na previsão de tempos das peças da base de dados **dadosteste**. De forma semelhante às tabelas anteriores, os melhores resultados são assinalados a verde.

Tabela 79 - Resultados do treino das redes do ensaio 2.

Ensaio	Arquitetura de Rede	Nº Dados	R			Total
			Treino	Validação	Teste	
E2_050	4-8-8-1	50	0,63	0,86	0,90	0,67
E2_100	4-8-8-1	100	0,85	0,74	0,66	0,82
E2_150	4-8-8-1	150	0,97	0,88	0,93	0,96
E2_200	4-8-8-1	200	0,97	0,97	0,93	0,97
E2_250	4-8-8-1	250	0,98	0,96	0,98	0,98
E2_300	4-8-8-1	300	0,98	0,97	0,97	0,97
E2_350	4-8-8-1	350	0,99	0,95	0,97	0,98
E2_400	4-8-8-1	400	0,98	0,97	0,96	0,98
E2_450	4-8-8-1	450	0,99	0,98	0,97	0,98
E2_500	4-8-8-1	500	0,98	0,97	0,98	0,98
E2_550	4-8-8-1	550	0,98	0,98	0,98	0,98
E2_600	4-8-8-1	600	0,99	0,97	0,97	0,98
E2_650	4-8-8-1	650	0,99	0,98	0,98	0,99
E2_700	4-8-8-1	700	0,98	0,98	0,97	0,98
E2_750	4-8-8-1	750	0,99	0,99	0,98	0,98

Tabela 80 - Resultados dos erros das redes utilizadas no ensaio 2.

Ensaio	Arquitetura de Rede	Nº Dados	Erro				EP (%)
			EM (min)	EAM (min)	EQM (min)	EMáx. (min)	
E2_050	4-8-8-1	50	2,45	21,64	799,52	78,15	12,82
E2_100	4-8-8-1	100	6,74	23,99	906,34	96,35	11,29
E2_150	4-8-8-1	150	2,69	12,50	265,21	46,08	7,48
E2_200	4-8-8-1	200	-0,32	9,47	175,14	44,10	5,01
E2_250	4-8-8-1	250	0,43	6,94	85,75	37,75	3,95
E2_300	4-8-8-1	300	-0,29	6,95	81,23	33,91	3,78
E2_350	4-8-8-1	350	-1,16	6,27	62,82	23,14	3,55
E2_400	4-8-8-1	400	-1,35	6,43	67,74	24,18	3,49
E2_450	4-8-8-1	450	-0,96	5,85	52,05	16,73	3,26
E2_500	4-8-8-1	500	1,42	5,59	54,26	25,16	3,15
E2_550	4-8-8-1	550	1,80	5,72	57,80	27,27	2,99
E2_600	4-8-8-1	600	0,62	5,27	45,28	22,02	2,98
E2_650	4-8-8-1	650	-0,08	5,49	55,31	27,80	2,98
E2_700	4-8-8-1	700	0,27	4,88	40,18	17,09	2,57
E2_750	4-8-8-1	750	0,26	4,85	41,42	25,71	2,52

### 3.4.3 Ensaio 3 – Influência das variáveis de entrada

O ensaio 3 procurou estudar a influência das variáveis de entrada na precisão das redes neuronais. Mais uma vez, e mantendo como critério o erro percentual, foi selecionada a melhor rede dos ensaios anteriores, E1\_CONF7 (igual a E2\_750) e foram variadas as variáveis de entrada.

Para compreensão das tabelas referentes ao ensaio 3, importa definir:

- Q – Quantidade de cada grupo de elementos;
- A – Área de cada grupo de elementos;
- V – Volume de cada grupo de elementos;
- $Q_T$  – Quantidade total de elementos a maquinar na peça;
- $A_T$  – Área total a maquinar na peça;
- $V_T$  – Volume total a maquinar na peça.

Em todos os ensaios, foi utilizado o material da peça a maquinar como variável de entrada. A quantidade de dados de entrada é de 750 peças.

As redes treinadas, as variáveis de entrada e o resultado do treino das mesmas, são apresentados na Tabela 81.

Tabela 81 - Resultados do treino das redes do ensaio 3.

Ensaio	Arquitetura de Rede	Variáveis de entrada	R			
			Treino	Validação	Teste	Total
E3_01	4-8-8-1	Q + V	0,99	0,99	0,98	0,98
E3_02	4-8-8-1	Q + A	0,96	0,95	0,95	0,95
E3_03	4-8-8-1	V + A	0,97	0,95	0,97	0,97
E3_04	4-8-8-1	$Q_T + V_T$	0,72	0,76	0,74	0,73
E3_05	4-8-8-1	$Q_T + A_T$	0,79	0,81	0,85	0,80
E3_06	4-8-8-1	$V_T + A_T$	0,83	0,83	0,84	0,83
E3_07	4-8-8-1	Q + V + A	0,99	0,98	0,97	0,98
E3_08	4-8-8-1	Q + $V_T$	0,89	0,85	0,86	0,88
E3_09	4-8-8-1	Q + $A_T$	0,93	0,93	0,94	0,93

Os restantes gráficos de treino são apresentados no anexo 6.4.3.

A rede E3\_01 é igual à rede E2\_750 e à E1\_CONF7. Na Tabela 82 são apresentados os resultados dos erros obtidos das redes do ensaio 3, na previsão dos tempos de maquinagem das peças da base de dados **dadosteste**.

Tabela 82 - Resultados dos erros das redes do ensaio 3.

Ensaio	Arquitetura de Rede	Variáveis de entrada	Erro				EP (%)
			EM (min)	EAM (min)	EQM (min)	EMáx. (min)	
E3_01	4-8-8-1	Q + V	0,26	4,85	41,42	25,71	2,52
E3_02	4-8-8-1	Q + A	2,13	8,90	143,17	42,02	4,58
E3_03	4-8-8-1	V + A	-2,76	6,65	68,63	23,18	3,21
E3_04	4-8-8-1	Q <sub>T</sub> + V <sub>T</sub>	1,89	18,85	600,44	67,70	10,26
E3_05	4-8-8-1	Q <sub>T</sub> + A <sub>T</sub>	30,06	31,46	1373,17	91,06	14,66
E3_06	4-8-8-1	V <sub>T</sub> + A <sub>T</sub>	25,90	27,23	1154,57	105,98	12,54
E3_07	4-8-8-1	Q + V + A	0,21	5,74	52,53	20,20	2,77
E3_08	4-8-8-1	Q + V <sub>T</sub>	18,37	19,17	561,75	67,30	8,44
E3_09	4-8-8-1	Q + A <sub>T</sub>	1,80	8,98	133,10	32,55	4,43

### 3.5 ANÁLISE DE RESULTADOS

#### 3.5.1 Ensaio 1

Dos resultados do treino das redes do ensaio 1, verificou-se:

- As amostras de treino com melhores resultados correspondem às redes E1\_CONF3 (arquitetura 4-9-1), E1\_CONF7 (4-8-8-1) e E1\_CONF8 (4-10-10-1), com um R de 0,99;
- A rede E1\_CONF7 é a rede com melhor resultado na validação com um R de 0,99;
- As redes E1\_CONF1, E1\_CONF5, E1\_CONF6 e E1\_CONF7, são as redes com melhor resultado nas amostras de teste com um R de 0,98;
- Com todos os dados e com um R de 0,98, as redes E1\_CONF1, E1\_CONF3, E1\_CONF4, E1\_CONF5, E1\_CONF6, E1\_CONF7 e E1\_CONF8 são as redes com melhores resultados;
- A rede E1\_CONF7 venceu em todos os dados de treino, e a E1\_CONF2 foi a rede com piores resultados, seguida da rede E1\_CONF9;
- Apenas o R da amostra de teste da rede E1\_CONF2 ficou abaixo dos 0,93 (o menor valor das restantes amostras de teste), com um R de 0,85. Todas as redes apresentam os restantes valores acima de 0,93, o que revela que foi feito um bom treino das redes.

Da aplicação das redes do ensaio 1 aos **dadosteste**, conclui-se que:

- As redes com menor erro médio foram as redes E1\_CONF1 e E1\_CONF5;
- A rede com menor erro absoluto médio e menor erro quadrático médio foi a rede E1\_CONF3;
- O menor erro máximo registado foi de 19,54 minutos, na rede E1\_CONF6;

- Tendo como critério o erro percentual, a rede com melhor desempenho foi a E1\_CONF7 com 2,52%. Para além disso, à exceção das redes E1\_CONF2 e E1\_CONF9, todas as redes apresentam um erro percentual entre 2,52 e 2,89%, o que denota uma boa precisão das redes desenvolvidas;

A rede E1\_CONF2 foi a que apresentou pior desempenho, com um erro percentual de 6,15%. Além disso, é a rede com maiores valores de erro máximo, erro quadrático médio e erro absoluto médio. A análise do histograma de erros apresentado na Figura 87 permite identificar a existência de uma maior dispersão de valores, em comparação com as restantes redes. Do mesmo modo, no gráfico de regressão linear assinalam-se zonas de dados bastante afastados da reta de regressão.

Os dois aspetos apresentados podem ser os responsáveis pelo fraco desempenho da rede, em comparação com as restantes. Uma análise de dados mais atenta, onde os valores desviantes são retirados, contribuiria para um melhor desempenho da rede.

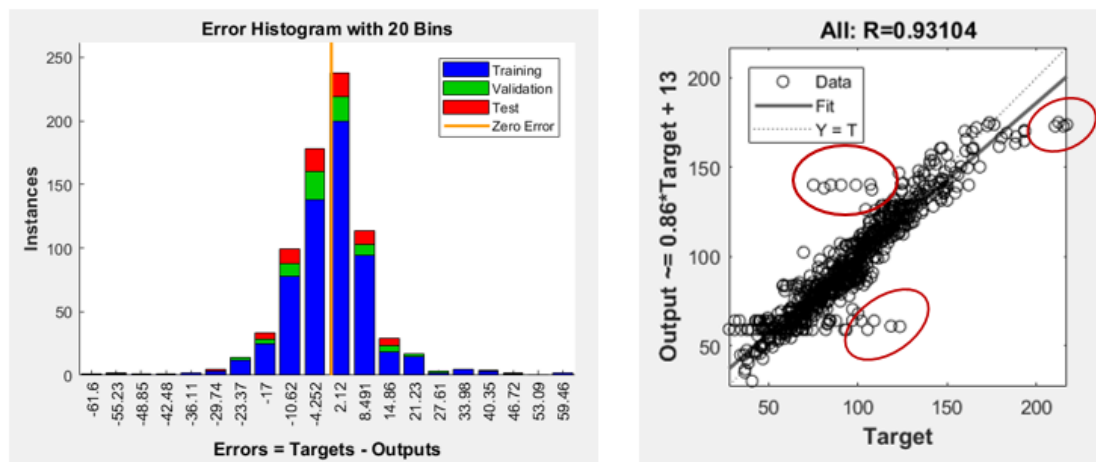


Figura 87 - Histograma de erros (à esquerda) e gráfico de regressão linear (à direita) do ensaio E1\_CONF2.

De notar ainda a relação entre os dados de treino e os resultados de aplicação das redes: a rede com melhor desempenho no treino foi a rede com menor erro percentual, e a rede com pior desempenho apresentou o maior erro percentual.

### 3.5.2 Ensaio 2

Do treino das redes do ensaio 2, verificou-se:

- As redes E2\_350, E2\_450, E2\_600, E2\_650 e E2\_750 foram as redes com melhor desempenho nas amostras de treino, com um R de 0,99;
- A rede E2\_750 foi a rede com melhor desempenho na amostra de validação, com um R de 0,99;
- Com um R de 0,98, as redes E2\_250, E2\_500, E2\_550, E2\_650 e E2\_750 foram as redes com melhor desempenho na amostra de teste;

- Com todos os valores e com um R de 0,99, a rede E2\_650 apresentou o melhor resultado de treino;
- De realçar ainda que os valores de R para todas as amostras aumentam em função da quantidade de peças, mantendo-se aproximadamente constante a partir das 250 peças.

A análise de erros da aplicação das redes neuronais aos **dadosteste**, permite apurar que:

- A rede com menor erro médio foi a E2\_650, com um erro médio de -0.08 minutos;
- Com um erro absoluto médio de 4,85 minutos, a rede E2\_750 foi a rede com melhor resultado;
- A rede com o valor mais baixo de erro quadrático médio, foi a rede E2\_700;
- O menor erro máximo registado ocorreu na rede E2\_450;
- O erro percentual mais baixo pertence à rede E2\_750, sendo esta que assegura o melhor desempenho da rede.

O gráfico da Figura 88 apresenta a variação do erro percentual em função do número de dados de entrada. Verifica-se que o erro diminui em função do aumento do número de peças. A partir das 250 peças, o erro percentual reduz-se com menor acentuação.

Verifica-se novamente que as redes com melhores resultados de treino, apresentam melhores resultados de precisão.

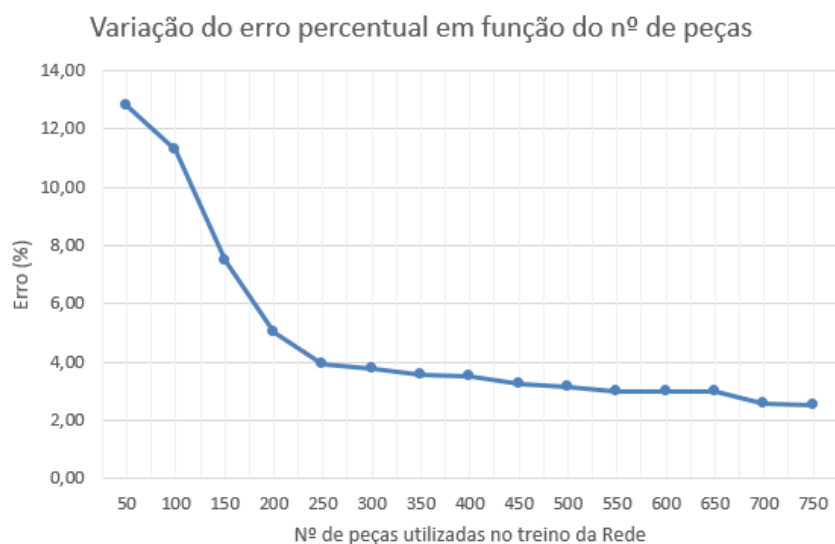


Figura 88 - Variação do erro percentual em função do número de peças utilizadas no treino da rede.

### 3.5.3 Ensaio 3

Do resultado do treino das redes do ensaio 3, conclui-se que:

- A rede E3\_01 e E3\_07 é a rede que apresenta melhor resultado na amostra de treino, com um R de 0,99;
- Com um R de 0,99, a rede E2\_01 foi a melhor rede na amostra de validação;
- A rede E3\_01 foi a rede com melhor resultado na amostra de teste, com um R de 0,98;
- A rede E3\_01 e E3\_07 foram as redes com melhor resultado no total, com um R de 0,98.

Da aplicação das redes do ensaio 3 à base de dados **dadosteste**, verifica-se que:

- A rede com menor erro médio é a rede E3\_07;
- A rede com menor erro absoluto médio é a rede E3\_01;
- Com um erro quadrático médio de 41,42 minutos, a rede E3\_01 é a melhor rede neste parâmetro;
- O menor erro máximo registado ocorreu na rede E3\_07;
- A rede com menor erro percentual foi a rede E3\_01, com um erro de 2,52%.

Uma vez mais, verifica-se que os resultados do treino coincidem com a precisão final da rede, como seria de esperar.

Importa também ordenar as variáveis de entrada em função da sua precisão (Tabela 83).

Tabela 83 - Variáveis de entrada ordenadas em função do erro percentual e análise dos resultados.

Ensaio	Variáveis de entrada	EP (%)	Comentário
E3_01	Q + V	2,52	A quantidade e volume de cada grupo de elementos, verificaram-se como as variáveis de entrada que permitem melhor precisão;
E3_07	Q + V + A	2,77	Com um erro percentual próximo, mas superior ao da rede E3_01, o acréscimo da área superficial de cada grupo de elementos a maquinar, não se verifica como uma vantagem para a precisão da rede;
E3_03	V + A	3,21	O volume e a área superficial de cada grupo de elementos apresenta resultados satisfatórios, agregados ao facto de não ser necessário quantificar os elementos de cada grupo;

E3_09	$Q + A_T$	4,43	A quantidade de cada grupo de elementos e a área superficial total a maquinar apresentam um erro percentual abaixo dos 5%, mas superior ao das redes E3_01, E3_07 e E3_03;
E3_02	$Q + A$	4,58	A introdução da área superficial de cada grupo de elementos não se revela uma vantagem para a precisão da rede, em comparação com a área superficial total a maquinar;
E3_08	$Q + V_T$	8,44	A quantidade dos elementos de cada grupo e o volume total de material a remover apresentam um erro percentual superior a 5%, pelo que não se considera como uma boa solução;
E3_04	$Q_T + V_T$	10,26	A utilização de variáveis de entrada com valores totais, revela erros percentuais bastantes superiores ao limite de 5% e aos valores apresentados para as redes treinadas com a quantidade, volume e área individual de cada grupo de elementos.
E3_06	$V_T + A_T$	12,54	
E3_05	$Q_T + A_T$	14,66	

# CONCLUSÕES

4.1 CONCLUSÕES

4.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS



## 4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

### 4.1 CONCLUSÕES

Com a realização deste trabalho foi possível analisar, estudar e testar a aplicabilidade de redes neuronais artificiais na estimativa de tempos de maquinagem. Um dos principais contributos do trabalho apresentado assenta no desenvolvimento de uma rede neuronal *Feedforward* com aprendizagem supervisionada, que prevê o tempo de maquinagem de peças *standard* de moldes para injeção de plásticos com um erro de 2,52%.

A aplicação de redes neuronais neste caso de estudo revelou-se uma forma célere e eficaz de estimar os tempos de corte. A introdução da quantidade e volume de cada um dos grupos de elementos mais comuns das peças *standard* mostrou-se suficiente para o objetivo, não tendo sido necessário detalhar individualmente as dimensões de cada elemento a maquinar. Dessa forma, a introdução da quantidade e volume de um grupo de elementos como as roscas métricas, por exemplo, mostra-se suficiente para a estimativa dos tempos de corte, sem a necessidade de discriminar individualmente as dimensões de cada uma das roscas métricas. A especificação de cada um dos elementos a maquinar tornaria o método apresentado mais lento, o que não iria ao encontro dos objetivos propostos.

Uma das dificuldades encontradas na realização deste trabalho ocorreu na recolha de dados suficientes para o treino das RNAs, que recorre normalmente a grandes bases de dados. O desenvolvimento de um método empírico, que calcula o tempo de maquinagem de uma peça com base no tempo individual de cada elemento a maquinar, revelou-se uma boa aproximação para o cálculo dos tempos de corte e permitiu a criação de uma base de dados com 750 peças para treino e de uma outra base de dados com 100 peças para aplicação das redes neuronais desenvolvidas. No entanto, importa referir que o método empírico não permitiu calcular os tempos de movimentos rápidos entre elementos. Estes têm menor importância no tempo final de maquinagem de uma peça, pelo que apenas os tempos de corte foram considerados neste trabalho.

Com as bases de dados criadas, e de forma a encontrar a rede neuronal que melhor se adequasse ao objetivo proposto, foram realizados diferentes ensaios, que demonstraram que:

- As arquiteturas de rede apresentaram uma pequena influência na precisão das RNAs, tendo 7 das 9 redes treinadas apresentado um erro percentual entre 2,52% e 2,89%;
- A rede com maior desvio do erro percentual (E1\_CONF2), apresentou valores desviantes no histograma de erros e nos gráficos de regressão linear, o que demonstra a importância do tratamento de dados utilizados no treino. A remoção dos dados desviantes, iria melhorar o desempenho da rede;
- A quantidade de dados utilizados no treino da rede revelou-se de grande importância. As redes treinadas com um maior número de dados, apresentaram um menor erro percentual e melhores valores de treino;
- A diminuição do erro percentual das redes treinadas é menos acentuada, à medida que se aumenta o número de dados utilizados no treino;
- A quantidade e volume de cada um dos grupos de elementos a maquinar revelaram-se como as variáveis de entrada que proporcionam menor erro percentual;
- Ao contrário do que seria de esperar, a introdução da área à quantidade e volume de cada grupo de elementos não representou uma diminuição do erro percentual;
- As variáveis quantidade total, volume total e área total, não apresentaram bons resultados;
- Em todos os ensaios, confirmou-se uma boa relação entre os resultados de regressão do treino da rede e os resultados do erro percentual.

## 4.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

O trabalho desenvolvido permitiu obter um novo conhecimento quanto à possibilidade de aplicação de redes neuronais artificiais na estimativa de tempos de maquinaria. No entanto, todas as investigações com limite temporal apresentam lacunas e espaço para aperfeiçoamentos.

Posto isto, de forma a estudar a metodologia apresentada, perceber anomalias e trabalhar na viabilidade da sua aplicação, podem ser realizados trabalhos futuros com os seguintes enfoques:

- Estudar a aplicação de redes neuronais a um caso real de forma a analisar a exequibilidade prática da metodologia;
- Alargar o estudo a zonas moldantes e zonas com geometrias complexas;
- Realizar um ensaio mais alargado com redes neuronais de outras topologias, nomeadamente, variar os algoritmos de treino e funções de ativação;
- Comparar com outros métodos estimativos existentes.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES  
DE INFORMAÇÃO**



## 5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- [1] CEFAMOL - Associação Nacional da Indústria de Moldes (2020). Indústria Portuguesa de Moldes - Relatório de 2020, p. 16.
- [2] Martins, P. (2019). Desenho e Projeto de Moldes. Lisboa: FCA - Editora de Informática, Lda. ISBN 978-972-722-893-5.
- [3] Atia, M., Khalil, J. & Mokhtar, M. (2017). A cost estimation model for machining operations: an ANN Parametric Approach, *Journal of Al-Azhar University Engineering Sector*, 12(44), pp. 878–885.
- [4] Schlegel, D., Frank, F. & Britzelmaier, B. (2016). Investment decisions and capital budgeting practices in German manufacturing companies, *International Journal of Business and Globalisation*, 16(1), pp. 66–78.
- [5] Ferreira, V., Silva, F. J. G., Martinho, R. P., Pimentel, C., Godina, R. & Pinto, B. (2019). A comprehensive supplier classification model for SME outsourcing, *Procedia Manufacturing*, 38(2019), pp. 1461–1472.
- [6] Harada, J. (2004). Moldes para Injeção de Termoplásticos: projetos e princípios básicos. São Paulo: Artliber. ISBN 978-8588098183.
- [7] MAXIMOLDE. (2020). *Áreas de Negócio*. Obtido em 9 de Julho de 2021, de MAXIMOLDE: <https://www.maximolde.pt/pt/areas-de-negocio-18/>
- [8] Groover, M. (2010). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*. USA: John Wiley & Sons, Inc. ISBN 978-0470-467002.
- [9] Swift, K. G. & Booker, J. D. (2003). *Process selection: From design to manufacture, Process Selection: From Design to Manufacture: Second Edition*. UK: Butterworth-Heinemann. ISBN 978-0750654371.
- [10] Hubs. (2020). *Injection molding: The manufacturing & design guide*. Obtido em 9 de Julho de 2021, de Hubs: <https://www.hubs.com/guides/injection-molding/#the-basics>
- [11] HASCO. (2021). *Bicos de canal quente*. Obtido em 10 de Julho de 2021, de Hasco: <https://www.hasco.com/pt/Cat%C3%A1logo-do-produto/H/Bicos-de-canal-quente/c/PIM0401>.

- [12] HASCO. (2021). *Extratores*. Obtido em 10 de Julho de 2021, de Hasco: <https://www.hasco.com/pt/Cat%C3%A1logo-do-produto/Z/Extra%C3%A7%C3%A3o/Extrator/c/PIM030301?search=true>.
- [13] Powell, J. a. (2000). Part and Mold Design THERMOPLASTICS, *Bayer Design Engineering Services Group*, 2(2), pp. 137–145.
- [14] HASCO. (2021). *Elementos de guiamento*. Obtido em 10 de Julho de 2021, de Hasco: <https://www.hasco.com/pt/Cat%C3%A1logo-do-produto/Z/Elementos-guiamento/Guia/c/PIM030101>.
- [15] HASCO. (2021). *Elementos de guiamento*. Obtido em 10 de Julho de 2021, de Hasco: <https://www.hasco.com/pt/Cat%C3%A1logo-do-produto/Z/Elementos-guiamento/Casquilho/c/PIM030102>.
- [16] HASCO. (2021). *Componentes gerais de moldes*. Obtido em 10 de Julho de 2021, de Hasco: <https://www.hasco.com/pt/Cat%C3%A1logo-do-produto/Z/Componentes-gerais-de-moldes/An%C3%A9is-de-centragem/c/PIM030212>.
- [17] Nacional, M. P. (2001). DME CATALOGO, pp. 1–16.
- [18] Soares, P. (2009). Aços - Características e tratamentos. Porto: Publindústria, Edições Técnicas. ISBN 9789892017976.
- [19] Aços, R. (2020). Ramada Aços: Produtos e Serviços. Ovar: Ramada. .
- [20] Completo, A., Festas, A. & Paulo Davim, J. (2009). Tecnologia de Fabrico. Porto: Publindústria, Edições Técnicas. ISBN 978-972-8953-31-7.
- [21] Hällgren, S., Pejryd, L. & Ekengren, J. (2016). Additive manufacturing and High Speed Machining: cost comparison of short lead time manufacturing methods, *Procedia CIRP*, 50, pp. 384–389.
- [22] Costa, C., Silva, F. J. G., Gouveia, R. M. & Martinho, R. P. (2018). Development of hydraulic clamping tools for the machining of complex shape mechanical components, *Procedia Manufacturing*, 17, pp. 563–570.
- [23] HAAS CNC. (2021). Vr-8. Obtido em 15 de Abril de 2021, de Haas: <https://www.haascnc.com/pt/machines/vertical-mills/vr-series/models/vr-8.html>
- [24] CHETO. (2021). CC 1000. Obtido em 15 de Abril de 2021, de CHETO: <https://www.cheto.eu/pt/produtos/cc>
- [25] FARO. (2020). *Série FARO Quantum FAROARM e SCANARM*. Obtido em 28 de Julho de 2020, de Faro: <https://www.faro.com/pt-br/Products/Hardware/Quantum-FaroArms#>

- [26] TEBIS. (2020). *Fresagem a 5 Eixos contínuos - Modelos CAM sem colisões*. Obtido em 28 de Julho de 2020, de Tebis: <https://www.tebis.com/pt/software/software-cam/fresagem-a-5-eixos>
- [27] Stephenson, D. & Agapiou, J. (2016). *Machining Dynamics - Frequency Response to Improved Productivity*. USA: Springer. ISBN 9783319937069.
- [28] HAAS. (2020). *EC-1600ZT-5AX*. Obtido em 28 de Julho de 2020, de Haas: <https://www.haascnc.com/machines/horizontal-mills/ec-series/models/ec-1600zt-5ax.html>
- [29] Makhesana, M. A., Patel, K. M. & Mawandiya, B. K. (2020). Environmentally conscious machining of Inconel 718 with solid lubricant assisted minimum quantity lubrication, *Metal Powder Report*, pp. 1–6.
- [30] Agarwal, V. & Agarwal, S. (2021). Performance profiling of solid lubricant for eco-friendly sustainable manufacturing, *Journal of Manufacturing Processes*, 64, pp. 294–305.
- [31] Agrawal, C., Wadhwa, J., Pitroda, A., Pruncu, C. I., Sarikaya, M. & Khanna, N. (2021). Comprehensive analysis of tool wear, tool life, surface roughness, costing and carbon emissions in turning Ti–6Al–4V titanium alloy: Cryogenic versus wet machining, *Tribology International*, 153, p. 106597.
- [32] Kumar, S., Campilho, R. D. S. G. & Silva, F. J. G. (2019). Rethinking modular jigs' design regarding the optimization of machining times, *Procedia Manufacturing*, 38, pp. 876–883.
- [33] Kumar, S. R., Dinesh Krishnaa, S., Gowthamaan, K. K., Mouli, D. C., Chakravarthi, K. C. & Balasubramanian, T. (2020). Development of a Re-engineered fixture to reduce operation time in a machining process, *Materials Today: Proceedings*, 37, pp. 3179–3183.
- [34] Sandvik Coromant (2017). *Training Handbook: Metal cutting technology*. Sandviken: AB Sandvik Coromant.
- [35] Sousa, V. F. C. & Silva, F. J. G. (2020). Recent advances on coated milling tool technology-a comprehensive review, *Coatings*, 10(3).
- [36] Gabiccini, M., Bracci, A. & Battaglia, E. (2011). On the estimation of continuous mappings from cradle-style to 6-axis machines for face-milled hypoid gear generation, *Mechanism and Machine Theory*, 46(10), pp. 1492–1506.
- [37] Davim, J. P. (2008). *Princípios da Maquinagem*. Porto: Publindústria, Edições Técnicas. ISBN 9789728953249.
- [38] Haja Syeddu Masooth, P., Jayakumar, V. & Bharathiraja, G. (2019). Experimental investigation on surface roughness in CNC end milling process by uncoated and

- TiAlN coated carbide end mill under dry conditions, *Materials Today: Proceedings*.
- [39] Rocha, J. (2016). Programação de CNC para torno e fresadora. Porto: FCA - Editora de Informática Lda. ISBN 978-972-722-843-0.
- [40] Michalik, P., Zajac, J., Hatala, M., Mital, D. & Fecova, V. (2014). Monitoring surface roughness of thin-walled components from steel C45 machining down and up milling, *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 58, pp. 416–428.
- [41] Hadi, M. A., Ghani, J. A., Che Haron, C. H. & Kasim, M. S. (2013). Comparison between up-milling and down-milling operations on tool wear in milling Inconel 718, *Procedia Engineering*, 68, pp. 647–653.
- [42] Bouzakis, K. D., Makrimalakis, S., Skordaris, G., Bouzakis, E., Kombogiannis, S., Katirtzoglou, G. & Maliaris, G. (2013). Coated tools' performance in up and down milling stainless steel, explained by film mechanical and fatigue properties, *Wear*, 303(1–2), pp. 546–559.
- [43] Li, Y. W., Sun, Y. S. & Zhou, X. G. (2013). Theoretical analysis and experimental verification that influence factors of climb and conventional milling on surface roughness, *Applied Mechanics and Materials*, 459, pp. 407–412.
- [44] Zhang, X., Yu, T., Dai, Y., Qu, S. & Zhao, J. (2020). Energy consumption considering tool wear and optimization of cutting parameters in micro milling process, *International Journal of Mechanical Sciences*, 178.
- [45] Narita, H. (2013). A study of automatic determination of cutting conditions to minimize machining cost, *Procedia CIRP*, 7, pp. 217–221.
- [46] Tlhabadira, I., Daniyan, I. A., Masu, L. & Mpofu, K. (2021). Development of a model for the optimization of energy consumption during the milling operation of titanium alloy (Ti6Al4V), *Materials Today: Proceedings*, 38, pp. 614–620.
- [47] Xiao, Y., Jiang, Z., Gu, Q., Yan, W. & Wang, R. (2021). A novel approach to CNC machining center processing parameters optimization considering energy-saving and low-cost, *Journal of Manufacturing Systems*, 59, pp. 535–548.
- [48] Wright, E. T. P. (2000). Metal Cutting, *Butterworth-Heinemann*. USA: Butterworth–Heinemann. ISBN 075067069X.
- [49] Davim, J. P. (2008). Machining: Fundamentals and Recent Advances, *Springer*. UK: Springer. ISBN 9781848002128.
- [50] Silva, F. J. G. (2015). Apontamentos da disciplina de Processos Avançados de Fabrico. Porto: ISEP.
- [51] Sousa, V. F. C. & Silva, F. J. G. (2020). Recent advances in turning processes using

- coated tools—A comprehensive review, *Metals*, 10(2).
- [52] Silva, F. J. G., Martinho, R. P., Martins, C., Lopes, H. & Gouveia, R. M. (2019). Machining GX2CrNiMoN26-7-4 DSS alloy: Wear analysis of TiAlN and TiCN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiN coated carbide tools behavior in rough end milling operations, *Coatings*, 9(6), pp. 1–21.
- [53] Martinho, R. P., Silva, F. J. G., Martins, C. & Lopes, H. (2019). Comparative study of PVD and CVD cutting tools performance in milling of duplex stainless steel, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 102(5–8), pp. 2423–2439.
- [54] Martinho, R. P., Silva, F. J. G. & Baptista, A. P. M. (2008). Cutting forces and wear analysis of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> diamond coated tools in high speed machining, *Vacuum*, 82(12), pp. 1415–1420.
- [55] SANDVIK (2020). Catálogo de ferramentas sólidas rotativas. Sandviken: Sandvik Coromant.
- [56] Sandvik (2020). Catálogo: New cutting tools. Sandviken: Sandvik Coromant.
- [57] Sandvik (2019). Catálogo: Ferramentas de corte. Sandviken: Sandvik Coromant.
- [58] Thorenz, B., Oßwald, F., Schötz, S., Westermann, H. H. & Döpfer, F. (2020). Applying and Producing Indexable End Mills: A Comparative Market Study in Context of Resource Efficiency, *Procedia Manufacturing*, 43, pp. 167–174.
- [59] Sandvik Coromant (2020). Ferramentas rotativas.
- [60] Moldino (2020). High Efficiency Finishing Special Shape Tools Series - Gallea series. Moldino.
- [61] Gouveia, R., Silva, F., Reis, P. & Baptista, A. (2016). Machining Duplex Stainless Steel: Comparative Study Regarding End Mill Coated Tools, *Coatings*, 6(4), p. 51.
- [62] Huang, N., Jin, Y., Lu, Y., Yi, B., Li, X. & Wu, S. (2020). Spiral toolpath generation method for pocket machining, *Computers and Industrial Engineering*, 139, p. 106142.
- [63] Silva, J., Silva, F. J. G., Campilho, R. D. S. G., Sá, J. C. & Ferreira, L. P. (2021). A Model for Productivity Improvement on Machining of Components for Stamping Dies, *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 12(2), pp. 85–101.
- [64] Wu, L., Li, C., Tang, Y. & Yi, Q. (2017). Multi-objective Tool Sequence Optimization in 2.5D Pocket CNC Milling for Minimizing Energy Consumption and Machining Cost, *Procedia CIRP*, 61, pp. 529–534.

- [65] Cafieri, S., Monies, F., Mongeau, M. & Bes, C. (2016). Plunge milling time optimization via mixed-integer nonlinear programming, *Computers and Industrial Engineering*, 98, pp. 434–445.
- [66] Haykin, S. (2001). *Neural Networks and Learning Machines* Third Edition. USA: Prentice Hall. ISBN 9780131471399.
- [67] Hagan, M. T., Demuth, H. B., Beale, M. H. & De Jesus, O. (2014). *Neural Network Design* 2nd Edition (2014), rk. USA: Martin T. Hagan. .
- [68] *The differences between Artificial and Biological Neural Networks | by Richard Nagyfi | Towards Data Science.*
- [69] Beale, M. H., Hagan, M. T. & Demuth, H. B. (2010). *Neural Network Toolbox™ 7 User's Guide*. USA: The MathWorks, Inc. ISBN 0971732108.
- [70] Deng, S. & Yeh, T. H. (2011). Using least squares support vector machines for the airframe structures manufacturing cost estimation, *International Journal of Production Economics*, 131(2), pp. 701–708.
- [71] Loyer, J. L., Henriques, E., Fontul, M. & Wiseall, S. (2016). Comparison of Machine Learning methods applied to the estimation of manufacturing cost of jet engine components, *International Journal of Production Economics*, 178, pp. 109–119.
- [72] Lee, S., Cho, Y. & Lee, Y. H. (2020). Injection mold production sustainable scheduling using deep reinforcement learning, *Sustainability (Switzerland)*, 12(20), pp. 1–17.
- [73] Viharos, Z. J. & Mikó, B. (2009). Artificial neural network approach for injection mould cost estimation, *Proceedings of the 44th CIRP Conference on Manufacturing Systems*, pp. 1–6.
- [74] Jurkovic, Z., Cukor, G., Brezocnik, M. & Brajkovic, T. (2018). A comparison of machine learning methods for cutting parameters prediction in high speed turning process, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 29(8), pp. 1683–1693.
- [75] Tansel, I. N., Ozcelik, B., Bao, W. Y., Chen, P., Rincon, D., Yang, S. Y. & Yenilmez, A. (2006). Selection of optimal cutting conditions by using GONNS, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46(1), pp. 26–35.
- [76] Filippis, L. A. C. De, Serio, L. M., Facchini, F. & Mummolo, G. (2018). ANN Modelling to Optimize Manufacturing Process, *Advanced Applications for Artificial Neural Networks*.
- [77] Mundada, V. & Kumar Reddy Narala, S. (2018). Optimization of Milling Operations Using Artificial Neural Networks (ANN) and Simulated Annealing Algorithm (SAA), *Materials Today: Proceedings*, 5(2), pp. 4971–4985.

- [78] Chen, Y., Sun, R., Gao, Y. & Leopold, J. (2017). A nested-ANN prediction model for surface roughness considering the effects of cutting forces and tool vibrations, *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 98, pp. 25–34.
- [79] Hesser, D. F. & Markert, B. (2019). Tool wear monitoring of a retrofitted CNC milling machine using artificial neural networks, *Manufacturing Letters*, 19, pp. 1–4.
- [80] El-Mounayri, H., Briceno, J. F. & Gadallah, M. (2010). A new artificial neural network approach to modeling ball-end milling, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 47(5–8), pp. 527–534.
- [81] Al-Abdullah, K. I. A. lateef, Abdi, H., Lim, C. P. & Yassin, W. (2018). Force and temperature modelling of bone milling using artificial neural networks, *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 116, pp. 25–37.
- [82] Atia, M., Khalil, J. & Mokhtar, M. (2017). a Cost Estimation Model for Machining Operations; an Ann Parametric Approach, *Journal of Al-Azhar University Engineering Sector*, 12(44), pp. 878–885.
- [83] Ning, F., Shi, Y., Cai, M., Xu, W. & Zhang, X. (2020). Manufacturing cost estimation based on the machining process and deep-learning method, *Journal of Manufacturing Systems*, 56, pp. 11–22.
- [84] Yoo, S. & Kang, N. (2021). Explainable artificial intelligence for manufacturing cost estimation and machining feature visualization, *Expert Systems with Applications*, 183, p. 115430.
- [85] Florjanič, B. & Kuzman, K. (2012). Estimation of time for manufacturing of injection moulds using artificial neural networks-based model, *Polimeri*, 33(1), pp. 12–21.
- [86] Saric, T., Simunovic, G., Simunovic, K. & Svalina, I. (2016). Estimation of machining time for CNC manufacturing using neural computing, *International Journal of Simulation Modelling*, 15(4), pp. 663–675.
- [87] SANDVIK. (2021). *CoroPlus ToolGuide*. Obtido em 10 de Fevereiro de 2021, de Sandvik: <https://www.sandvik.coromant.com/en-us/products/pages/toolguide.aspx>
- [88] SECO. (2021). *Seco Tools Sugest*. Obtido em 10 de Fevereiro de 2021, de Seco: <https://www.secotools.com/dashboard/Suggest/Suggest>



# ANEXOS

6.1 FERRAMENTAS

6.2 MÉTODO TRADICIONAL

6.3 MÉTODO EMPÍRICO

6.4 REDES NEURONAIAS



## 6 ANEXOS

### 6.1 FERRAMENTAS

#### 6.1.1 Características Geométricas



## A – Brocas

Ref.	Elem.	Fabric.	Nome	Tipo	Referência Fabricante	PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS								
						FERRAMENTA						PASTILHA		
						$\phi_c$ (mm)	L <sub>c</sub> (mm)	L <sub>u</sub> (mm)	$\phi_E$ (mm)	AP (mm)	L <sub>T</sub> (mm)	R <sub>c</sub> (mm)	E (mm)	$\phi_i$ (mm)
1000251	ROSC	Sandvik	CoroDrill 862	1	862.1-0250-020A1-GM GC34	2,50	18,80	25,00	3,00	140,00	78,00			
1000331	ROSC	Sandvik	CoroDrill 860	1	860.1-0330-021A1-PM 4234	3,30	17,10	28,00	6,00	147,00	66,00			
1000421	ROSC	Sandvik	CoroDrill 860	1	860.1-0420-018A1-PM 4234	4,20	13,30	24,00	6,00	147,00	66,00			
1000501	ROSC	Sandvik	CoroDrill 860	1	860.1-0500-019A1-PM 4234	5,00	15,80	28,00	6,00	147,00	72,00			
1000681	ROSC	Sandvik	CoroDrill 860	1	860.1-0680-024A1-PM 4234	6,80	21,50	34,00	8,00	147,00	79,00			
1000851	ROSC	Sandvik	CoroDrill 860	1	860.1-0850-031A1-PM 4234	8,50	26,90	47,00	10,00	147,00	89,00			
1001021	ROSC	Sandvik	CoroDrill 860	1	860.1-1020-037A1-PM 4234	10,20	32,30	55,00	12,00	147,00	102,00			
1001401	ROSC	Sandvik	CoroDrill 880	2	880-D1400L20-03	14,00	42,00	45,00	20,00	88,00	108,00			
				3	880-02 02 04H-C-GR 1044							0,40	2,40	4,90
				4	880-02 02 W05H-P-GR 4334							0,50	2,40	5,10
1001751	ROSC	Sandvik	CoroDrill 880	2	880-D1750L25-03	17,50	53,00	56,00	25,00	88,00	128,00			
				3	880-03 03 05H-C-GR 1044							0,50	2,60	5,70
				4	880-03 03 W06H-P-GR 4334							0,60	2,60	6,00
1002101	ROSC	Sandvik	CoroDrill 880	2	880-D2100L25-03	21,00	63,00	66,00	25,00	88,00	140,00			
				3	880-04 03 05H-C-LM 1044							0,50	2,80	6,80
				4	880-04 03 W07H-P-GR 4334							0,70	2,80	7,40
1002651	ROSC	Sandvik	CoroDrill 880	2	880-D2650L32-03	26,50	80,00	83,00	32,00	88,00	164,00			
				3	880-05 03 05H-C-GR 1044							0,50	3,00	8,40
				4	880-05 03 W08H-P-GR 4334							0,80	3,00	8,90

1000601	FOLG	Sandvik	CoroDrill 860	1	860.1-0600-047A1-PM 4234	6,00	48,90	58,00	6,00	147,00	97,00			
1000701	FOLG	Sandvik	CoroDrill 860	1	860.1-0700-055A1-PM 4234	7,00	57,10	68,00	8,00	147,00	106,00			
1000901	FOLG	Sandvik	CoroDrill 860	1	860.1-0900-080A1-PM 4234	9,00	73,50	95,00	10,00	147,00	139,00			
1001001	FOLG	Sandvik	CoroDrill 860	1	860.1-1000-045A1-PM 4234	10,00	48,00	61,00	10,00	147,00	103,00			
1001002	FOLG	Sandvik	CoroDrill 870	2	870-1000-6L16-8	10,00	85,54	99,40	16,00		149,00			
				5	870-1000-6-PM 4334	10,00				142,00				
1001003	FOLG	Sandvik	CoroDrill 870	2	870-1000-6LX063-10	10,00	106,52	120,40	15,88		170,00			
				5	870-1000-6-PM 4334	10,00				142,00				
1001101	FOLG	Sandvik	CoroDrill 870	2	870-1100-8LX063-5	11,00	59,21	72,25	15,88		122,00			
				5	870-1100-8-PM 4334	11,00				142,00				
1001102	FOLG	Sandvik	CoroDrill 870	2	870-1100-8LX063-8	11,00	93,68	107,25	15,88		157,00			
				5	870-1100-8-PM 4334	11,00				142,00				
1001103	FOLG	Sandvik	CoroDrill 870	2	870-1100-8LX063-10	11,00	116,66	130,25	15,88		180,00			
				5	870-1100-8-PM 4334	11,00				142,00				
1001151	FOLG	Sandvik	CoroDrill 870	2	870-1150-9L16-5	11,50	61,80	75,17	16,00		125,00			
				5	870-1150-9-PM 4334	11,50				142,00				
1001152	FOLG	Sandvik	CoroDrill 870	2	870-1150-9LX063-8	11,50	97,77	111,17	15,88		161,00			
				5	870-1150-9-PM 4334	11,50				142,00				
1001351	FOLG	Sandvik	CoroDrill 870	2	870-1350-13L16-5	13,50	72,11	74,00	16,00		135,00			
				5	870-1350-13-PM 4334	13,50				142,00				
1001352	FOLG	Sandvik	CoroDrill 870	2	870-1350-13LX063-8	13,50	114,08	117,00	15,88		178,00			
				5	870-1350-13-PM 4334	13,50				142,00				
1001353	FOLG	Sandvik	CoroDrill 870	2	870-1350-13L16-10	13,50	142,06	145,00	16,00		206,00			
				5	870-1350-13-PM 4334	13,50				142,00				
1001401	FOLG	Sandvik	CoroDrill 870	2	870-1400-14LX075-5	14,00	77,25	80,00	19,05		146,00			
				5	870-1400-14-PM 4334	14,00				142,00				
1001402	FOLG	Sandvik	CoroDrill 870	2	870-1400-14L20-8	14,00	122,22	125,00	20,00		191,00			
				5	870-1400-14-PM 4334	14,00				142,00				

1001403	FOLG	Sandvik	CoroDrill 870	2	870-1400-14LX075-10	14,00	152,20	155,00	19,05		221,00			
				5	870-1400-14-PM 4334	14,00				142,00				
1001551	FOLG	Sandvik	CoroDrill 870	2	870-1500-15L20-5	15,00	82,40	85,00	20,00		151,00			
				5	870-1550-15-PM 4334	15,50				142,00				
1001552	FOLG	Sandvik	CoroDrill 870	2	870-1500-15LX075-8	15,00	130,37	133,00	19,05		199,00			
				5	870-1550-15-PM 4334	15,50				142,00				
1001553	FOLG	Sandvik	CoroDrill 870	2	870-1500-15L20-10	15,00	162,35	165,00	20,00		231,00			
				5	870-1550-15-PM 4334	15,50				142,00				
1001601	FOLG	Sandvik	CoroDrill 870	2	870-1600-16LX075-3	16,00	53,56	56,00	19,05		122,00			
				5	870-1600-16-PM 4334	16,00				142,00				
1001602	FOLG	Sandvik	CoroDrill 870	2	870-1600-16LX075-5	16,00	87,54	90,00	19,05		156,00			
				5	870-1600-16-PM 4334	16,00				142,00				
1001603	FOLG	Sandvik	CoroDrill 870	2	870-1600-16LX075-8	16,00	138,51	141,00	19,05		207,00			
				5	870-1600-16-PM 4334	16,00				142,00				
1001751	FOLG	Sandvik	CoroDrill 880	2	880-D1750L25-03	17,50	53,00	56,00	25,00		128,00			
				3	880-03 03 W06H-P-GR 4334							0,60	2,60	6,00
				4	880-03 03 05H-C-GR 1044							0,50	2,60	5,70
1001752	FOLG	Sandvik	CoroDrill 870	2	870-1700-17LX075-5	17,00	92,69	95,00	19,05		162,00			
				5	870-1750-17-PM 4334	17,50				142,00				
1001753	FOLG	Sandvik	CoroDrill 870	2	870-1700-17LX075-8	17,00	146,66	149,00	19,05		216,00			
				5	870-1750-17-PM 4334	17,50				142,00				
1002001	FOLG	Sandvik	CoroDrill 880	2	880-D2000L25-03	20,00	60,00	64,00	25,00		137,00			
				3	880-04 03 W07H-P-GR 4334							0,70	2,80	7,40
				4	880-04 03 05H-C-GR 1044							0,50	2,80	6,80
1002002	FOLG	Sandvik	CoroDrill 870	2	870-2000-20L25-5	20,00	108,14	111,00	25,00		188,00			
				5	870-2000-20-PM 4334	20,00				142,00				
1002003	FOLG	Sandvik	CoroDrill 870	2	870-2000-20L25-8	20,00	171,11	174,00	25,00		251,00			
				5	870-2000-20-PM 4334	20,00				142,00				

1002201	FOLG	Sandvik	CoroDrill 880	2	880-D2200L25-03	22,00	66,00	69,00	25,00		143,00				
				3	880-04 03 W07H-P-GR 4334								0,70	2,80	7,40
				4	880-04 03 05H-C-LM 1044								0,50	2,80	6,80
1002202	FOLG	Sandvik	CoroDrill 870	2	870-2200-22L25-5	22,00	118,43	122,00	25,00		199,00				
				5	870-2200-22-PM 4334	22,00				142,00					
1002203	FOLG	Sandvik	CoroDrill 870	2	870-2200-22L25-8	22,00	187,40	191,00	25,00		268,00				
				5	870-2200-22-PM 4334	22,00				142,00					
1002251	FOLG	Sandvik	CoroDrill 880	2	880-D2250L25-03	22,50	68,00	71,00	25,00		146,00				
				3	880-04 03 W07H-P-GR 4334							0,70	2,80	7,40	
				4	880-04 03 05H-C-LM 1044							0,50	2,80	6,80	
1002252	FOLG	Sandvik	CoroDrill 870	2	870-2200-22L25-5	22,00	118,43	122,00	25,00		199,00				
				5	870-2250-22-PM 4334	22,00				142,00					
1002253	FOLG	Sandvik	CoroDrill 870	2	870-2200-22LX1-8	22,00	187,00	191,00	25,40		268,00				
				5	870-2250-22-PM 4334	22,00				142,00					
1002701	FOLG	Sandvik	CoroDrill 880	2	880-D2700L32-02	27,00	54,00	58,00	32,00		139,00				
				3	880-05 03 W08H-P-GR 4334							0,80	3,00	8,90	
				4	880-05 03 05H-C-LM 1044							0,50	3,00	8,40	
1002702	FOLG	Sandvik	CoroDrill 880	2	880-D2700L32-04	27,00	108,00	111,00	32,00		192,00				
				3	880-05 03 W08H-P-GR 4334							0,80	3,00	8,90	
				4	880-05 03 05H-C-GR 1044							0,50	3,00	8,40	
1002703	FOLG	Sandvik	CoroDrill 870	2	870-2700-27LX125-5	27,00	144,19	148,00	31,72		235,00				
				5	870-2700-27-PM 4334	27,00				142,00					
1000981	CAVI	Sandvik	CoroDrill 860	1	860.1-0980-045A1-PM 4234	9,80	48,30	61,00	10,00	147,00	103,00				
1001181	CAVI	Sandvik	CoroDrill 860	1	860.1-1180-037A1-PM 4234	11,80	37,30	55,00	12,00	147,00	102,00				
1001581	CAVI	Sandvik	CoroDrill 870	2	870-1500-15L20-3	15,00	50,42	53,00	20,00		119,00				
				5	870-1580-15-PM 4334	15,80				142,00					

1001981	CAVI	Sandvik	CoroDrill 870	2	870-1900-19L25-3	19,00	63,01	66,00	25,00		142,00			
				5	870-1980-19-PM 4334	19,80					142,00			
1003801	GUIA	Sandvik	CoroDrill 880	2	880-D3800L40-02	38,00	76,00	80,00	40,00		178,00			
				3	880-07 04 W12H-P-GR 4334							1,20	4,00	12,65
				4	880-07 04 06H-C-GR 1044							0,60	4,00	12,35
1003802	GUIA	Sandvik	CoroDrill 880	2	880-D3800L40-03	38,00	114,00	118,00	40,00		216,00			
				3	880-07 04 W12H-P-GR 4334							1,20	4,00	12,65
				4	880-07 04 06H-C-LM 1044							0,60	4,00	12,35
1003803	GUIA	Sandvik	CoroDrill 880	2	880-D3800L40-04	38,00	152,00	156,00	40,00		254,00			
				3	880-07 04 W12H-P-GR 4334							1,20	4,00	12,65
				4	880-07 04 06H-C-GR 1044							0,60	4,00	12,35
1004501	GUIA	Sandvik	CoroDrill 880	2	880-D4500L40-02	45,00	90,00	95,00	40,00		197,00			
				3	880-08 05 W12H-P-GR 4334							1,20	4,50	15,45
				4	880-08 05 08H-C-LM 1044							0,80	4,50	14,85
1004502	GUIA	Sandvik	CoroDrill 880	2	880-D4500L50-04	45,00	180,00	185,00	50,00		297,00			
				3	880-08 05 W12H-P-GR 4334							1,20	4,50	15,45
				4	880-08 05 08H-C-LM 1044							0,80	4,50	14,85

**B – Escareadores**

Ref.	Fabric.	Tipo	Aplicação	Referência Fabricante	Ø <sub>E</sub> (mm)	L <sub>T</sub> (mm)	L <sub>U</sub> (mm)	AAC (°)	Ø <sub>c</sub> (mm)	Ø <sub>CMáx</sub> (mm)	Ap <sub>Máx</sub> (mm)	z	Ø <sub>circ</sub> (mm)	E (mm)	Achanfro (°)
1101001	SECO	6	< Ø17 mm	MP10-16068-000.60	16,00	68,00	20,00								
		5		MP10-10006C90Z6-M03 F40M	9,60	14,50		45,00	1,95	10,10	4,00	6,00			
1101601	SECO	2	≥ Ø17 mm	R215.49-1609.3-06	16,00	80,00	32,00	45,00	9,00	16,00	4,00	2,00			
		5		SPMX0602AP-75 F40M										6,35	2,38

**C – Machos de Corte (Rosca métrica)**

Ref.	Fabric.	Nome	Tipo	Referência Fabricante	Rosca	P (mm)	L <sub>T</sub> (mm)	L <sub>c</sub> (mm)	L <sub>U</sub> (mm)	Ø <sub>E</sub> (mm)
1200301	Sandvik	CoroTap300	1	T300-PM100JA-M3 P1PM	M3	0,50	46,00	6,00	18,00	4,00
1200401	Sandvik	CoroTap300	1	T300-PM104DA-M4 P1PM	M4	0,70	63,00	7,00	21,00	4,50
1200501	Sandvik	CoroTap300	1	T300-PM104DA-M5 P1PM	M5	0,80	70,00	8,00	25,00	6,00
1200601	Sandvik	CoroTap300	1	T300-PM104DA-M6 P1PM	M6	1,00	80,00	10,00	31,00	6,00
1200801	Sandvik	CoroTap300	1	T300-PM104DA-M8 P1PM	M8	1,25	90,00	12,00	35,00	8,00
1201001	Sandvik	CoroTap300	1	T300-PM104DA-M10 P1PM	M10	1,50	100,00	15,00	39,00	10,00
1201201	Sandvik	CoroTap300	1	T300-PM105DA-M12 P1PM	M12	1,75	110,00	16,00	55,00	9,00
1201601	Sandvik	CoroTap300	1	T300-PM105DA-M16 P1PM	M16	2,00	110,00	20,00	60,00	12,00
1202001	Sandvik	CoroTap300	1	T300-PM105DA-M20 P1PM	M20	2,50	140,00	25,00	72,00	16,00
1202401	Sandvik	CoroTap300	1	T300-PM105DA-M24 P1PM	M24	3,00	160,00	30,00	91,00	18,00
1203001	Sandvik	CoroTap300	1	T300-PM105DA-M30 P1PM	M30	3,50	180,00	36,00	108,00	22,00

**D – Counter-boring**

Ref.	Elem.	Fabric.	Nome	Tipo	Referência	Ø <sub>C</sub> (mm)	z	L <sub>C</sub> (mm)	L <sub>U</sub> (mm)	Ø <sub>E</sub> (mm)	L <sub>E</sub> (mm)	L <sub>T</sub> (mm)	L (mm)	E (mm)	R <sub>C</sub> (mm)
1301001	ALOJ	Tungaloy	TCB	1	TCB100F16	10,00	1,00	13,00	17,00	16,00	60,00	86,00			
				5	SPMP771 - CG							5,40	1,61	0,40	
1301101	ALOJ	Tungaloy	TCB	1	TCB110F16	11,00	1,00	14,00	18,70	16,00	60,00	87,00			
				5	SPMP771 - CG							5,40	1,61	0,40	
1301401	ALOJ	Tungaloy	TCB	1	TCB140F25	14,00	2,00	18,00	24,00	25,00	80,00	113,00			
				5	SPMP771 - CG							5,40	1,61	0,40	
1301701	ALOJ	Tungaloy	TCB	1	TCB170F25	17,00	2,00	13,00	21,00	25,00	80,00	114,00			
				5	SPMP831-CG							6,35	2,38	0,40	
1302101	ALOJ	Tungaloy	TCB	1	TCB210F25	21,00	2,00	17,00	26,00	25,00	80,00	122,00			
				5	SPMP042ER-CG							7,94	3,18	0,80	
1302301	ALOJ	Tungaloy	TCB	1	TCB230F25	23,00	2,00	19,00	29,00	25,00	80,00	126,00			
				5	SPMP042ER-CG							7,94	3,18	0,80	
1302601	ALOJ	Tungaloy	TCB	1	TCB-260	26,00	2,00	21,00	33,00	32,00	80,00	132,00			
				5	SPMP042ER-CG							7,94	3,18	0,80	
1303201	ALOJ	Tungaloy	TCB	1	TCB-320	32,00	2,00	40,00	...	32,00	80,00	144,00			
				5	SPMM322ERD							9,53	3,18	0,80	
1303701	ALOJ	Tungaloy	TCB	1	TCB350-390F32	37,00	2,00	50,00	70,00	32,00	59,00	140,00			
				5	SPMM322ERD							9,53	3,18	0,80	

**E – Mandris**

Ref.	Fabric.	Nome	Tipo	Elem.	Referência	Ø <sub>C</sub> (mm)	Ø <sub>CMin</sub> (mm)	Ø <sub>CMax</sub> (mm)	L <sub>C</sub> (mm)	L <sub>U</sub> (mm)	Ø <sub>E</sub> (mm)	L <sub>T</sub> (mm)
1401001	Sandvik	CoroReamer 835	1	CAVI	835.B-1000-A1-PF 1024	10,00			20,00	80,00	10,00	120,00
1401201	Sandvik	CoroReamer 835	1	CAVI	835.B-1200-A1-PF 1024	12,00			20,00	75,00	12,00	120,00
1401601	Sandvik	CoroReamer 835	1	CAVI	835.B-1600-A1-PF 1024	16,00			25,00	102,00	16,00	150,00
1402001	Sandvik	CoroReamer 835	1	CAVI	835.B-2000-A1-PF 1024	20,00			25,00	100,00	20,00	150,00
1403001	Pinzbohr	Finish Heads 90º approach	6	GUIA	A 02790 310		29,00	40,00			27,00	42,00
	Pinzbohr		5		TP 0902							
1404001	Pinzbohr	Finish Heads 90º approach	6	GUIA	A 03290 300		39,00	50,00			32,00	45,00
	Pinzbohr		5		TC 16T3							
1405001	Pinzbohr	Finish Heads 90º approach	6	GUIA	A 04290 300		49,00	65,00			42,00	56,00
	Pinzbohr		5		TC 16T3							

## F – Fresas Desbaste

Ref.	Fabric.	Nome	Tipo	Elem.	Referência Fabricante	Ø <sub>c</sub> (mm)	L <sub>c</sub> (mm)	z	L <sub>u</sub> (mm)	Ø <sub>E</sub> (mm)	L <sub>T</sub> (mm)	E (mm)	R <sub>c</sub> (mm)	Comp. (mm)	Larg. (mm)
1501001	Sandvik	CoroMill	1	RECT	2N342-1000-PC 1730	10,00	22,00	5,00	30,00	10,00	72,00				
1500801	Sandvik	CoroMill	1	RECT	2P342-0800-PA 1730	8,00	18,00	4,00	18,00	8,00	63,00				
1501201	Sandvik	CoroMill	1	RECT	2N342-1200-PC 1730	12,00	26,00	5,00	36,00	12,00	83,00				
1501601	Sandvik	CoroMill	1	RECT	2N342-1600-PC 1730	16,00	34,00	5,00	42,00	16,00	92,00				
1502501	SECO	B17 - TURBO	2	GUIA	R217.69-2225.0-10-3A	25,00	9,00	2,00	150,00		200,00				
		A17 - TURBO	5		XOMX10T308TR-M09MP2501						3,83	0,80	9,30	6,90	
1503201	SECO	B17 - TURBO	2	GUIA	R217.69-3032.0-18-2AN	32,00	10,00	2,00	150,00	30,00	210,00				
		A17 - TURBO	5		XOMX180612TR-M14 MP2501						6,40	1,20	17,00	11,20	
1504001	SECO	B17 - TURBO	2	GUIA	R217.69-3240.0-18-4AN	40,00	17,00	4,00	150,00	32,00	210,00				
		A17 - TURBO	5		XOMX180612TR-M14 MP2501						6,40	1,20	17,00	11,20	
1503202	Sandvik	CoroMIII 390	2	CIRC	RA390-032EH25-17M	32,00	15,70	3,00	40,00	24,50	40,00				
	Sandvik	CoroMIII 390	5	CIRC	R390-17 04 16M-PH 4330							4,76	1,60	15,70	9,60
1504002	Sandvik	CoroMIII 390	2	CIRC	R390-040B32-17H	40,00	15,70	4,00		32,00	110,00				
	Sandvik	CoroMIII 390	5	CIRC	R390-17 04 16M-PH 4330							4,76	1,60	15,70	9,60

## G – Fresas de Acabamento

Ref.	Fabric.	Nome	Tipo	Elem.	Referência	$\varnothing_c$ (mm)	$L_c$ (mm)	$z$	$L_u$ (mm)	$\varnothing_E$ (mm)	$L_T$ (mm)	$E$ (mm)	$R_c$ (mm)	Comp. (mm)	Larg. (mm)
1603801	Sandvik	CoroMill 390	2	CIRC	RA390-038M32-17L	38,00	15,70	1,00		31,75	114,33				
	Sandvik	CoroMill 390	5	CIRC	R390-17 04 16M-PH 4330							4,76	1,60	15,70	9,60
1602001	SECO	JABRO HPM	1	CIRP	JHP951200E2R050.3Z5-SIRA	20,00	42,00	5,00	48,00	20,00	100,00				
1601601	SECO	JABRO-SOLID2	1	CIRP	522160R050Z2.0-MEGA-64	16,00	80,00	2,00		16,00	150,00				
1602002	SECO	JABRO-SOLID2	1	CIRP	522200R050Z2.0-MEGA-64	20,00	100,00	2,00		20,00	175,00				
1603201	SECO	JABRO-SOLID2	1	CIRP	522320R050Z2.0-MEGA-64	32,00	160,00	2,00		32,00	245,00				

### Legenda:

1 - Inteiriça;	$\varnothing_c$ -	Diâmetro de corte;	$L_T$ -	Comprimento total;
2 - Indexável;	$L_c$ -	Comprimento de corte;	$R_c$ -	Raio de canto da pastilha;
3 - Pastilha Central;	$L_u$ -	Comprimento útil;	$E$ -	Espessura da pastilha;
4 - Pastilha Periférica;	$\varnothing_E$ -	Diâmetro do encabadouro;	$\varnothing_i$ -	Diâmetro interno da pastilha
5 - Pastilha;	$AP$ -	Ângulo de Ponta;	$A_{chanfro}$ -	Ângulo chanfro;
6 - Suporte;	$z$ -	Número de arestas de corte;	$\varnothing_{circ}$ -	Diâmetro círculo inscrito (pastilha);
	$AAC$ -	Ângulo da aresta de corte,	$P$ -	Passo;
	$\varnothing_{CMax}$ -	Diâmetro de corte máximo;	$\varnothing_{CMin}$ -	Diâmetro de corte mínimo.
	$Ap_{Max}$ -	Profundidade de corte máxima;		

## 6.1.2 Parâmetros de Corte

## A – Brocas

Ref.	Material	VC (m/min)	FN (mm)	N (1/min)	VF (mm/min)	Refrigeração	Emulsão (%)
1000251	1.1730	66,50	0,0880	8470,00	745,00	Interna	10,00
	1.2311	61,00	0,0703	7770,00	546,00		
1000331	1.1730	196,00	0,1290	19000,00	2440,00	Interna	10,00
	1.2311	193,00	0,1320	18600,00	2460,00		
1000421	1.1730	196,00	0,1680	14800,00	2490,00	Interna	10,00
	1.2311	192,00	0,1730	14500,00	2520,00		
1000501	1.1730	196,00	0,1980	12400,00	2460,00	Interna	10,00
	1.2311	192,00	0,2040	12200,00	2490,00		
1000681	1.1730	193,00	0,2270	9020,00	2050,00	Interna	10,00
	1.2311	189,00	0,2240	8840,00	1980,00		
1000851	1.1730	189,00	0,2670	7070,00	1890,00	Interna	10,00
	1.2311	185,00	0,2750	6930,00	1910,00		
1001021	1.1730	189,00	0,2970	5890,00	1750,00	Interna	10,00
	1.2311	185,00	0,3060	5780,00	1770,00		
1001401	1.1730	199,00	0,1390	4520,00	630,00	Interna	10,00
	1.2311	203,00	0,1410	4610,00	649,00		
1001751	1.1730	199,00	0,1590	3610,00	576,00	Interna	10,00
	1.2311	203,00	0,1610	3680,00	593,00		
1002101	1.1730	199,00	0,1790	3010,00	540,00	Interna	10,00
	1.2311	203,00	0,1810	3070,00	556,00		
1002651	1.1730	199,00	0,2090	2390,00	499,00	Interna	10,00
	1.2311	203,00	0,2110	2430,00	514,00		
1000601	1.1730	193,00	0,2270	10200,00	2330,00	Interna	10,00
	1.2311	189,00	0,2240	10000,00	2250,00		
1000701	1.1730	193,00	0,2270	8760,00	1990,00	Interna	10,00
	1.2311	189,00	0,2240	8590,00	1930,00		
1000901	1.1730	189,00	0,2670	6680,00	1780,00	Interna	10,00
	1.2311	185,00	0,2750	6550,00	1800,00		
1001001	1.1730	189,00	0,2970	6010,00	1780,00	Interna	10,00
	1.2311	185,00	0,3060	5890,00	1800,00		
1001002	1.1730	117,00	0,1900	3740,00	710,00	Interna	10,00
	1.2311	114,00	0,2050	3640,00	745,00		
1001003	1.1730	117,00	0,1900	3740,00	710,00	Interna	10,00
	1.2311	114,00	0,2050	3640,00	745,00		
1001101	1.1730	117,00	0,1900	3400,00	645,00	Interna	10,00
	1.2311	114,00	0,2050	3310,00	677,00		
1001102	1.1730	117,00	0,1900	3400,00	645,00	Interna	10,00
	1.2311	114,00	0,2050	3310,00	677,00		

1001103	1.1730	117,00	0,1900	3400,00	645,00	Interna	10,00
	1.2311	114,00	0,2050	3310,00	677,00		
1001151	1.1730	117,00	0,1900	3250,00	617,00	Interna	10,00
	1.2311	114,00	0,2050	3160,00	648,00		
1001152	1.1730	117,00	0,1900	3250,00	617,00	Interna	10,00
	1.2311	114,00	0,2050	3160,00	648,00		
1001351	1.1730	117,00	0,2320	2770,00	642,00	Interna	10,00
	1.2311	114,00	0,2480	2690,00	669,00		
1001352	1.1730	117,00	0,2320	2770,00	642,00	Interna	10,00
	1.2311	114,00	0,2480	2690,00	669,00		
1001353	1.1730	117,00	0,2320	2770,00	642,00	Interna	10,00
	1.2311	114,00	0,2480	2690,00	669,00		
1001401	1.1730	117,00	0,2700	2670,00	719,00	Interna	10,00
	1.2311	114,00	0,2960	2600,00	769,00		
1001402	1.1730	117,00	0,2700	2670,00	719,00	Interna	10,00
	1.2311	114,00	0,2960	2600,00	769,00		
1001403	1.1730	117,00	0,2700	2670,00	719,00	Interna	10,00
	1.2311	114,00	0,2960	2600,00	769,00		
1001551	1.1730	117,00	0,2700	2410,00	650,00	Interna	10,00
	1.2311	114,00	0,2960	2350,00	695,00		
1001552	1.1730	117,00	0,2700	2410,00	650,00	Interna	10,00
	1.2311	114,00	0,2960	2350,00	695,00		
1001553	1.1730	117,00	0,2700	2410,00	650,00	Interna	10,00
	1.2311	114,00	0,2960	2350,00	695,00		
1001601	1.1730	117,00	0,3090	2340,00	722,00	Interna	10,00
	1.2311	114,00	0,3320	2270,00	755,00		
1001602	1.1730	117,00	0,3090	2340,00	722,00	Interna	10,00
	1.2311	114,00	0,3320	2270,00	755,00		
1001603	1.1730	117,00	0,3090	2340,00	722,00	Interna	10,00
	1.2311	114,00	0,3320	2270,00	755,00		
1001751	1.1730	199,00	0,1590	3610,00	576,00	Interna	10,00
	1.2311	203,00	0,1610	3680,00	593,00		
1001752	1.1730	117,00	0,3090	2140,00	660,00	Interna	10,00
	1.2311	114,00	0,3320	2080,00	691,00		
1001753	1.1730	117,00	0,3090	2140,00	660,00	Interna	10,00
	1.2311	114,00	0,3320	2080,00	691,00		
1002001	1.1730	199,00	0,1790	3160,00	567,00	Interna	10,00
	1.2311	203,00	0,1810	3220,00	584,00		
1002002	1.1730	117,00	0,3090	1870,00	578,00	Interna	10,00
	1.2311	114,00	0,3320	1820,00	604,00		
1002003	1.1730	117,00	0,3090	1870,00	578,00	Interna	10,00
	1.2311	114,00	0,3320	1820,00	604,00		
1002201	1.1730	199,00	0,1790	2870,00	515,00	Interna	10,00
	1.2311	203,00	0,1810	2930,00	531,00		
1002202	1.1730	117,00	0,3090	1700,00	525,00	Interna	10,00
	1.2311	114,00	0,3410	1650,00	565,00		

1002203	1.1730	117,00	0,3090	1700,00	525,00	Interna	10,00
	1.2311	114,00	0,3410	1650,00	565,00		
1002251	1.1730	199,00	0,1790	2810,00	504,00	Interna	10,00
	1.2311	203,00	0,1810	2870,00	519,00		
1002252	1.1730	117,00	0,3090	1660,00	513,00	Interna	10,00
	1.2311	114,00	0,3410	1620,00	552,00		
1002253	1.1730	117,00	0,3090	1660,00	513,00	Interna	10,00
	1.2311	114,00	0,3410	1620,00	552,00		
1002701	1.1730	199,00	0,2090	2340,00	490,00	Interna	10,00
	1.2311	203,00	0,2110	2390,00	505,00		
1002702	1.1730	199,00	0,1460	2340,00	343,00	Interna	10,00
	1.2311	203,00	0,1480	2390,00	353,00		
1002703	1.1730	117,00	0,3090	1380,00	428,00	Interna	10,00
	1.2311	114,00	0,3510	1350,00	472,00		
1000981	1.1730	189,00	0,2670	6130,00	1640,00	Interna	10,00
	1.2311	185,00	0,2750	6010,00	1650,00		
1001181	1.1730	186,00	0,2970	5020,00	1490,00	Interna	10,00
	1.2311	146,00	0,3060	3930,00	1200,00		
1001581	1.1730	117,00	0,2700	2370,00	637,00	Interna	10,00
	1.2311	114,00	0,2960	2300,00	682,00		
1001981	1.1730	117,00	0,3090	1890,00	583,00	Interna	10,00
	1.2311	114,00	0,3320	1840,00	610,00		
1003801	1.1730	199,00	0,2390	1660,00	398,00	Interna	10,00
	1.2311	203,00	0,2420	1700,00	410,00		
1003802	1.1730	199,00	0,2390	1660,00	398,00	Interna	10,00
	1.2311	203,00	0,2420	1700,00	410,00		
1003803	1.1730	199,00	0,1670	1660,00	278,00	Interna	10,00
	1.2311	203,00	0,1690	1700,00	287,00		
1004501	1.1730	199,00	0,2390	1400,00	336,00	Interna	10,00
	1.2311	203,00	0,2200	1430,00	346,00		
1004502	1.1730	199,00	0,1670	1400,00	235,00	Interna	10,00
	1.2311	176,00	0,1690	1240,00	210,00		

## B – Escareadores

Código	Material	Estratégia	VC (m/min)	FZ (mm)	VF (mm/min)	N (1/min)
1101001	1.1730	Chanfro fresado	320,00	0,075	6596,00	14656,00
	1.2311	Chanfro fresado	195,00	0,07	3751,00	8931,00
1101601	1.1730	Chanfro fresado	335,00	0,18	1280,00	7109,00
	1.2311	Chanfro fresado	200,00	0,18	764,00	4244,00

**C – Machos**

Ref.	Material	VC (m/min)	FN (mm)	N (1/min)	Refrigeração	Emulsão (%)
1200301	1.1730	44,00	0,50	4670,00	Interna	10,00
	1.2311	33,20	0,50	3530,00		
1200401	1.1730	44,00	0,70	3500,00	Interna	10,00
	1.2311	33,20	0,70	2650,00		
1200501	1.1730	44,00	0,80	2800,00	Interna	10,00
	1.2311	33,20	0,80	2120,00		
1200601	1.1730	44,00	1,00	2340,00	Interna	10,00
	1.2311	33,20	1,00	1760,00		
1200801	1.1730	44,00	1,25	1750,00	Interna	10,00
	1.2311	33,20	1,25	1320,00		
1201001	1.1730	44,00	1,50	1400,00	Interna	10,00
	1.2311	33,20	1,50	1060,00		
1201201	1.1730	44,00	1,75	1170,00	Interna	10,00
	1.2311	33,20	1,75	882,00		
1201601	1.1730	34,30	2,00	682,00	Interna	10,00
	1.2311	25,90	2,00	515,00		
1202001	1.1730	35,00	2,50	557,00	Interna	10,00
	1.2311	26,40	2,50	420,00		
1202401	1.1730	32,20	3,00	427,00	Interna	10,00
	1.2311	24,30	3,00	323,00		
1203001	1.1730	29,10	3,50	309,00	Interna	10,00
	1.2311	22,00	3,50	234,00		

**D – Counter-boring**

Ref.	Material	Diâmetro (mm)	VC (m/min)	FN (mm)	N (1/min)	VF (mm/min)
1301001	1.1730	10,00	100,00	0,08	3183,10	254,65
	1.2311	10,00	100,00	0,06	3183,10	190,99
1301101	1.1730	11,00	100,00	0,08	2893,73	231,50
	1.2311	11,00	100,00	0,06	2893,73	173,62
1301401	1.1730	14,00	120,00	0,30	2728,37	818,51
	1.2311	14,00	120,00	0,29	2728,37	791,23
1301701	1.1730	17,00	130,00	0,28	2434,13	681,56
	1.2311	17,00	130,00	0,27	2434,13	657,22
1302101	1.1730	21,00	140,00	0,26	2122,07	551,74
	1.2311	21,00	140,00	0,25	2122,07	530,52
1302301	1.1730	23,00	150,00	0,26	2075,93	539,74
	1.2311	23,00	150,00	0,25	2075,93	518,98
1302601	1.1730	26,00	160,00	0,24	1958,83	470,12
	1.2311	26,00	160,00	0,23	1958,83	450,53

1303201	1.1730	32,00	160,00	0,26	1591,55	413,80
	1.2311	32,00	160,00	0,23	1591,55	366,06
1303701	1.1730	37,00	160,00	0,20	1376,48	275,30
	1.2311	37,00	160,00	0,15	1376,48	206,47

### E – Mandris

Ref.	Material	VC (m/min)	FN (mm)	N (1/min)	VF (mm/min)	Ap (mm)	Refrigeração	Emulsão (%)
1401001	1.1730	176,00	0,79	5610,00	4440,00		Interna	5
	1.2311	187,00	0,82	5950,00	4850,00			
1401201	1.1730	176,00	1,09	4670,00	5080,00		Interna	5
	1.2311	187,00	1,12	4960,00	5560,00			
1401601	1.1730	176,00	1,48	3500,00	5200,00		Interna	5
	1.2311	187,00	1,53	3720,00	5690,00			
1402001	1.1730	176,00	1,48	2800,00	4160,00		Interna	5
	1.2311	187,00	1,53	2980,00	4550,00			
1403001	1.1730	120,00	0,05			0,05		
	1.2311	125,00	0,07			0,05		
1404001	1.1730	130,00	0,09			0,05		
	1.2311	135,00	0,11			0,05		
1405001	1.1730	140,00	0,11			0,05		
	1.2311	145,00	0,13			0,05		

### G – Fresas Acabamento

Ref.	Material	Estratégia	VC (m/min)	FZ (mm)	N (1/min)	VF (mm/min)	Ap (mm)	Ae (mm)	Rampa
1603801	1.1730	AC	396,00	0,60	3550,00	4260,00	0,15	8,44	1,50
	1.1730	AP	422,00	0,60	3520,00	4230,00	14,00	0,15	
	1.2311	AC	278,00	0,60	2490,00	2990,00	0,15	8,44	1,50
	1.2311	AP	296,00	0,60	2470,00	2970,00	14,00	0,15	
1602001	1.1730	AP	360,00	0,40	5730,00	11459,00	23,00	0,15	
	1.2311	AP	220,00	0,40	3501,00	7003,00	23,00	0,15	
1601601	1.1730	AP	200,00	0,16	3979,00	1273,00	33,00	0,15	
	1.2311	AP	125,00	0,16	2487,00	796,00	33,00	0,15	
1602002	1.1730	AP	205,00	0,20	3263,00	1305,00	43,00	0,15	
	1.2311	AP	125,00	0,15	1989,00	796,00	43,00	0,15	
1603201	1.1730	AP	210,00	0,32	2089,00	1337,00	68,00	0,15	
	1.2311	AP	125,00	0,32	1243,00	796,00	68,00	0,15	

## F – Fresas Desbaste

Ref.	Material	Estratégia	VC (m/min)	FZ (mm)	N (1/min)	VF (mm/min)	Ap	Ae	Rampa	Refrig.
1501001	1.1730	Helical Milling (Entrada)	211,00	0,06	6730,00	993,00	2,50	10,00	4,55	Externo; Ar Comprimido
		Desbaste	197,00	0,06	6280,00	0,00	10,00	10,00	...	
	1.2311	Helical Milling (Entrada)	163,00	0,06	5200,00	767,00	2,50	10,00	4,55	
		Desbaste	152,00	0,06	4850,00	0,00	10,00	10,00	...	
1500801	1.1730	Helical Milling (Entrada Acab)	237,00	0,03	9450,00	514,00	0,15	8,00	0,34	Externo; Ar Comprimido
		Redução Cantos	199,00	0,05	7930,00	0,00	5,00	8,00	...	
		Acabamento Chão	237,00	0,03	9450,00	0,00	0,15	8,00	...	
		Acabamento Paredes	452,00	0,03	18000,00	0,00	10,00	0,15	...	
	1.2311	Helical Milling (Entrada Acab)	183,00	0,03	7300,00	397,00	0,15	8,00	0,34	
		Redução Cantos	149,00	0,05	5920,00	0,00	10,00	8,00	...	
		Acabamento Chão	183,00	0,03	7300,00	0,00	0,15	8,00	...	
		Acabamento Paredes	394,00	0,03	15700,00	0,00	10,00	0,15	...	
1501201	1.1730	Helical Milling (Entrada)	212,00	0,07	5630,00	975,00	3,00	12,00	4,55	Externo; Ar Comprimido
		Desbaste	196,00	0,07	5200,00	0,00	15,00	12,00	...	
		Helical Milling (Entrada Acab)	247,00	0,07	6540,00	1130,00	0,15	12,00	0,23	
		Acabamento Chão	247,00	0,07	6540,00	0,00	0,15	12,00	...	
		Acabamento Paredes	563,00	0,20	14900,00	0,00	15,00	0,15	...	
	1.2311	Helical Milling (Entrada)	164,00	0,07	4350,00	754,00	3,00	12,00	4,55	
		Desbaste	151,00	0,07	4020,00	0,00	15,00	12,00	...	
		Helical Milling (Entrada Acab)	191,00	0,07	5060,00	876,00	0,15	12,00	0,23	
		Acabamento Chão	191,00	0,07	5060,00	0,00	0,15	12,00	...	
		Acabamento Paredes	435,00	0,20	11500,00	0,00	15,00	0,15	..	

1501601	1.1730	Helical Milling (Entrada)	220,00	0,09	4370,00	984,00	3,50	16,00	3,98	Externo; Ar Comprimido
		Desbaste	203,00	0,09	4030,00	0,00	17,50	16,00	...	
		Helical Milling (Entrada Acab)	257,00	0,09	5110,00	1150,00	0,15	16,00	0,17	
		Acabamento Chão	257,00	0,09	5110,00	0,00	0,15	16,00	...	
		Acabamento Paredes	617,00	0,23	12300,00	0,00	17,50	0,15	...	
	1.2311	Helical Milling (Entrada)	170,00	0,09	3380,00	760,00	3,50	16,00	3,98	
		Desbaste	157,00	0,09	3120,00	0,00	17,50	1,00	...	
		Helical Milling (Entrada Acab)	199,00	0,09	3950,00	890,00	0,15	16,00	0,17	
		Acabamento Chão	199,00	0,09	3950,00	0,00	0,15	16,00	...	
		Acabamento Paredes	477,00	0,23	9490,00	0,00	17,50	0,15	...	
1502501	1.1730	Desbaste Guias (Interpolação Helicoidal)	250,00	0,13	3183,00	1241,00	9,63	8,55	23,60	
	1.2311	Desbaste Guias (Interpolação Helicoidal)	150,00	0,13	1910,00	745,00	6,85	8,55	23,60	
1503201	1.1730	Desbaste Guias (Interpolação Helicoidal)	230,00	0,22	2288,00	1007,00	10,00	8,00	24,80	
	1.2311	Desbaste Guias (Interpolação Helicoidal)	140,00	0,22	1393,00	613,00	10,00	8,00	24,80	
1504001	1.1730	Desbaste Guias (Interpolação Helicoidal)	210,00	0,19	1671,00	1270,00	11,90	19,60	8,06	
	1.2311	Desbaste Guias (Interpolação Helicoidal)	130,00	0,19	1035,00	786,00	11,90	19,60	10,70	
1503202	1.1730	Desbaste Cx. Circular	309,00	0,20	3100,00	994,00	14,00	23,25		Interno; Ar comprimido
	1.2311	Desbaste Cx. Circular	247,00	0,20	2480,00	692,00	14,00	23,25		
1504002	1.1730	Desbaste Cx. Circular	384,00	0,21	3060,00	928,00	15,00	13,33		Interno; Ar comprimido
	1.2311	Desbaste Cx. Circular	270,00	0,21	2150,00	710,00	15,00	13,33		



## 6.2 MÉTODO TRADICIONAL

### 6.2.1 Gerador Peças



Peça	x (mm)	y (mm)	z (mm)	Material	ROSC		FOLG		ALOJ		CAVI		RECT		GUIA		CIRC		CIRP	
					REF	Q	REF	Q	REF	Q	REF	Q	REF	Q	REF	Q	REF	Q	REF	Q
1	996,00	796,00	66,00	1.2311	ROSC07	2	FOLG17	2	ALOJ16	6	CAVI10	3	RECT04	3	GUIA11	4	CIRC04	1	CIRP05	4
					ROSC09	1	FOLG16	6	ALOJ16	5			RECT08	1					CIRP05	4
					ROSC06	3	FOLG27	6												
2	996,00	796,00	136,00	1.2311	ROSC09	5	FOLG61	5	ALOJ31	6	CAVI11	3	RECT10	4	GUIA33	4	CIRC07	1	CIRP14	3
					ROSC08	6				CAVI16	3	RECT02	4	CIRP15					1	
					ROSC06	3				CAVI04	3			CIRP13					3	
3	996,00	696,00	66,00	1.1730	ROSC05	4	FOLG16	3	ALOJ13	4	CAVI11	4	RECT02	4	GUIA13	4	CIRC04	1	CIRP06	4
					ROSC11	3	FOLG23	5	ALOJ10	6	CAVI01	2							CIRP04	3
									ALOJ14	2										
4	996,00	696,00	136,00	1.1730	ROSC08	1	FOLG59	6	ALOJ31	5	CAVI02	1	RECT08	1	GUIA35	4	CIRC06	1	CIRP13	4
					ROSC05	2				CAVI07	2	RECT04	2							
										CAVI11	3									
5	996,00	596,00	46,00	1.2311	ROSC07	4	FOLG07	1	ALOJ03	3	CAVI03	3	RECT06	2	GUIA04	4	CIRC04	1	CIRP01	2
					ROSC03	3	FOLG09	1	ALOJ07	6			RECT02	4					CIRP02	1
					ROSC09	4	FOLG14	6	ALOJ06	2			RECT11	3						
6	996,00	596,00	96,00	1.1730	ROSC11	6	FOLG45	3	ALOJ25	2	CAVI03	1	RECT09	2	GUIA27	4	CIRC03	1	CIRP12	2
					ROSC10	3	FOLG44	3	ALOJ26	4	CAVI16	3	RECT04	1						
					ROSC06	2	FOLG52	5	ALOJ27	6	CAVI06	4								
7	996,00	546,00	86,00	1.1730	ROSC04	3	FOLG29	3	ALOJ19	6	CAVI07	4	RECT08	3	GUIA19	4	CIRC10	1	CIRP08	2
					ROSC07	6	FOLG35	6	ALOJ18	6	CAVI07	1	RECT02	3						
					ROSC07	4	FOLG35	4	ALOJ19	5										
8	996,00	546,00	136,00	1.1730	ROSC07	6	FOLG54	3	ALOJ29	6	CAVI01	3	RECT05	4	GUIA29	4	CIRC08	1	CIRP13	2
					ROSC08	6	FOLG53	2	ALOJ31	6			RECT01	1					CIRP14	2
							FOLG61	6												



9	896,00	796,00	66,00	1.1730	ROSC10	2	FOLG17	6	ALOJ13	5	CAVI09	1	RECT03	3	GUIA10	4			CIRP06	4	
					ROSC08	6					CAVI11	4	RECT07	4					CIRP06	4	
											CAVI13	2	RECT04	1					CIRP06	3	
10	896,00	796,00	136,00	1.1730	ROSC07	1			ALOJ31	4	CAVI11	1	RECT05	3	GUIA29	4	CIRC03	1		CIRP14	1
					ROSC04	5			ALOJ29	2	CAVI02	3	RECT06	1						RECT11	1
11	896,00	696,00	46,00	1.2311	ROSC02	1	FOLG04	5	ALOJ08	2	CAVI03	1	RECT07	1	GUIA04	4	CIRC07	1		CIRP02	4
					ROSC06	6	FOLG12	1	ALOJ03	1			RECT09	2						CIRP02	1
					ROSC08	8	FOLG07	3	ALOJ09	1											
12	896,00	696,00	86,00	1.2311	ROSC09	1	FOLG31	3	ALOJ18	2	CAVI05	1	RECT02	4	GUIA17	4	CIRC09	1		CIRP09	3
					ROSC11	5	FOLG37	1	ALOJ21	3	CAVI04	3	RECT10	3						CIRP07	2
					ROSC02	6	FOLG40	1	ALOJ22	1										CIRP08	2
13	896,00	596,00	46,00	1.1730	ROSC05	1	FOLG13	1	ALOJ05	5	CAVI02	3	RECT07	4	GUIA05	4	CIRC09	1		CIRP01	2
					ROSC02	4	FOLG11	4	ALOJ08	5	CAVI16	1	RECT08	3						CIRP02	2
					ROSC12	2	FOLG12	4	ALOJ01	4			RECT02	4							
14	896,00	596,00	96,00	1.2311	ROSC09	5	FOLG47	6	ALOJ26	3	CAVI06	4	RECT09	4	GUIA22	4	CIRC05	1		CIRP12	2
					ROSC08	2	FOLG52	1	ALOJ25	6			RECT11	1						CIRP10	4
					ROSC07	4			ALOJ28	6											
15	896,00	546,00	66,00	1.2311	ROSC09	6	FOLG27	4	ALOJ13	5	CAVI05	3	RECT06	1	GUIA14	4			CIRP05	4	
					ROSC06	1	FOLG27	2	ALOJ12	4	CAVI03	1	RECT08	3					CIRP05	3	
							FOLG25	4	ALOJ11	4			RECT09	4					CIRP05	2	
16	896,00	546,00	96,00	1.1730	ROSC02	4	FOLG48	3	ALOJ28	6	CAVI05	2	RECT07	1	GUIA27	4	CIRC06	1		CIRP11	2
					ROSC10	4	FOLG51	1	ALOJ26	3	CAVI03	3	RECT10	3						CIRP12	3
					ROSC09	1	FOLG41	4			CAVI11	1									
17	896,00	546,00	136,00	1.2311	ROSC02	6	FOLG56	6	ALOJ31	1	CAVI14	1	RECT08	2	GUIA31	4	CIRC03	1		CIRP15	3
					ROSC08	4	FOLG59	1	ALOJ33	5			RECT05	1						CIRP14	4
					ROSC09	2							RECT06	2							

18	796,00	796,00	86,00	1.1730	ROSC10	6	FOLG33	2	ALOJ21	6	CAVI10	4	RECT01	2	GUIA16	4	CIRC04	1	CIRP07	4
					ROSC04	5	FOLG36	2	ALOJ17	6	CAVI07	1	RECT08	3					CIRP08	3
											CAVI16	1	RECT04	4						
19	796,00	696,00	46,00	1.2311	ROSC09	4	FOLG11	1	ALOJ09	3	CAVI10	1	RECT08	3	GUIA01	4	CIRC10	1	CIRP03	3
					ROSC05	5	FOLG01	5	ALOJ04	2	CAVI09	3	RECT11	1						
							FOLG07	5	ALOJ08	5	CAVI11	1	RECT09	4						
20	796,00	696,00	96,00	1.2311	ROSC04	4	FOLG41	2	ALOJ26	6	CAVI05	1	RECT10	2	GUIA22	4	CIRC03	1	CIRP12	3
					ROSC11	4	FOLG52	4	ALOJ26	2	CAVI16	2	RECT07	2					CIRP10	1
					ROSC09	3	FOLG52	4	ALOJ28	6	CAVI09	4								
21	796,00	596,00	136,00	1.1730	ROSC10	1	FOLG54	5	ALOJ29	1	CAVI15	2	RECT04	2	GUIA34	4	CIRC09	1	CIRP15	5
					ROSC04	6	FOLG54	3	ALOJ33	6	CAVI02	1	RECT02	4					CIRP14	1
					ROSC01				ALOJ31	1			RECT06	3						
22	796,00	546,00	66,00	1.2311	ROSC09	3	FOLG28	5	ALOJ12	3	CAVI11	1	RECT08	2	GUIA13	4	CIRC09	1	CIRP05	2
					ROSC07	5	FOLG26	6	ALOJ14	1	CAVI06	2	RECT05	2						
							FOLG27	3					RECT01	1						
23	796,00	546,00	86,00	1.1730	ROSC08	1	FOLG34	3	ALOJ22	2	CAVI10	2	RECT06	3	GUIA16	4	CIRC01	1	CIRP07	7
					ROSC10	6	FOLG35	5	ALOJ18	3									CIRP08	8
24	696,00	696,00	46,00	1.2311	ROSC04	3	FOLG06	3	ALOJ07	1	CAVI10	2	RECT09	2	GUIA04	4	CIRC12	1	CIRP03	1
					ROSC13	1	FOLG10	5	ALOJ02	2	CAVI03	4	RECT05	1					CIRP01	4
					ROSC09	1	FOLG12	1			CAVI15	1	RECT07	1						
25	696,00	696,00	136,00	1.1730	ROSC11	6	FOLG54	1	ALOJ29	5	CAVI10	4	RECT02	4	GUIA29	4			CIRP14	1
					ROSC02	6	FOLG53	2			CAVI12	3	RECT08	2					CIRP15	4
													RECT10	1					CIRP13	4
26	696,00	596,00	66,00	1.2311	ROSC08	4	FOLG16	6	ALOJ12	4	CAVI16	3	RECT05	4	GUIA12	4	CIRC10	1	CIRP06	6
					ROSC05	6			ALOJ12	4	CAVI16	5	RECT02	2					CIRP04	4
					ROSC05	2					CAVI04	4								

27	696,00	596,00	96,00	1.2311	ROSC05	1	FOLG52	2	ALOJ28	4	CAVI01	4	RECT01	1	GUIA28	4	CIRC06	1	CIRP12	3
					ROSC01	1			ALOJ24	3	CAVI08	4	RECT10	4						
28	696,00	546,00	46,00	1.2311	ROSC12	4	FOLG12	2	ALOJ04	2	CAVI10	1	RECT01	3	GUIA02	4	CIRC07	1	CIRP03	2
					ROSC05	3	FOLG06	5	ALOJ07	1	CAVI12	1	RECT09	2						
									ALOJ06	5			RECT10	1						
29	696,00	546,00	86,00	1.1730	ROSC04	6	FOLG32	2	ALOJ19	5	CAVI15	2	RECT09	3	GUIA18	4	CIRC06	1	CIRP09	3
					ROSC05	4	FOLG39	4	ALOJ17	4	CAVI12	4	RECT07	1						
							FOLG37	2	ALOJ22	5										
30	696,00	546,00	136,00	1.1730	ROSC09	1	FOLG60	5	ALOJ29	6	CAVI01	1	RECT11	3	GUIA29	4	CIRC07	1	CIRP14	4
					ROSC11	6	FOLG59	4	ALOJ29	2	CAVI06	4	RECT05	2					CIRP13	4
					ROSC10	6					CAVI14	1	RECT04	4						

## 6.2.2 Verificação Peças

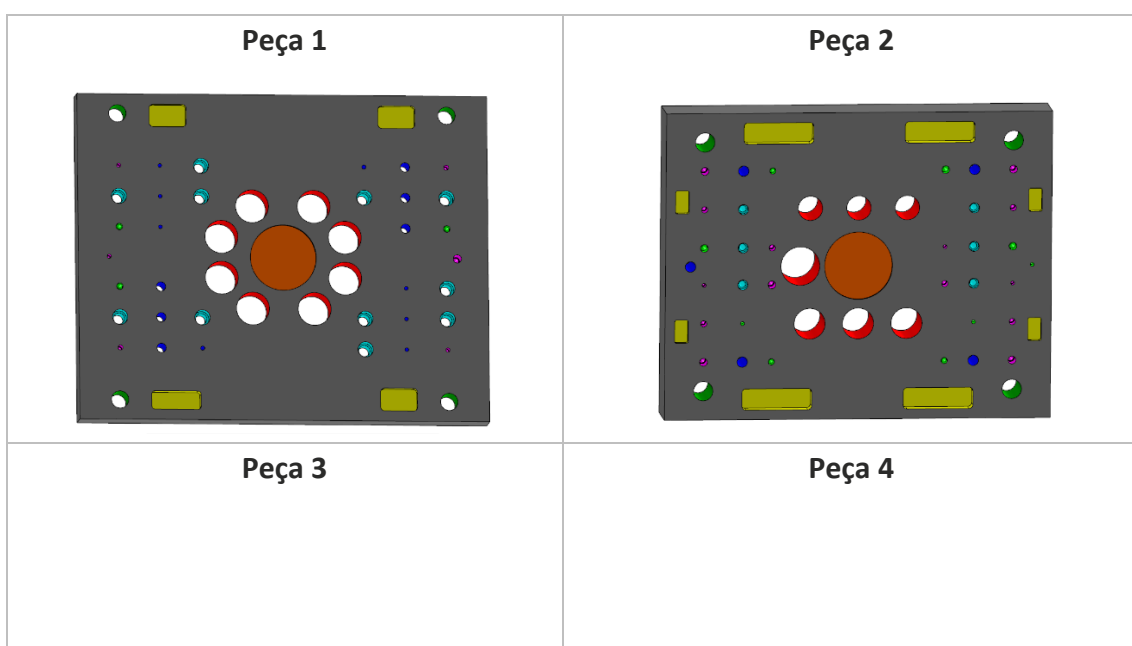
Peça	ANÁLISE						
	A <sub>disp</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>maq</sub> (mm <sup>2</sup> )	Estado	V <sub>disp</sub> (mm <sup>3</sup> )	V <sub>maq</sub> (mm <sup>3</sup> )	Estado	% Material Removido
1	792816,00	101727,00	OK	52325856,00	4301076,89	OK	8,22
2	792816,00	121889,10	OK	107822976,00	7888103,87	OK	7,32
3	693216,00	85287,66	OK	45752256,00	3872042,07	OK	8,46
4	693216,00	65028,22	OK	94277376,00	4342756,28	OK	4,61
5	593616,00	97048,63	OK	27306336,00	2585956,75	OK	9,47
6	593616,00	70168,04	OK	56987136,00	4074068,59	OK	7,15
7	543816,00	81929,96	OK	46768176,00	2792065,20	OK	5,97
8	543816,00	77149,70	OK	73958976,00	4288926,65	OK	5,80

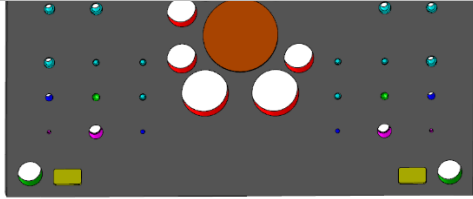
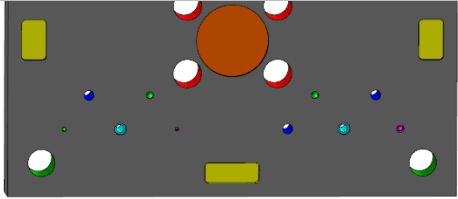
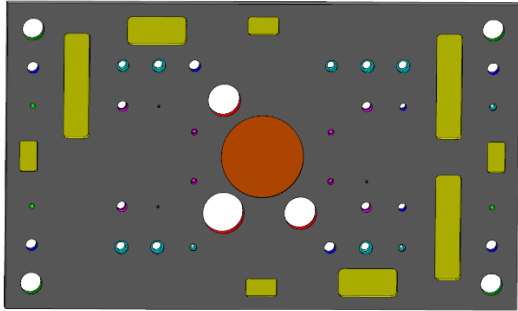
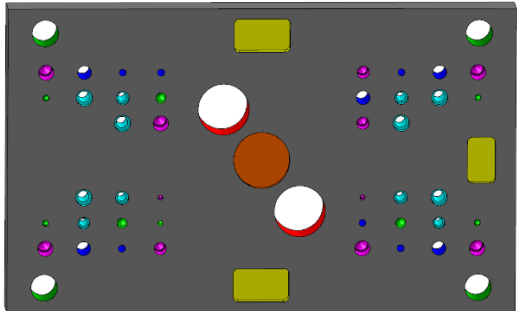
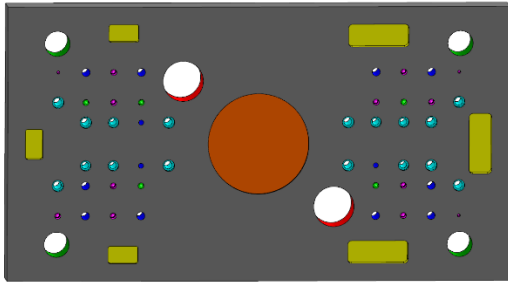
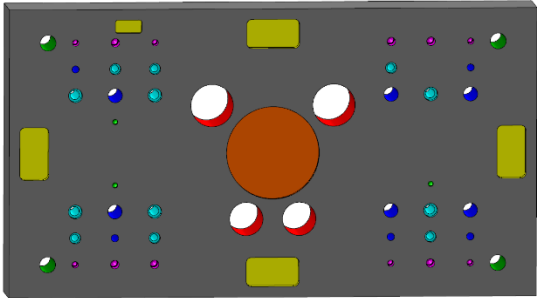
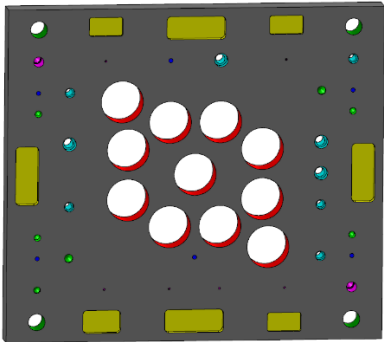
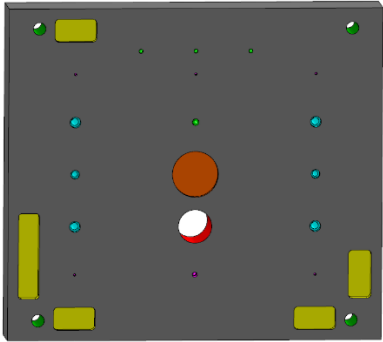
9	713216,00	143275,36	OK	47072256,00	7036556,03	OK	14,95
10	713216,00	53467,01	OK	96997376,00	2195339,65	OK	2,26
11	623616,00	82102,79	OK	28686336,00	2361505,83	OK	8,23
12	623616,00	115462,82	OK	53630976,00	5910461,36	OK	11,02
13	534016,00	112979,48	OK	24564736,00	2956203,27	OK	12,03
14	534016,00	104167,86	OK	51265536,00	5231941,27	OK	10,21
15	489216,00	117010,42	OK	32288256,00	5610999,65	OK	17,38
16	489216,00	111073,20	OK	46964736,00	6263740,03	OK	13,34
17	489216,00	95736,38	OK	66533376,00	8205420,84	OK	12,33
18	633616,00	99204,85	OK	54490976,00	4024115,29	OK	7,38

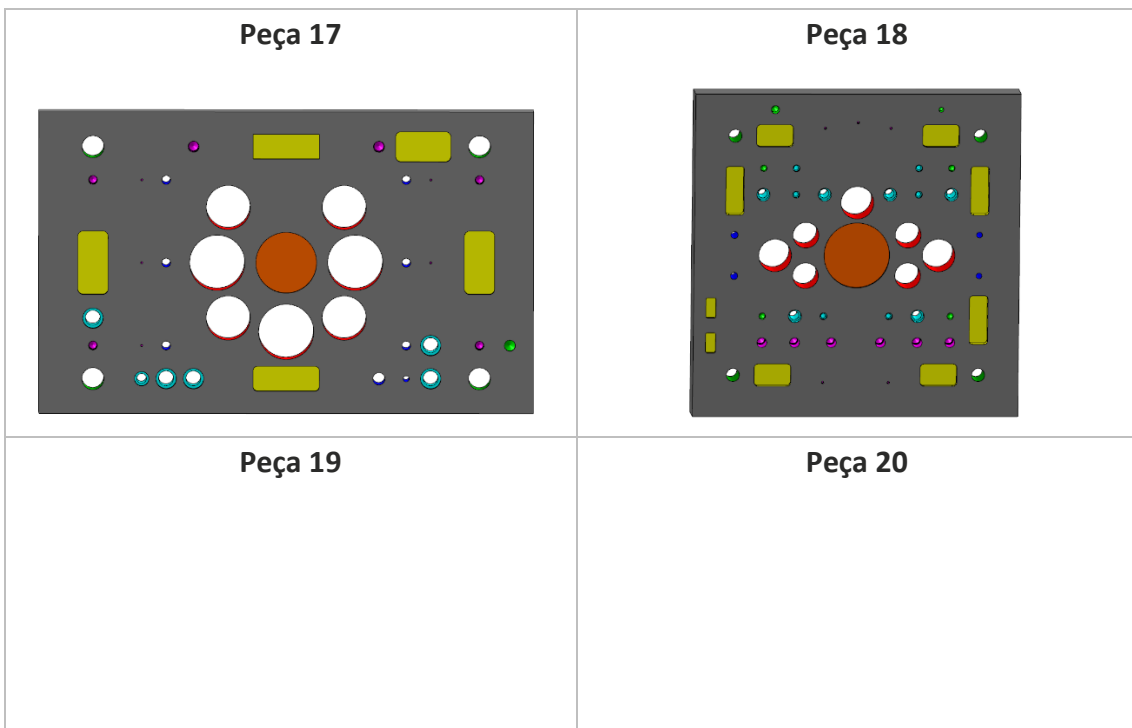
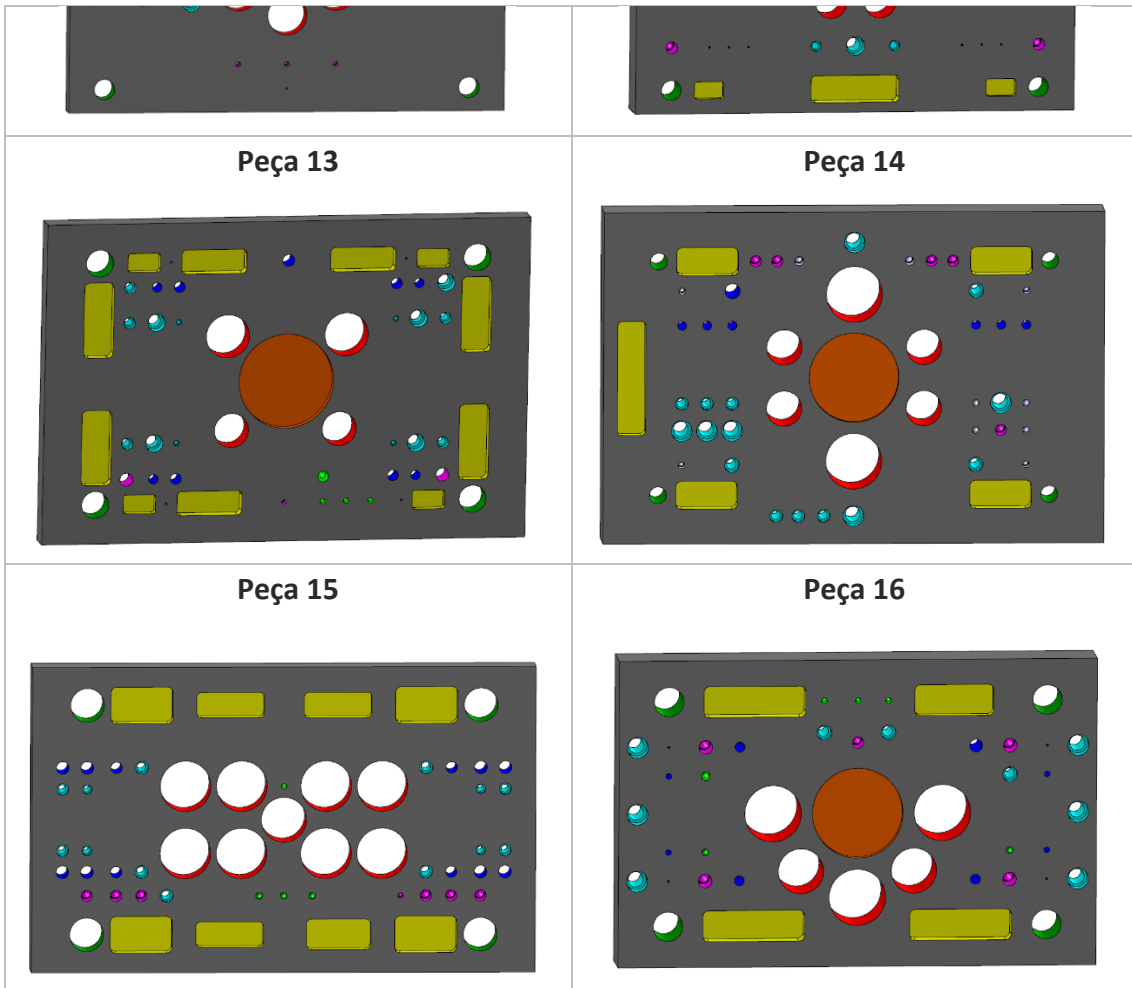
19	554016,00	123239,62	OK	25484736,00	3365641,01	OK	13,21
20	554016,00	93854,77	OK	53185536,00	5266496,31	OK	9,90
21	474416,00	123335,18	OK	64520576,00	9093337,79	OK	14,09
22	434616,00	74811,58	OK	28684656,00	2611215,09	OK	9,10
23	434616,00	100866,00	OK	37376976,00	6572821,36	OK	17,59
24	484416,00	88670,79	OK	22283136,00	2500617,08	OK	11,22
25	484416,00	87497,38	OK	65880576,00	8207148,91	OK	12,46
26	414816,00	131562,80	OK	27377856,00	5402757,13	OK	19,73
27	414816,00	102755,86	OK	39822336,00	5486237,25	OK	13,78

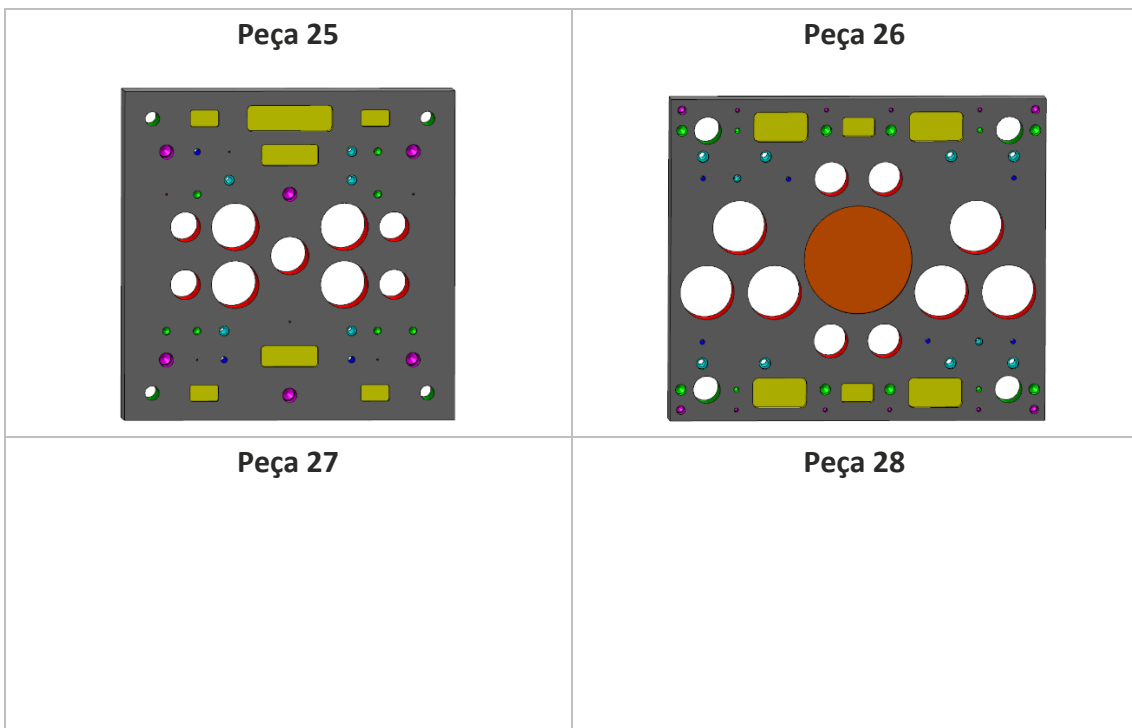
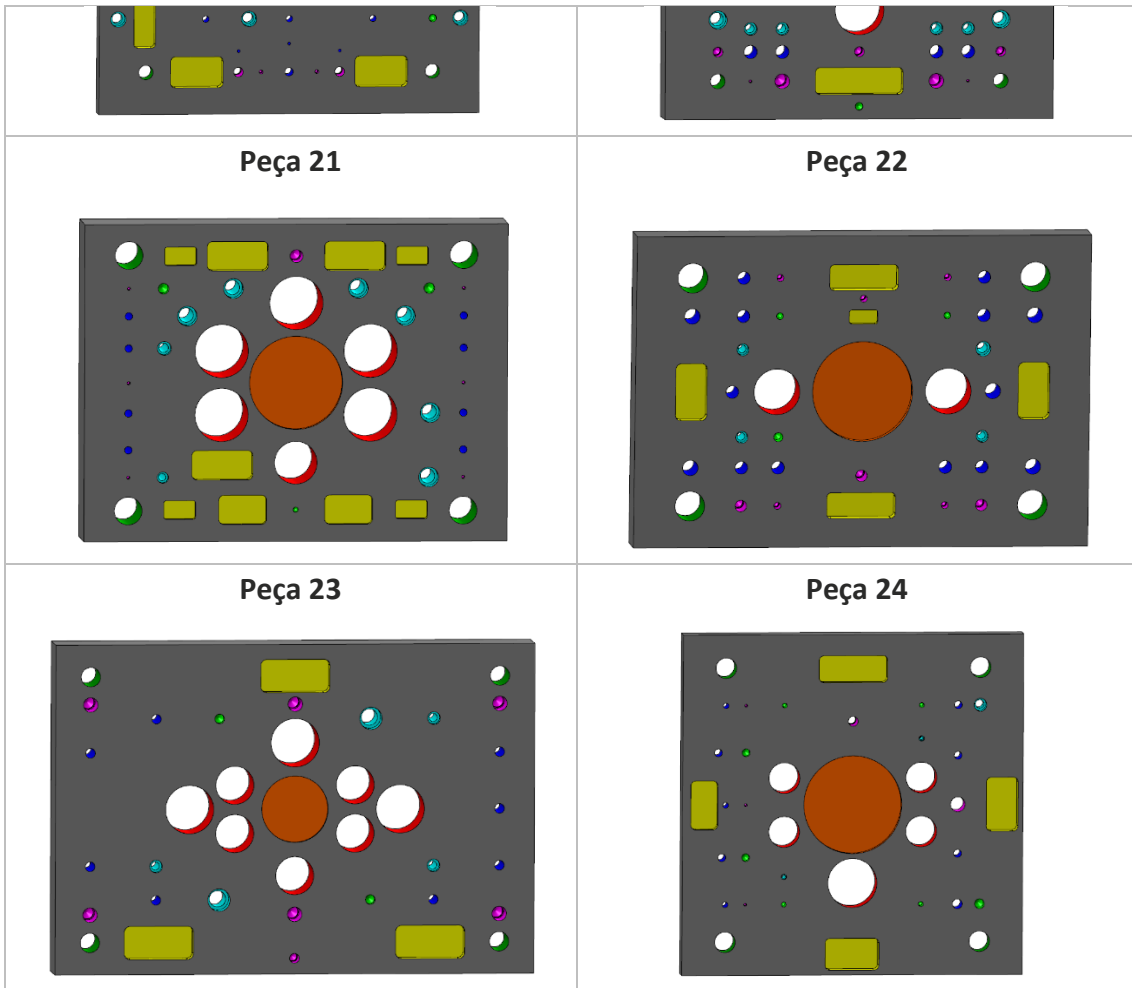
28	380016,00	76712,32	OK	17480736,00	2059097,33	OK	11,78
29	380016,00	90578,56	OK	32681376,00	4303174,32	OK	13,17
30	380016,00	133078,08	OK	51682176,00	7439365,96	OK	14,39

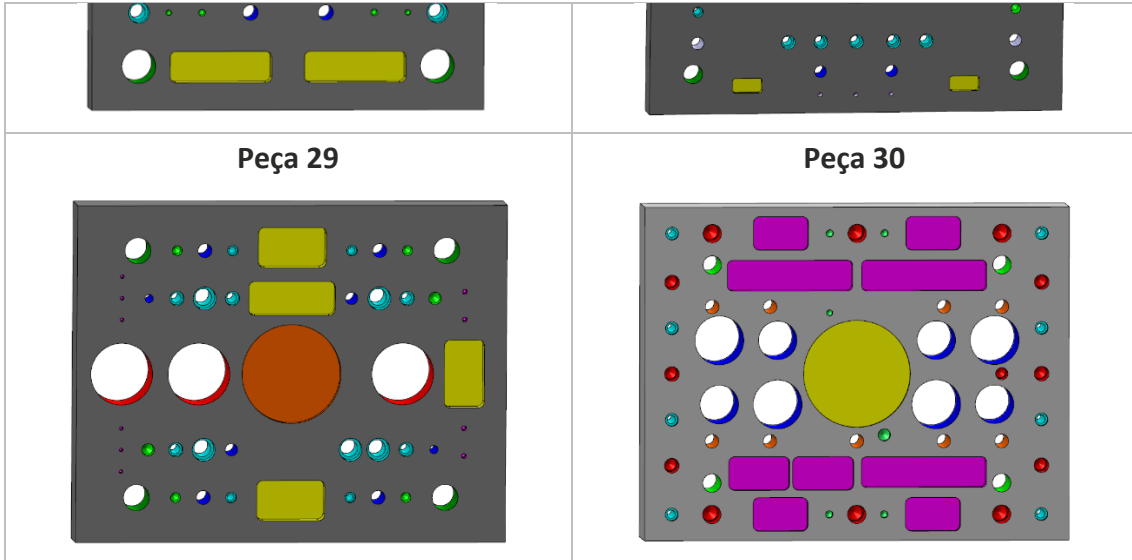
### 6.2.3 Peças Modeladas



	
<p><b>Peça 5</b></p>	<p><b>Peça 6</b></p>
	
<p><b>Peça 7</b></p>	<p><b>Peça 8</b></p>
	
<p><b>Peça 9</b></p>	<p><b>Peça 10</b></p>
	
<p><b>Peça 11</b></p>	<p><b>Peça 12</b></p>









#### 6.2.4 Tempos de maquinagem



Peça	ROSC		FOLG		ALQJ		CAVI		RECT		GUIA		CIRC		CIRP		t <sub>corte</sub> <sup>Total</sup> (s)	t <sub>rápido</sub> <sup>Total</sup> (s)	t <sup>Total</sup> (s)
	t <sub>corte</sub> (s)	t <sub>rápido</sub> (s)	t <sub>corte</sub> (s)	t <sub>rápido</sub> (s)	t <sub>corte</sub> (s)	t <sub>rápido</sub> (s)	t <sub>corte</sub> (s)	t <sub>rápido</sub> (s)	t <sub>corte</sub> (s)	t <sub>rápido</sub> (s)	t <sub>corte</sub> (s)	t <sub>rápido</sub> (s)	t <sub>corte</sub> (s)	t <sub>rápido</sub> (s)	t <sub>corte</sub> (s)	t <sub>rápido</sub> (s)			
1	14,04	15,82	17,82	7,25	204,90	16,47	21,84	7,26	876,60	351,60					1016,92	101,73	4852,14	814,94	5667,08
	15,00	1,80	32,40	14,03	170,75	15,32			680,54	2,66	354,68	143,15	317,86	1,82	1016,92	101,73			
	19,41	18,07	92,46	16,22															
2	75,00	47,40	131,95	33,99	144,30	29,82	24,51	5,38	3420,68	1369,55					1103,91	110,42	9055,91	2664,1655	11720,076
	68,88	44,21					35,85	7,65	1583,24	634,58	667,92	268,45	370,34	1,84	499,96	4,36			
	19,41	13,09					19,29	4,34							890,67	89,10			
3	21,64	14,90	17,61	5,00	60,72	12,78	32,28	7,10	1461,32	585,81					982,52	98,29	3832,33	985,5505	4817,8805
	62,73	39,08	49,00	13,25	45,00	9,96	10,54	2,43			350,60	141,52	238,27	1,84	467,82	46,81			
					32,28	6,78													
4	10,50	1,70	133,02	34,46	112,55	23,31	5,57	1,51	551,37	2,66					947,64	94,80	3316,69	661,261	3977,951
	10,82	7,45					12,30	2,78	472,20	189,52	736,32	295,81	300,19	1,94					
							24,21	5,32											
5	28,08	18,77	9,20	1,15	21,12	4,70	18,54	4,19	1127,56	451,66					281,30	28,15	7044,75	2520,536	9565,286
	15,36	10,66	9,15	1,15	103,44	21,65			1583,24	634,58	301,72	121,97	317,86	1,84	178,55	2,58			
	60,00	37,92	85,56	22,59	29,62	6,24			2874,45	1150,74									
6	125,46	78,16	36,69	9,77	35,90	7,50	6,02	1,59	1088,42	436,01					595,70	59,59	3318,9	935,1925	4254,0925
	49,53	31,16	39,75	10,54	75,48	15,74	32,25	6,93	236,10	1,90	495,88	199,63	200,95	1,94					
	12,04	8,18	124,25	32,06	141,72	29,30	22,76	5,19											
7	15,45	10,71	33,90	9,08	102,18	21,40	24,60	5,56	1654,11	662,60					406,94	40,71	4453,02	1471,379	5924,399
	39,30	26,46	68,76	18,39	97,56	20,47	6,15	1,60	1095,99	439,36	410,48	165,47	340,41	1,84					
	26,20	17,64	45,84	12,26	85,15	17,83													
8	39,30	26,46	46,71	12,28	125,64	26,09	15,81	3,64	1579,80	633,20					473,82	47,40	4439,65	1219,9025	5659,5525
	63,00	40,68	33,98	8,90	135,06	27,97			193,60	3,08	729,88	293,23	305,33	1,88	537,04	53,72			

			160,68	41,37															
9	33,02	20,77	57,66	15,62	75,90	15,98	6,48	1,46	1116,93	447,73			982,52	98,29					
	63,00	40,68					32,28	7,10	2050,16	821,34	326,72	131,97	982,52	98,29	6717,02	1778,538	8495,558		
							16,84	3,69	236,10	1,90			736,89	73,72					
10	6,55	1,61			90,04	18,65	8,07	1,61	1184,85	474,90			268,52	4,36					
	25,75	17,85			41,88	8,70	16,71	3,82	458,41	2,80	729,88	293,23	200,95	1,94	3820,95	836,028	4656,978		
									789,34	6,56									
11	4,89	1,43	29,65	8,41	42,40	8,80	6,18	1,59	641,31	2,54			714,20	71,46					
	38,82	26,17	12,25	1,16	7,04	1,64			1339,46	536,42	301,72	121,97	370,34	1,84	178,55	2,52	3834,14	854,1505	4688,2905
	91,84	58,94	27,60	7,50	27,89	1,75													
12	15,00	1,80	35,31	9,43	34,48	7,22	5,77	1,45	1583,24	634,58			1155,57	115,59					
	119,10	73,86	15,56	1,35	75,21	15,52	19,29	4,34	2565,51	1027,16	398,20	160,56	432,25	1,94	447,20	44,74	7557,12	2179,7645	9736,8845
	29,34	20,48	24,14	1,35	37,55	1,94							564,40	56,46					
13	5,41	1,53	12,00	0,90	62,65	13,33	16,71	3,82	2050,16	821,34			227,18	22,74					
	19,08	13,37	41,72	11,23	90,15	18,83	10,75	1,66	1654,11	662,60	270,92	109,65	336,29	1,94	261,10	26,13	6624,19	2332,686	8956,876
	30,84	19,46	42,80	11,50	31,00	6,84			1461,32	585,81									
14	75,00	47,40	69,78	18,65	61,71	12,82	24,56	5,55	2678,92	1072,85			838,36	83,86					
	22,96	14,74	25,84	1,40	114,78	23,92			958,15	6,56	489,12	196,93	348,82	1,88	992,64	99,30	6964,22	1652,675	8616,895
	28,08	18,77			235,50	48,06													
15	90,00	56,88	61,64	16,21	82,70	17,34	17,31	3,94	563,78	2,80			1016,92	101,73					
	6,47	1,57	30,82	8,11	61,80	13,00	6,18	1,59	2041,62	817,61	461,60	185,92			762,69	76,30	8497,15	2451,976	10949,126
			51,56	13,69	54,68	11,58			2678,92	1072,85			508,46	50,87					
16	19,08	13,37	42,06	11,12	204,42	41,84	10,74	2,47	512,54	2,54			444,88	44,51					
	66,04	41,54	17,97	1,14	56,61	11,80	18,06	4,09	2071,41	829,52	495,88	199,63	300,19	1,94	893,55	89,39	5223,65	1311,252	6534,902
	13,59	1,80	48,56	12,94			8,07	1,61											
17	29,34	20,48	88,86	23,42	24,05	2,12	10,39	1,52	1361,08	545,07			1499,88	150,02					
	45,92	29,47	22,01	1,59	199,00	40,60			487,77	2,54	601,64	241,94	230,43	1,94	1471,88	147,23	7229,81	1678,559	8908,369
	30,00	18,96							1127,56	451,66									

	99,06	62,32	22,80	6,10	134,88	27,94	28,44	6,33	387,20	155,52					705,16	70,56			
18	25,75	17,85	26,22	6,96	89,64	18,89	6,15	1,60	1654,11	662,60	530,16	213,34	238,27	1,84	610,41	61,07	5513,4	1693,608	7207,008
							10,75	1,66	944,40	379,04									
	60,00	37,92	11,73	1,16	83,67	17,21	7,28	1,52	2041,62	817,61					744,90	74,52			
19	29,80	20,28	26,35	7,59	23,80	5,08	20,07	4,49	958,15	6,56	272,28	110,19	466,19	1,84			7584,93	2214,9335	9799,8635
			46,00	12,50	106,00	22,00	8,17	1,61	2678,92	1072,85									
	21,40	14,76	22,64	6,06	123,42	25,64	5,77	1,45	1710,34	684,78					1257,54	125,78			
20	95,28	59,09	103,36	26,64	41,14	8,55	23,90	5,10	1282,62	513,69	489,12	196,93	230,43	1,94	248,16	3,54	6065,74	1783,078	7848,818
	45,00	28,44	103,36	26,64	235,50	48,06	26,76	5,99											
	16,51	1,89	77,85	20,46	20,94	2,11	20,34	4,39	472,20	189,52					1790,80	179,13			
21	30,90	21,42	46,71	12,28	216,00	44,16	5,57	1,51	1461,32	585,81	657,28	264,19	336,29	1,94	268,52	4,36	6818,97	1886,34	8705,31
					22,51	2,12			1375,23	551,05									
	45,00	28,44	103,70	26,93	46,35	9,75	8,17	1,61	1361,08	545,07					508,46	50,87			
22	35,10	23,46	87,48	23,07	17,97	1,79	12,28	2,78	975,54	390,86	377,24	152,18	432,25	1,94			4253,61	1273,5285	5527,1385
			46,23	12,16					196,76	2,64									
	10,50	1,70	36,87	9,82	64,64	13,25	14,22	3,16	1375,23	551,05					1234,03	123,47			
23	99,06	62,32	57,30	15,33	48,78	10,24					530,16	213,34	139,03	1,82	1627,76	162,86	5237,58	1168,3515	6405,9315
	16,05	11,07	27,66	7,52	17,24	1,70	14,56	3,23	1339,46	536,42					248,30	2,58			
24	20,26	1,86	44,05	12,01	19,62	4,24	24,72	5,58	487,77	2,54	301,72	121,97	528,11	1,94	562,60	56,30	4332,08	776,1095	5108,1895
	15,00	1,80	12,25	1,16			11,40	1,61	641,31	2,57									
	125,46	78,16	15,57	1,32	104,70	21,74	28,44	6,33	1461,32	585,81					268,52	4,36			
25	28,62	20,05	33,98	8,90			25,77	5,63	1102,74	441,74	729,88	293,23			1432,64	143,30	6995,75	1708,359	8704,109
									690,47	2,99					947,64	94,80			
	45,92	29,47	32,40	9,30	61,80	13,00	35,85	7,65	1951,08	781,71					2085,66	208,63			
26	35,76	24,34			61,80	13,00	59,75	12,75	791,62	317,29	356,48	143,87	466,19	1,84	796,84	79,72	6818,79	1656,466	8475,256
	11,92	8,11					25,72	5,78											

	5,96	1,53	51,68	13,32	157,00	32,04	21,80	5,00	196,76	2,64				1257,54	125,78				
27	5,84	1,40			54,42	11,36	27,96	6,23	3420,68	1369,55	638,68	256,75	379,79	1,94			6218,11	1827,554	8045,664
	70,32	44,11	24,50	6,53	23,80	5,08	7,28	1,52	590,28	237,07					496,60	49,68			
28	17,88	12,17	46,10	12,53	17,24	1,70	8,66	1,65	1339,46	536,42	302,08	122,11	370,34	1,84			4243,76	1051,008	5294,768
					74,05	15,61			855,17	2,99									
	30,90	21,42	24,62	6,56	85,15	17,83	20,34	4,39	1632,63	654,01					819,99	82,03			
29	21,64	14,90	67,20	17,60	59,76	12,59	34,36	7,51	512,54	2,54	414,12	166,93	300,19	1,88			4214,52	1051,08	5265,6
			29,48	7,77	161,60	33,12													
	13,59	1,80	113,20	29,30	125,64	26,09	5,27	1,45	2368,02	948,17					1074,08	107,45			
30	125,46	78,16	88,68	22,97	41,88	8,70	22,76	5,19	789,90	316,60	729,88	293,23	274,36	1,84			7772,93	2378,62	10151,55
	99,06	62,32					9,11	1,52	944,40	379,04									

## 6.3 MÉTODO EMPÍRICO

### 6.3.1 Tempos de maquinagem de cada elemento



## Furos Passantes

Elemento	Op.	1.1730						1.2311					
		Ferramenta	Tempo de Corte (s)	Tempo Movimento Rápido (s)	Tempo Total (s)	Tempo Total Corte (s)	Tempo Total Elemento (s)	Ferramenta	Tempo de Corte (s)	Tempo Movimento Rápido (s)	Tempo Total (s)	Tempo Total Corte (s)	Tempo Total Elemento (s)
FOLG01	2.1	10006011	2,34	0,68	3,02	4,62	5,50	10006012	2,39	0,68	3,07	4,13	5,27
	2.2	11010011	2,28	0,20	2,48			11010012	1,74	0,46	2,20		
FOLG02	2.1	10007011	2,58	0,68	3,26	4,89	5,77	10007012	2,62	0,68	3,30	4,42	5,56
	2.2	11010011	2,31	0,20	2,51			11010012	1,80	0,46	2,26		
FOLG03	2.1	10009011	2,77	0,68	3,45	5,19	6,07	10009012	2,75	0,68	3,43	4,73	5,87
	2.2	11010011	2,42	0,20	2,62			11010012	1,98	0,46	2,44		
FOLG04	2.1	10010011	2,78	0,68	3,46	5,22	6,10	10010012	2,76	0,68	3,44	4,79	5,93
	2.2	11010011	2,44	0,20	2,64			11010012	2,03	0,46	2,49		
FOLG05	2.1	10011011	5,94	0,69	6,63	8,44	9,33	10011012	5,71	0,69	6,40	7,83	8,98
	2.2	11010011	2,50	0,20	2,70			11010012	2,12	0,46	2,58		
FOLG06	2.1	10011511	6,18	0,69	6,87	8,69	9,58	10011512	5,93	0,69	6,62	8,07	9,22
	2.2	11010011	2,51	0,20	2,71			11010012	2,14	0,46	2,60		
FOLG07	2.1	10013511	6,01	0,69	6,70	8,58	9,47	10013512	5,80	0,69	6,49	8,05	9,2
	2.2	11010011	2,57	0,20	2,77			11010012	2,25	0,46	2,71		
FOLG08	2.1	10014021	5,48	0,69	6,17	8,06	8,95	10014022	5,19	0,69	5,88	7,46	8,61
	2.2	11010011	2,58	0,20	2,78			11010012	2,27	0,46	2,73		
FOLG09	2.1	10015511	5,98	0,69	6,67	8,60	9,49	10015512	5,65	0,69	6,34	8	9,15
	2.2	11010011	2,62	0,20	2,82			11010012	2,35	0,46	2,81		
FOLG10	2.1	10016011	5,49	0,69	6,18	8,14	9,03	10016012	5,29	0,69	5,98	7,66	8,81
	2.2	11010011	2,65	0,20	2,85			11010012	2,37	0,46	2,83		
FOLG11	2.1	10017511	6,89	0,70	7,59	10,43	11,33	10017512	6,72	0,70	7,42	10,57	11,73
	2.2	11016011	3,54	0,20	3,74			11016012	3,85	0,46	4,31		

FOLG12	2.1	10020011	6,79	0,70	7,49	10,70	11,60	10020012	6,62	0,70	7,32	11,09	12,25
	2.2	11016011	3,91	0,20	4,11			11016012	4,47	0,46	4,93		
FOLG13	2.1	10022011	7,41	0,70	8,11	12,00	12,90	10022012	7,22	0,70	7,92	12,83	13,99
	2.2	11016011	4,59	0,20	4,79			11016012	5,61	0,46	6,07		
FOLG14	2.1	10022511	7,56	0,70	8,26	12,23	13,13	10022512	7,37	0,70	8,07	13,1	14,26
	2.2	11016011	4,67	0,20	4,87			11016012	5,73	0,46	6,19		
FOLG15	2.1	10027011	7,84	0,70	8,54	13,17	14,07	10027012	7,64	0,70	8,34	14,48	15,64
	2.2	11016011	5,33	0,20	5,53			11016012	6,84	0,46	7,30		
FOLG16	2.1	10009011	3,45	0,78	4,23	5,87	6,85	10009012	3,42	0,78	4,20	5,40	6,64
	2.2	11010011	2,42	0,20	2,62			11010012	1,98	0,46	2,44		
FOLG17	2.1	10010021	7,17	0,78	7,95	9,61	10,59	10010022	6,88	0,78	7,66	8,91	10,15
	2.2	11010011	2,44	0,20	2,64			11010012	2,03	0,46	2,49		
FOLG18	2.1	10011021	7,80	0,78	8,58	10,30	11,28	10011022	7,48	0,78	8,26	9,60	10,84
	2.2	11010011	2,50	0,20	2,70			11010012	2,12	0,46	2,58		
FOLG19	2.1	10011521	8,12	0,78	8,90	10,63	11,61	10011522	7,78	0,78	8,56	9,92	11,16
	2.2	11010011	2,51	0,20	2,71			11010012	2,14	0,46	2,60		
FOLG20	2.1	10013511	7,88	0,78	8,66	10,45	11,43	10013512	7,60	0,78	8,38	9,85	11,09
	2.2	11010011	2,57	0,20	2,77			11010012	2,25	0,46	2,71		
FOLG21	2.1	10014021	7,15	0,79	7,94	9,73	10,72	10014022	6,75	0,79	7,54	9,02	10,27
	2.2	11010011	2,58	0,20	2,78			11010012	2,27	0,46	2,73		
FOLG22	2.1	10015521	7,82	0,79	8,61	10,44	11,43	10015522	7,38	0,79	8,17	9,73	10,98
	2.2	11010011	2,62	0,20	2,82			11010012	2,35	0,46	2,81		
FOLG23	2.1	10016021	7,15	0,79	7,94	9,80	10,79	10016022	6,88	0,79	7,67	9,25	10,50
	2.2	11010011	2,65	0,20	2,85			11010012	2,37	0,46	2,83		
FOLG24	2.1	10017521	7,75	0,79	8,54	11,29	12,28	10017522	7,45	0,79	8,24	11,30	12,55
	2.2	11016011	3,54	0,20	3,74			11016012	3,85	0,46	4,31		
FOLG25	2.1	10020021	8,75	0,79	9,54	12,66	13,65	10020022	8,42	0,79	9,21	12,89	14,14
	2.2	11016011	3,91	0,20	4,11			11016012	4,47	0,46	4,93		

FOLG26	2.1	10022021	9,58	0,79	10,37	14,17	15,16	10022022	8,97	0,79	9,76	14,58	15,83
	2.2	11016011	4,59	0,20	4,79			11016012	5,61	0,46	6,07		
FOLG27	2.1	10022511	9,94	0,79	10,73	14,61	15,60	10022512	9,68	0,79	10,47	15,41	16,66
	2.2	11016011	4,67	0,20	4,87			11016012	5,73	0,46	6,19		
FOLG28	2.1	10027021	14,28	0,80	15,08	19,61	20,61	10027022	13,90	0,80	14,70	20,74	22,00
	2.2	11016011	5,33	0,20	5,53			11016012	6,84	0,46	7,30		
FOLG29	2.1	10010031	8,86	0,88	9,74	11,30	12,38	10010032	8,49	0,88	9,37	10,52	11,86
	2.2	11010011	2,44	0,20	2,64			11010012	2,03	0,46	2,49		
FOLG30	2.1	10011021	9,66	0,88	10,54	12,16	13,24	10011022	9,25	0,88	10,13	11,37	12,71
	2.2	11010011	2,50	0,20	2,70			11010012	2,12	0,46	2,58		
FOLG31	2.1	10011521	10,07	0,88	10,95	12,58	13,66	10011522	9,63	0,88	10,51	11,77	13,11
	2.2	11010011	2,51	0,20	2,71			11010012	2,14	0,46	2,60		
FOLG32	2.1	10013521	9,74	0,88	10,62	12,31	13,39	10013522	9,39	0,88	10,27	11,64	12,98
	2.2	11010011	2,57	0,20	2,77			11010012	2,25	0,46	2,71		
FOLG33	2.1	10014031	8,82	0,88	9,70	11,40	12,48	10014032	8,31	0,88	9,19	10,58	11,92
	2.2	11010011	2,58	0,20	2,78			11010012	2,27	0,46	2,73		
FOLG34	2.1	10015531	9,67	0,88	10,55	12,29	13,37	10015532	9,11	0,88	9,99	11,46	12,80
	2.2	11010011	2,62	0,20	2,82			11010012	2,35	0,46	2,81		
FOLG35	2.1	10016021	8,81	0,88	9,69	11,46	12,54	10016022	8,47	0,88	9,35	10,84	12,18
	2.2	11010011	2,65	0,20	2,85			11010012	2,37	0,46	2,83		
FOLG36	2.1	10017521	9,57	0,88	10,45	13,11	14,19	10017522	9,18	0,88	10,06	13,03	14,37
	2.2	11016011	3,54	0,20	3,74			11016012	3,85	0,46	4,31		
FOLG37	2.1	10020021	10,83	0,89	11,72	14,74	15,83	10022022	11,09	0,89	11,98	15,56	16,91
	2.2	11016011	3,91	0,20	4,11			11016012	4,47	0,46	4,93		
FOLG38	2.1	10022021	11,86	0,89	12,75	16,45	17,54	10022022	11,09	0,89	11,98	16,70	18,05
	2.2	11016011	4,59	0,20	4,79			11016012	5,61	0,46	6,07		
FOLG39	2.1	10022521	12,13	0,89	13,02	16,80	17,89	10022522	11,34	0,89	12,23	17,07	18,42
	2.2	11016011	4,67	0,20	4,87			11016012	5,73	0,46	6,19		

FOLG40	2.1	10027021	17,77	0,89	18,66	23,10	24,19	10027022	17,30	0,89	18,19	24,14	25,49
	2.2	11016011	5,33	0,20	5,53			11016012	6,84	0,46	7,30		
FOLG41	2.1	10010311	9,70	0,93	10,63	12,14	13,27	10010032	9,29	0,93	10,22	11,32	12,71
	2.2	11010011	2,44	0,20	2,64			11010012	2,03	0,46	2,49		
FOLG42	2.1	10011031	10,60	0,93	11,53	13,10	14,23	10011032	10,14	0,93	11,07	12,26	13,65
	2.2	11010011	2,50	0,20	2,70			11010012	2,12	0,46	2,58		
FOLG43	2.1	10011521	11,04	0,93	11,97	13,55	14,68	10011522	10,56	0,93	11,49	12,70	14,09
	2.2	11010011	2,51	0,20	2,71			11010012	2,14	0,46	2,60		
FOLG44	2.1	10013521	10,68	0,93	11,61	13,25	14,38	10013522	10,29	0,93	11,22	12,54	13,93
	2.2	11010011	2,57	0,20	2,77			11010012	2,25	0,46	2,71		
FOLG45	2.1	10014031	9,65	0,93	10,58	12,23	13,36	10014032	9,09	0,93	10,02	11,36	12,75
	2.2	11010011	2,58	0,20	2,78			11010012	2,27	0,46	2,73		
FOLG46	2.1	10015531	10,59	0,93	11,52	13,21	14,34	10015532	9,97	0,93	10,90	12,32	13,71
	2.2	11010011	2,62	0,20	2,82			11010012	2,35	0,46	2,81		
FOLG47	2.1	10016031	9,64	0,93	10,57	12,29	13,42	10016032	9,26	0,93	10,19	11,63	13,02
	2.2	11010011	2,65	0,20	2,85			11010012	2,37	0,46	2,83		
FOLG48	2.1	10017531	10,48	0,93	11,41	14,02	15,15	10017532	10,05	0,93	10,98	13,90	15,29
	2.2	11016011	3,54	0,20	3,74			11016012	3,85	0,46	4,31		
FOLG49	2.1	10020021	11,87	0,94	12,81	15,78	16,92	10020022	11,40	0,94	12,34	15,87	17,27
	2.2	11016011	3,91	0,20	4,11			11016012	4,47	0,46	4,93		
FOLG50	2.1	10022021	13,00	0,94	13,94	17,59	18,73	10022022	12,15	0,94	13,09	17,76	19,16
	2.2	11016011	4,59	0,20	4,79			11016012	5,61	0,46	6,07		
FOLG51	2.1	10022521	13,30	0,94	14,24	17,97	19,11	10022522	12,43	0,94	13,37	18,16	19,56
	2.2	11016011	4,67	0,20	4,87			11016012	5,73	0,46	6,19		
FOLG52	2.1	10027021	19,52	0,94	20,46	24,85	25,99	10027022	19,00	0,94	19,94	25,84	27,24
	2.2	11016011	5,33	0,20	5,53			11016012	6,84	0,46	7,30		
FOLG53	2.1	10013531	14,42	1,12	15,54	16,99	18,31	10013532	13,88	1,12	15,00	16,13	17,71
	2.2	11010011	2,57	0,20	2,77			11010012	2,25	0,46	2,71		

FOLG54	2.1	10014041	12,99	1,12	14,11	15,57	16,89	10014042	12,21	1,12	13,33	14,48	16,06
	2.2	11010011	2,58	0,20	2,78			11010012	2,27	0,46	2,73		
FOLG55	2.1	10015531	14,28	1,12	15,40	16,90	18,22	10015532	13,42	1,12	14,54	15,77	17,35
	2.2	11010011	2,62	0,20	2,82			11010012	2,35	0,46	2,81		
FOLG56	2.1	10016031	12,97	1,12	14,09	15,62	16,94	10016032	12,44	1,12	13,56	14,81	16,39
	2.2	11010011	2,65	0,20	2,85			11010012	2,37	0,46	2,83		
FOLG57	2.1	10017531	14,12	1,12	15,24	17,66	18,98	10017532	13,53	1,12	14,65	17,38	18,96
	2.2	11016011	3,54	0,20	3,74			11016012	3,85	0,46	4,31		
FOLG58	2.1	10020031	16,02	1,13	17,15	19,93	21,26	10020032	15,37	1,13	16,50	19,84	21,43
	2.2	11016011	3,91	0,20	4,11			11016012	4,47	0,46	4,93		
FOLG59	2.1	10022031	17,58	1,13	18,71	22,17	23,50	10022032	16,40	1,13	17,53	22,01	23,60
	2.2	11016011	4,59	0,20	4,79			11016012	5,61	0,46	6,07		
FOLG60	2.1	10022531	17,97	1,13	19,10	22,64	23,97	10022532	16,77	1,13	17,90	22,50	24,09
	2.2	11016011	4,67	0,20	4,87			11016012	5,73	0,46	6,19		
FOLG61	2.1	10027031	21,45	1,13	22,58	26,78	28,11	10027032	19,55	1,13	20,68	26,39	27,98
	2.2	11016011	5,33	0,20	5,53			11016012	6,84	0,46	7,30		

FOLG41	2.1	10010311	9,70	0,93	10,63	12,14	13,27	10010032	9,29	0,93	10,22	11,32	12,71
	2.2	11010011	2,44	0,20	2,64			11010012	2,03	0,46	2,49		
FOLG42	2.1	10011031	10,60	0,93	11,53	13,10	14,23	10011032	10,14	0,93	11,07	12,26	13,65
	2.2	11010011	2,50	0,20	2,70			11010012	2,12	0,46	2,58		
FOLG43	2.1	10011521	11,04	0,93	11,97	13,55	14,68	10011522	10,56	0,93	11,49	12,70	14,09
	2.2	11010011	2,51	0,20	2,71			11010012	2,14	0,46	2,60		
FOLG44	2.1	10013521	10,68	0,93	11,61	13,25	14,38	10013522	10,29	0,93	11,22	12,54	13,93
	2.2	11010011	2,57	0,20	2,77			11010012	2,25	0,46	2,71		
FOLG45	2.1	10014031	9,65	0,93	10,58	12,23	13,36	10014032	9,09	0,93	10,02	11,36	12,75
	2.2	11010011	2,58	0,20	2,78			11010012	2,27	0,46	2,73		
FOLG46	2.1	10015531	10,59	0,93	11,52	13,21	14,34	10015532	9,97	0,93	10,90	12,32	13,71
	2.2	11010011	2,62	0,20	2,82			11010012	2,35	0,46	2,81		
FOLG47	2.1	10016031	9,64	0,93	10,57	12,29	13,42	10016032	9,26	0,93	10,19	11,63	13,02
	2.2	11010011	2,65	0,20	2,85			11010012	2,37	0,46	2,83		
FOLG48	2.1	10017531	10,48	0,93	11,41	14,02	15,15	10017532	10,05	0,93	10,98	13,90	15,29
	2.2	11016011	3,54	0,20	3,74			11016012	3,85	0,46	4,31		
FOLG49	2.1	10020021	11,87	0,94	12,81	15,78	16,92	10020022	11,40	0,94	12,34	15,87	17,27
	2.2	11016011	3,91	0,20	4,11			11016012	4,47	0,46	4,93		
FOLG50	2.1	10022021	13,00	0,94	13,94	17,59	18,73	10022022	12,15	0,94	13,09	17,76	19,16
	2.2	11016011	4,59	0,20	4,79			11016012	5,61	0,46	6,07		
FOLG51	2.1	10022521	13,30	0,94	14,24	17,97	19,11	10022522	12,43	0,94	13,37	18,16	19,56
	2.2	11016011	4,67	0,20	4,87			11016012	5,73	0,46	6,19		
FOLG52	2.1	10027021	19,52	0,94	20,46	24,85	25,99	10027022	19,00	0,94	19,94	25,84	27,24
	2.2	11016011	5,33	0,20	5,53			11016012	6,84	0,46	7,30		
FOLG53	2.1	10013531	14,42	1,12	15,54	16,99	18,31	10013532	13,88	1,12	15,00	16,13	17,71
	2.2	11010011	2,57	0,20	2,77			11010012	2,25	0,46	2,71		
FOLG54	2.1	10014041	12,99	1,12	14,11	15,57	16,89	10014042	12,21	1,12	13,33	14,48	16,06
	2.2	11010011	2,58	0,20	2,78			11010012	2,27	0,46	2,73		

FOLG55	2.1	10015531	14,28	1,12	15,40	16,90	18,22	10015532	13,42	1,12	14,54	15,77	17,35
	2.2	11010011	2,62	0,20	2,82			11010012	2,35	0,46	2,81		
FOLG56	2.1	10016031	12,97	1,12	14,09	15,62	16,94	10016032	12,44	1,12	13,56	14,81	16,39
	2.2	11010011	2,65	0,20	2,85			11010012	2,37	0,46	2,83		
FOLG57	2.1	10017531	14,12	1,12	15,24	17,66	18,98	10017532	13,53	1,12	14,65	17,38	18,96
	2.2	11016011	3,54	0,20	3,74			11016012	3,85	0,46	4,31		
FOLG58	2.1	10020031	16,02	1,13	17,15	19,93	21,26	10020032	15,37	1,13	16,50	19,84	21,43
	2.2	11016011	3,91	0,20	4,11			11016012	4,47	0,46	4,93		
FOLG59	2.1	10022031	17,58	1,13	18,71	22,17	23,50	10022032	16,40	1,13	17,53	22,01	23,60
	2.2	11016011	4,59	0,20	4,79			11016012	5,61	0,46	6,07		
FOLG60	2.1	10022531	17,97	1,13	19,10	22,64	23,97	10022532	16,77	1,13	17,90	22,50	24,09
	2.2	11016011	4,67	0,20	4,87			11016012	5,73	0,46	6,19		
FOLG61	2.1	10027031	21,45	1,13	22,58	26,78	28,11	10027032	19,55	1,13	20,68	26,39	27,98
	2.2	11016011	5,33	0,20	5,53			11016012	6,84	0,46	7,30		

## ALOJAMENTOS PARA PARAFUSOS

Elemento	Op.	1.1730						1.2311					
		Ferramenta	Tempo de Corte (s)	Tempo Movimento Rápido (s)	Tempo Total (s)	Tempo Total Corte (s)	Tempo Total Elemento (s)	Ferramenta	Tempo de Corte (s)	Tempo Movimento Rápido (s)	Tempo Total (s)	Tempo Total Corte (s)	Tempo Total Elemento (s)
ALOJ01	3.1	10006011	2,34	0,68	3,02			10006012	2,39	0,68	3,07		
	3.2	13010011	3,59	0,48	4,07	7,75	9,37	13010012	4,46	0,48	4,94	8,84	10,46
	3.3	11010011	1,82	0,46	2,28			11010012	1,99	0,46	2,45		
ALOJ02	3.1	10007011	2,58	0,68	3,26			10007012	2,62	0,68	3,30		
	3.2	13011011	4,11	0,49	4,60	8,54	10,17	13011012	5,15	0,49	5,64	9,81	11,44
	3.3	11010011	1,85	0,46	2,31			11010012	2,04	0,46	2,50		
ALOJ03	3.1	10009011	2,82	0,68	3,50			10009012	2,75	0,68	3,43		
	3.2	13014011	2,03	0,50	2,53	6,81	8,45	13014012	2,06	0,50	2,56	7,04	8,68
	3.3	11010011	1,96	0,46	2,42			11010012	2,23	0,46	2,69		
ALOJ04	3.1	10011011	5,94	0,69	6,63			10011012	5,71	0,69	6,40		
	3.2	13017011	2,41	0,51	2,92	11,22	12,88	13017012	2,46	0,51	2,97	11,9	13,56
	3.3	11016011	2,87	0,46	3,33			11016012	3,73	0,46	4,19		
ALOJ05	3.1	10013511	6,01	0,69	6,70			10013512	5,80	0,69	6,49		
	3.2	13021011	2,96	0,52	3,48	12,53	14,21	13021012	3,04	0,52	3,56	13,65	15,33
	3.3	11016011	3,56	0,47	4,03			11016012	4,81	0,47	5,28		
ALOJ06	3.1	10015511	5,98	0,69	6,67			10015512	5,65	0,69	6,34		
	3.2	13023011	3,22	0,53	3,75	13,34	15,02	13023012	3,31	0,53	3,84	14,81	16,49
	3.3	11016011	4,14	0,46	4,60			11016012	5,85	0,46	6,31		
ALOJ07	3.1	10017511	6,89	0,70	7,59			10017512	6,72	0,70	7,42		
	3.2	13026011	3,81	0,54	4,35	15,28	16,98	13026012	3,93	0,54	4,47	17,24	18,94
	3.3	11016011	4,58	0,46	5,04			11016012	6,59	0,46	7,05		
ALOJ08	3.1	10022011	7,41	0,70	8,11	18,03	19,75	10022012	7,22	0,70	7,92	21,2	22,92

	3.2	13032011	4,77	0,56	5,33			13032012	5,26	0,56	5,82		
	3.3	11016011	5,85	0,46	6,31			11016012	8,72	0,46	9,18		
	3.1	10027011	7,84	0,70	8,54			10027012	7,64	0,70	8,34		
ALOJ09	3.2	13037011	7,97	0,59	8,56	22,39	24,14	13037012	10,30	0,59	10,89	27,89	29,64
	3.3	11016011	6,58	0,46	7,04			11016012	9,95	0,46	10,41		
	3.1	10009011	3,51	0,78	4,29			10009012	3,42	0,78	4,20		
ALOJ10	3.2	13014011	2,03	0,50	2,53	7,50	9,24	13014012	2,06	0,50	2,56	7,71	9,45
	3.3	11010011	1,96	0,46	2,42			11010012	2,23	0,46	2,69		
	3.1	10011021	7,80	0,78	8,58			10011022	7,48	0,78	8,26		
ALOJ11	3.2	13017011	2,41	0,51	2,92	13,08	14,83	13017012	2,46	0,51	2,97	13,67	15,42
	3.3	11016011	2,87	0,46	3,33			11016012	3,73	0,46	4,19		
	3.1	10013511	7,88	0,78	8,66			10013512	7,60	0,78	8,38		
ALOJ12	3.2	13021011	2,96	0,52	3,48	14,4	16,17	13021012	3,04	0,52	3,56	15,45	17,22
	3.3	11016011	3,56	0,47	4,03			11016012	4,81	0,47	5,28		
	3.1	10015521	7,82	0,79	8,61			10015522	7,38	0,79	8,17		
ALOJ13	3.2	13023011	3,22	0,53	3,75	15,18	16,96	13023012	3,31	0,53	3,84	16,54	18,32
	3.3	11016011	4,14	0,46	4,60			11016012	5,85	0,46	6,31		
	3.1	10017521	7,75	0,79	8,54			10017522	7,45	0,79	8,24		
ALOJ14	3.2	13026011	3,81	0,54	4,35	16,14	17,93	13026012	3,93	0,54	4,47	17,97	19,76
	3.3	11016011	4,58	0,46	5,04			11016012	6,59	0,46	7,05		
	3.1	10022021	9,58	0,79	10,37			10022022	8,97	0,79	9,76		
ALOJ15	3.2	13032011	4,77	0,56	5,33	20,2	22,01	13032012	5,26	0,56	5,82	22,95	24,76
	3.3	11016011	5,85	0,46	6,31			11016012	8,72	0,46	9,18		
	3.1	10027021	14,28	0,80	15,08			10027022	13,90	0,80	14,70		
ALOJ16	3.2	13037011	7,97	0,59	8,56	28,83	30,68	13037012	10,30	0,59	10,89	34,15	36
	3.3	11016011	6,58	0,46	7,04			11016012	9,95	0,46	10,41		
	3.1	10011021	9,66	0,88	10,54			10011022	9,25	0,88	10,13		
ALOJ17	3.2	13017011	2,41	0,51	2,92	14,94	16,79	13017012	2,46	0,51	2,97	15,44	17,29
	3.3	11016011	2,87	0,46	3,33			11016012	3,73	0,46	4,19		

ALOJ18	3.1	10013521	9,74	0,88	10,62			10013522	9,39	0,88	10,27		
	3.2	13021011	2,96	0,52	3,48	16,26	18,13	13021012	3,04	0,52	3,56	17,24	19,11
	3.3	11016011	3,56	0,47	4,03			11016012	4,81	0,47	5,28		
ALOJ19	3.1	10015531	9,67	0,88	10,55			10015532	9,11	0,88	9,99		
	3.2	13023011	3,22	0,53	3,75	17,03	18,9	13023012	3,31	0,53	3,84	18,27	20,14
	3.3	11016011	4,14	0,46	4,60			11016012	5,85	0,46	6,31		
ALOJ20	3.1	10017521	9,57	0,88	10,45			10017522	9,18	0,88	10,06		
	3.2	13026011	3,81	0,54	4,35	17,96	19,84	13026012	3,93	0,54	4,47	19,7	21,58
	3.3	11016011	4,58	0,46	5,04			11016012	6,59	0,46	7,05		
ALOJ21	3.1	10022021	11,86	0,89	12,75			10022022	11,09	0,89	11,98		
	3.2	13032011	4,77	0,56	5,33	22,48	24,39	13032012	5,26	0,56	5,82	25,07	26,98
	3.3	11016011	5,85	0,46	6,31			11016012	8,72	0,46	9,18		
ALOJ22	3.1	10027021	17,77	0,89	18,66			10027022	17,30	0,89	18,19		
	3.2	13037011	7,97	0,59	8,56	32,32	34,26	13037012	10,30	0,59	10,89	37,55	39,49
	3.3	11016011	6,58	0,46	7,04			11016012	9,95	0,46	10,41		
ALOJ23	3.1	10011031	10,60	0,93	11,53			10011032	10,14	0,93	11,07		
	3.2	13017011	2,41	0,51	2,92	15,88	17,78	13017012	2,46	0,51	2,97	16,33	18,23
	3.3	11016011	2,87	0,46	3,33			11016012	3,73	0,46	4,19		
ALOJ24	3.1	10013521	10,68	0,93	11,61			10013522	10,29	0,93	11,22		
	3.2	13021011	2,96	0,52	3,48	17,2	19,12	13021012	3,04	0,52	3,56	18,14	20,06
	3.3	11016011	3,56	0,47	4,03			11016012	4,81	0,47	5,28		
ALOJ25	3.1	10015531	10,59	0,93	11,52			10015532	9,97	0,93	10,90		
	3.2	13023011	3,22	0,53	3,75	17,95	19,87	13023012	3,31	0,53	3,84	19,13	21,05
	3.3	11016011	4,14	0,46	4,60			11016012	5,85	0,46	6,31		
ALOJ26	3.1	10017531	10,48	0,93	11,41			10017532	10,05	0,93	10,98		
	3.2	13026011	3,81	0,54	4,35	18,87	20,8	13026012	3,93	0,54	4,47	20,57	22,5
	3.3	11016011	4,58	0,46	5,04			11016012	6,59	0,46	7,05		
ALOJ27	3.1	10022021	13,00	0,94	13,94	23,62	25,58	10022022	12,15	0,94	13,09	26,13	28,09
	3.2	13032011	4,77	0,56	5,33			13032012	5,26	0,56	5,82		

	3.3	11016011	5,85	0,46	6,31			11016012	8,72	0,46	9,18		
	3.1	10027021	19,52	0,94	20,46			10027022	19,00	0,94	19,94		
ALOJ28	3.2	13037011	7,97	0,59	8,56	34,07	36,06	13037012	10,30	0,59	10,89	39,25	41,24
	3.3	11016011	6,58	0,46	7,04			11016012	9,95	0,46	10,41		
	3.1	10013531	14,42	1,12	15,54			10013532	13,88	1,12	15,00		
ALOJ29	3.2	13021011	2,96	0,52	3,48	20,94	23,05	13021012	3,04	0,52	3,56	21,73	23,84
	3.3	11016011	3,56	0,47	4,03			11016012	4,81	0,47	5,28		
	3.1	10015531	14,28	1,12	15,40			10015532	13,42	1,12	14,54		
ALOJ30	3.2	13023011	3,22	0,53	3,75	21,64	23,75	13023012	3,31	0,53	3,84	22,58	24,69
	3.3	11016011	4,14	0,46	4,60			11016012	5,85	0,46	6,31		
	3.1	10017531	14,12	1,12	15,24			10017532	13,53	1,12	14,65		
ALOJ31	3.2	13026011	3,81	0,54	4,35	22,51	24,63	13026012	3,93	0,54	4,47	24,05	26,17
	3.3	11016011	4,58	0,46	5,04			11016012	6,59	0,46	7,05		
	3.1	10022031	17,58	1,13	18,71			10022032	16,40	1,13	17,53		
ALOJ32	3.2	13032011	4,77	0,56	5,33	28,2	30,35	13032012	5,26	0,56	5,82	30,38	32,53
	3.3	11016011	5,85	0,46	6,31			11016012	8,72	0,46	9,18		
	3.1	10027031	21,45	1,13	22,58			10027032	19,55	1,13	20,68		
ALOJ33	3.2	13037011	7,97	0,59	8,56	36	38,18	13037012	10,30	0,59	10,89	39,8	41,98
	3.3	11016011	6,58	0,46	7,04			11016012	9,95	0,46	10,41		

## GUIAS

Elemento	Op.	1.1730						1.2311					
		Ferramenta	Tempo de Corte (s)	Tempo Movimento Rápido (s)	Tempo Total (s)	Tempo Total Corte (s)	Tempo Total Elemento (s)	Ferramenta	Tempo de Corte (s)	Tempo Movimento Rápido (s)	Tempo Total (s)	Tempo Total Corte (s)	Tempo Total Elemento (s)
GUIA01	6.1	10027011	7,84	0,70	8,54	74,32	76,44	10027012	7,64	0,70	8,34	68,07	69,95
	6.2	15025011	12,92	0,30	13,22			15025012	20,52	0,30	20,82		
	6.3	11016011	5,86	0,44	6,30			11016012	6,89	0,20	7,09		
	6.4	14030011	47,70	0,68	48,38			14030012	33,02	0,68	33,70		
GUIA02	6.1	10027011	7,84	0,70	8,54	78,79	80,91	10027012	7,64	0,70	8,34	75,52	77,4
	6.2	15025011	17,09	0,30	17,39			15025012	27,48	0,30	27,78		
	6.3	11016011	6,16	0,44	6,60			11016012	7,38	0,20	7,58		
	6.4	14030011	47,70	0,68	48,38			14030012	33,02	0,68	33,70		
GUIA03	6.1	10038011	9,71	0,71	10,42	63,78	65,67	10038012	9,46	0,71	10,17	69,45	71,34
	6.2	15032011	13,43	0,30	13,73			15032012	24,26	0,30	24,56		
	6.3	11016011	7,44	0,20	7,64			11016012	9,36	0,20	9,56		
	6.4	14040011	33,20	0,68	33,88			14040012	26,37	0,68	27,05		
GUIA04	6.1	10038011	9,71	0,71	10,42	66,82	68,71	10038012	9,46	0,71	10,17	75,43	77,32
	6.2	15032011	16,18	0,30	16,48			15032012	29,75	0,30	30,05		
	6.3	11016011	7,73	0,20	7,93			11016012	9,85	0,20	10,05		
	6.4	14040011	33,20	0,68	33,88			14040012	26,37	0,68	27,05		
GUIA05	6.1	10045011	11,54	0,72	12,26	67,73	69,63	10045012	11,23	0,72	11,95	71,92	73,82
	6.2	15040011	14,08	0,30	14,38			15040012	21,85	0,30	22,15		
	6.3	11016011	8,91	0,20	9,11			11016012	12,47	0,20	12,67		
	6.4	14040011	33,20	0,68	33,88			14040012	26,37	0,68	27,05		

GUIA06	6.1	10045011	11,54	0,72	12,26	69,31	71,21	10045012	11,23	0,72	11,95	76,09	77,99
	6.2	15040011	16,82	0,30	17,12			15040012	25,79	0,30	26,09		
	6.3	11016011	9,20	0,20	9,40			11016012	12,96	0,20	13,16		
	6.4	14050011	31,75	0,68	32,43			14050012	26,11	0,68	26,79		
GUIA07	6.1	10045011	11,54	0,72	12,26	80,07	81,97	10045012	11,23	0,72	11,95	94,04	95,94
	6.2	15040011	26,40	0,30	26,70			15040012	41,77	0,30	42,07		
	6.3	11016011	10,38	0,20	10,58			11016012	14,93	0,20	15,13		
	6.4	14050011	31,75	0,68	32,43			14050012	26,11	0,68	26,79		
GUIA08	6.1	10027021	14,28	0,80	15,08	101,76	104,17	10027022	13,90	0,80	14,70	91,46	93,63
	6.2	15025011	15,70	0,40	16,10			15025012	25,16	0,40	25,56		
	6.3	11016011	5,86	0,44	6,30			11016012	6,89	0,20	7,09		
	6.4	14030011	65,92	0,77	66,69			14030012	45,51	0,77	46,28		
GUIA09	6.1	10027021	14,28	0,80	15,08	107,14	109,55	10027022	13,90	0,80	14,70	100,42	102,59
	6.2	15025011	20,78	0,40	21,18			15025012	33,63	0,40	34,03		
	6.3	11016011	6,16	0,44	6,60			11016012	7,38	0,20	7,58		
	6.4	14030011	65,92	0,77	66,69			14030012	45,51	0,77	46,28		
GUIA10	6.1	10038011	12,73	0,80	13,53	81,68	83,85	10038012	12,38	0,80	13,18	82,92	85,09
	6.2	15032011	15,74	0,40	16,14			15032012	24,91	0,40	25,31		
	6.3	11016011	7,44	0,20	7,64			11016012	9,36	0,20	9,56		
	6.4	14040011	45,77	0,77	46,54			14040012	36,27	0,77	37,04		
GUIA11	6.1	10038011	12,73	0,80	13,53	85,18	87,35	10038012	12,38	0,80	13,18	88,67	90,84
	6.2	15032011	18,95	0,40	19,35			15032012	30,17	0,40	30,57		
	6.3	11016011	7,73	0,20	7,93			11016012	9,85	0,20	10,05		
	6.4	14040011	45,77	0,77	46,54			14040012	36,27	0,77	37,04		
GUIA12	6.1	10045011	15,11	0,81	15,92	84,45	86,63	10045012	14,70	0,81	15,51	89,12	91,3
	6.2	15040011	16,68	0,40	17,08			15040012	26,04	0,40	26,44		
	6.3	11016011	8,91	0,20	9,11			11016012	12,47	0,20	12,67		
	6.4	14050011	43,75	0,77	44,52			14050012	35,91	0,77	36,68		

GUIA13	6.1	10045011	15,11	0,81	15,92	87,65	89,83	10045012	14,70	0,81	15,51	94,31	96,49
	6.2	15040011	19,59	0,40	19,99			15040012	30,74	0,40	31,14		
	6.3	11016011	9,20	0,20	9,40			11016012	12,96	0,20	13,16		
	6.4	14050011	43,75	0,77	44,52			14050012	35,91	0,77	36,68		
GUIA14	6.1	10045011	15,11	0,81	15,92	100,64	102,82	10045012	14,70	0,81	15,51	115,4	117,58
	6.2	15040011	31,40	0,40	31,80			15040012	49,86	0,40	50,26		
	6.3	11016011	10,38	0,20	10,58			11016012	14,93	0,20	15,13		
	6.4	14050011	43,75	0,77	44,52			14050012	35,91	0,77	36,68		
GUIA15	6.1	10027021	17,77	0,89	18,66	126,26	128,95	10027022	17,30	0,89	18,19	112,01	114,46
	6.2	15025011	18,49	0,49	18,98			15025012	29,81	0,49	30,30		
	6.3	11016011	5,86	0,44	6,30			11016012	6,89	0,20	7,09		
	6.4	14030011	84,14	0,87	85,01			14030012	58,01	0,87	58,88		
GUIA16	6.1	10027021	17,77	0,89	18,66	132,54	135,23	10027022	17,30	0,89	18,19	122,47	124,92
	6.2	15025011	24,47	0,49	24,96			15025012	39,78	0,49	40,27		
	6.3	11016011	6,16	0,44	6,60			11016012	7,38	0,20	7,58		
	6.4	14030011	84,14	0,87	85,01			14030012	58,01	0,87	58,88		
GUIA17	6.1	10038021	15,74	0,90	16,64	99,58	102,04	10038022	15,31	0,90	16,21	99,55	102,01
	6.2	15032011	18,06	0,49	18,55			15032012	28,71	0,49	29,20		
	6.3	11016011	7,44	0,20	7,64			11016012	9,36	0,20	9,56		
	6.4	14040011	58,34	0,87	59,21			14040012	46,17	0,87	47,04		
GUIA18	6.1	10038021	15,74	0,90	16,64	103,53	105,99	10038022	15,31	0,90	16,21	106,06	108,52
	6.2	15032011	21,72	0,49	22,21			15032012	34,73	0,49	35,22		
	6.3	11016011	7,73	0,20	7,93			11016012	9,85	0,20	10,05		
	6.4	14040011	58,34	0,87	59,21			14040012	46,17	0,87	47,04		
GUIA19	6.1	10045011	18,68	0,91	19,59	102,62	105,09	10045012	18,17	0,91	19,08	107,05	109,52
	6.2	15040011	19,27	0,49	19,76			15040012	30,24	0,49	30,73		
	6.3	11016011	8,91	0,20	9,11			11016012	12,47	0,20	12,67		
	6.4	14050011	55,76	0,87	56,63			14040012	46,17	0,87	47,04		

GUIA20	6.1	10045011	18,68	0,91	19,59	106,29	108,76	10045012	18,17	0,91	19,08	112,54	115,01
	6.2	15040011	22,65	0,49	23,14			15040012	35,70	0,49	36,19		
	6.3	11016011	9,20	0,20	9,40			11016012	12,96	0,20	13,16		
	6.4	14050011	55,76	0,87	56,63			14050012	45,71	0,87	46,58		
GUIA21	6.1	10045011	18,68	0,91	19,59	121,22	123,69	10045012	18,17	0,91	19,08	136,75	139,22
	6.2	15040011	36,40	0,49	36,89			15040012	57,94	0,49	58,43		
	6.3	11016011	10,38	0,20	10,58			11016012	14,93	0,20	15,13		
	6.4	14050011	55,76	0,87	56,63			14050012	45,71	0,87	46,58		
GUIA22	6.1	10027021	19,52	0,94	20,46	138,52	141,36	10027022	19,00	0,94	19,94	122,28	124,88
	6.2	15025011	19,88	0,54	20,42			15025012	32,13	0,54	32,67		
	6.3	11016011	5,86	0,44	6,30			11016012	6,89	0,20	7,09		
	6.4	14030011	93,26	0,92	94,18			14030012	64,26	0,92	65,18		
GUIA23	6.1	10027021	19,52	0,94	20,46	145,26	148,1	10027022	19,00	0,94	19,94	133,49	136,09
	6.2	15025011	26,32	0,54	26,86			15025012	42,85	0,54	43,39		
	6.3	11016011	6,16	0,44	6,60			11016012	7,38	0,20	7,58		
	6.4	14030011	93,26	0,92	94,18			14030012	64,26	0,92	65,18		
GUIA24	6.1	10038021	17,25	0,95	18,20	108,53	111,14	10038022	16,77	0,95	17,72	107,86	110,47
	6.2	15032011	19,22	0,54	19,76			15032012	30,62	0,54	31,16		
	6.3	11016011	7,44	0,20	7,64			11016012	9,36	0,20	9,56		
	6.4	14040011	64,62	0,92	65,54			14040012	51,11	0,92	52,03		
GUIA25	6.1	10038021	17,25	0,95	18,20	112,71	115,32	10038022	16,77	0,95	17,72	114,74	117,35
	6.2	15032011	23,11	0,54	23,65			15032012	37,01	0,54	37,55		
	6.3	11016011	7,73	0,20	7,93			11016012	9,85	0,20	10,05		
	6.4	14040011	64,62	0,92	65,54			14040012	51,11	0,92	52,03		
GUIA26	6.1	10045021	28,83	0,96	29,79	120,07	122,69	10045022	32,14	0,96	33,10	127,56	130,18
	6.2	15040011	20,57	0,54	21,11			15040012	32,34	0,54	32,88		
	6.3	11016011	8,91	0,20	9,11			11016012	12,47	0,20	12,67		
	6.4	14050011	61,76	0,92	62,68			14050012	50,61	0,92	51,53		

GUIA27	6.1	10045021	28,83	0,96	29,79	123,97	126,59	10045022	32,14	0,96	33,10	133,89	136,51
	6.2	15040011	24,18	0,54	24,72			15040012	38,18	0,54	38,72		
	6.3	11016011	9,20	0,20	9,40			11016012	12,96	0,20	13,16		
	6.4	14050011	61,76	0,92	62,68			14050012	50,61	0,92	51,53		
GUIA28	6.1	10045021	28,83	0,96	29,79	139,87	142,49	10045022	32,14	0,96	33,10	159,67	162,29
	6.2	15040011	38,90	0,54	39,44			15040012	61,99	0,54	62,53		
	6.3	11016011	10,38	0,20	10,58			11016012	14,93	0,20	15,13		
	6.4	14050011	61,76	0,92	62,68			14050012	50,61	0,92	51,53		
GUIA29	6.1	10027031	21,45	1,13	22,58	182,47	185,88	10027032	19,55	1,13	20,68	157,09	160,26
	6.2	15025011	25,46	0,73	26,19			15025012	41,41	0,73	42,14		
	6.3	11016011	5,86	0,44	6,30			11016012	6,89	0,20	7,09		
	6.4	14030011	129,70	1,11	130,81			14030012	89,24	1,11	90,35		
GUIA30	6.1	10027031	21,45	1,13	22,58	191	194,41	10027032	19,55	1,13	20,68	171,31	174,48
	6.2	15025011	33,69	0,73	34,42			15025012	55,14	0,73	55,87		
	6.3	11016011	6,16	0,44	6,60			11016012	7,38	0,20	7,58		
	6.4	14030011	129,70	1,11	130,81			14030012	89,24	1,11	90,35		
GUIA31	6.1	10038031	32,90	1,14	34,04	153,94	157,12	10038032	31,90	1,14	33,04	150,41	153,59
	6.2	15032011	23,85	0,73	24,58			15032012	38,24	0,73	38,97		
	6.3	11016011	7,44	0,20	7,64			11016012	9,36	0,20	9,56		
	6.4	14040011	89,75	1,11	90,86			14040012	70,91	1,11	72,02		
GUIA32	6.1	10038031	32,90	1,14	34,04	159,04	162,22	10038032	31,90	1,14	33,04	158,78	161,96
	6.2	15032011	28,66	0,73	29,39			15032012	46,12	0,73	46,85		
	6.3	11016011	7,73	0,20	7,93			11016012	9,85	0,20	10,05		
	6.4	14040011	89,75	1,11	90,86			14040012	70,91	1,11	72,02		
GUIA33	6.1	10045021	39,04	1,15	40,19	159,47	162,66	10045022	43,57	1,15	44,72	166,98	170,17
	6.2	15040011	25,76	0,73	26,49			15040012	40,73	0,73	41,46		
	6.3	11016011	8,91	0,20	9,11			11016012	12,47	0,20	12,67		
	6.4	14050011	85,76	1,11	86,87			14050012	70,21	1,11	71,32		

GUIA34	6.1	10045021	39,04	1,15	40,19	164,32	167,51	10045022	43,57	1,15	44,72	174,83	178,02
	6.2	15040011	30,32	0,73	31,05			15040012	48,09	0,73	48,82		
	6.3	11016011	9,20	0,20	9,40			11016012	12,96	0,20	13,16		
	6.4	14050011	85,76	1,11	86,87			14050012	70,21	1,11	71,32		
GUIA35	6.1	10045021	39,04	1,15	40,19	184,08	187,27	10045022	43,57	1,15	44,72	206,87	210,06
	6.2	15040011	48,90	0,73	49,63			15040012	78,16	0,73	78,89		
	6.3	11016011	10,38	0,20	10,58			11016012	14,93	0,20	15,13		
	6.4	14050011	85,76	1,11	86,87			14050012	70,21	1,11	71,32		

### CAIXAS CIRCULARES PASSANTES

Elemento	Op.	1.1730					1.2311						
		Ferramenta	Tempo de Corte (s)	Tempo Movimento Rápido (s)	Tempo Total (s)	Tempo Total Corte (s)	Tempo Total Elemento (s)	Ferramenta	Tempo de Corte (s)	Tempo Movimento Rápido (s)	Tempo Total (s)	Tempo Total Corte (s)	Tempo Total Elemento (s)
CIRP01	8.1	10045011	11,54	0,72	12,26	113,59	116,17	10045012	11,23	0,72	11,95	140,65	143,23
	8.2	15032021	75,31	0,30	75,61			15032022	95,25	0,30	95,55		
	8.3	11016011	10,82	0,20	11,02			11016012	16,64	0,20	16,84		
	8.4	16020011	15,92	1,36	17,28			16020012	17,53	1,36	18,89		
CIRP02	8.1	10045011	11,54	0,72	12,26	130,55	133,13	10045012	11,23	0,72	11,95	178,55	181,13
	8.2	15040021	88,92	0,30	89,22			15040022	127,58	0,30	127,88		
	8.3	11016011	13,33	0,20	13,53			11016012	20,84	0,20	21,04		
	8.4	16020011	16,76	1,36	18,12			16020012	18,90	1,36	20,26		
CIRP03	8.1	10045011	11,54	0,72	12,26	178,3	180,88	10045012	11,23	0,72	11,95	248,3	250,88
	8.2	15040021	132,74	0,30	133,04			15040022	190,78	0,30	191,08		
	8.3	11016011	16,27	0,20	16,47			11016012	25,77	0,20	25,97		
	8.4	16020011	17,75	1,36	19,11			16020012	20,52	1,36	21,88		

CIRP04	8.1	10045011	15,11	0,81	15,92	155,94	158,89	10045012	14,70	0,81	15,51	199,21	202,16
	8.2	15032021	88,83	0,40	89,23			15032022	112,42	0,40	112,82		
	8.3	11016011	10,82	0,20	11,02			11016012	16,64	0,20	16,84		
	8.4	16016011	41,18	1,54	42,72			16016012	55,45	1,54	56,99		
CIRP05	8.1	10045011	15,11	0,81	15,92	182,34	185,29	10045012	14,70	0,81	15,51	254,23	257,18
	8.2	15040021	104,28	0,40	104,68			15040022	149,74	0,40	150,14		
	8.3	11016011	13,33	0,20	13,53			11016012	20,84	0,20	21,04		
	8.4	16016011	49,62	1,54	51,16			16016012	68,95	1,54	70,49		
CIRP06	8.1	10045011	15,11	0,81	15,92	245,63	248,58	10045012	14,70	0,81	15,51	347,61	350,56
	8.2	15040021	155,75	0,40	156,15			15040022	223,98	0,40	224,38		
	8.3	11016011	16,27	0,20	16,47			11016012	25,77	0,20	25,97		
	8.4	16016011	58,50	1,54	60,04			16016012	83,16	1,54	84,70		
CIRP07	8.1	10045011	18,68	0,91	19,59	176,29	179,64	10045012	18,17	0,91	19,08	223,60	226,95
	8.2	15032021	102,35	0,49	102,84			15032022	129,59	0,49	130,08		
	8.3	11016011	10,82	0,20	11,02			11016012	16,64	0,20	16,84		
	8.4	16020021	44,44	1,75	46,19			16020022	59,20	1,75	60,95		
CIRP08	8.1	10045011	18,68	0,91	19,59	203,47	206,82	10045012	18,17	0,91	19,08	282,2	285,55
	8.2	15040021	119,65	0,49	120,14			15040022	171,91	0,49	172,40		
	8.3	11016011	13,33	0,20	13,53			11016012	20,84	0,20	21,04		
	8.4	16020021	51,81	1,75	53,56			16020022	71,28	1,75	73,03		
CIRP09	8.1	10045011	18,68	0,91	19,59	273,33	276,68	10045012	18,17	0,91	19,08	385,19	388,54
	8.2	15040021	178,77	0,49	179,26			15040022	257,17	0,49	257,66		
	8.3	11016011	16,27	0,20	16,47			11016012	25,77	0,20	25,97		
	8.4	16020021	59,61	1,75	61,36			16020022	84,08	1,75	85,83		
CIRP10	8.1	10045021	28,83	0,96	29,79	195,20	198,74	10045022	32,14	0,96	33,10	248,16	251,70
	8.2	15032021	109,11	0,54	109,65			15032022	138,18	0,54	138,72		
	8.3	11016011	10,82	0,20	11,02			11016012	16,64	0,20	16,84		
	8.4	16020021	46,44	1,84	48,28			16020022	61,20	1,84	63,04		

CIRP11	8.1	10045021	28,83	0,96	29,79	222,44	225,98	10045022	32,14	0,96	33,10	308,37	311,91
	8.2	15040021	127,34	0,54	127,88			15040022	183,53	0,54	184,07		
	8.3	11016011	13,33	0,20	13,53			11016012	20,84	0,20	21,04		
	8.4	16020021	52,94	1,84	54,78			16020022	71,86	1,84	73,70		
CIRP12	8.1	10045021	28,83	0,96	29,79	297,85	301,39	10045022	32,14	0,96	33,10	419,18	422,72
	8.2	15040021	190,28	0,54	190,82			15040022	273,77	0,54	274,31		
	8.3	11016011	16,27	0,20	16,47			11016012	25,77	0,20	25,97		
	8.4	16020021	62,47	1,84	64,31			16020022	87,50	1,84	89,34		
CIRP13	8.1	10045021	39,04	1,15	40,19	236,91	241,27	10045022	43,57	1,15	44,72	296,89	301,25
	8.2	15032021	136,15	0,73	136,88			15032022	172,52	0,73	173,25		
	8.3	11016011	10,82	0,20	11,02			11016012	16,64	0,20	16,84		
	8.4	16032011	50,90	2,28	53,18			16032012	64,16	2,28	66,44		
CIRP14	8.1	10045021	39,04	1,15	40,19	268,52	272,88	10045022	43,57	1,15	44,72	367,97	372,33
	8.2	15040021	158,07	0,73	158,80			15040022	227,31	0,73	228,04		
	8.3	11016011	13,33	0,20	13,53			11016012	20,84	0,20	21,04		
	8.4	16032011	58,08	2,28	60,36			16032012	76,25	2,28	78,53		
CIRP15	8.1	10045021	39,04	1,15	40,19	358,16	362,52	10045022	43,57	1,15	44,72	499,96	504,32
	8.2	15040021	236,31	0,73	237,04			15040022	340,16	0,73	340,89		
	8.3	11016011	16,27	0,20	16,47			11016012	25,77	0,20	25,97		
	8.4	16032011	66,54	2,28	68,82			16032012	90,46	2,28	92,74		

## ROSCAS MÉTRICAS

Elemento	Op.	1.1730						1.2311					
		Ferramenta	Tempo de Corte (s)	Tempo Movimento Rápido (s)	Tempo Total (s)	Tempo Total Corte (s)	Tempo Total Elemento (s)	Ferramenta	Tempo de Corte (s)	Tempo Movimento Rápido (s)	Tempo Total (s)	Tempo Total Corte (s)	Tempo Total Elemento (s)
ROSC01	1.1	10002511	2,04	0,49	2,53			10002512	2,42	0,49	2,91		
	1.2	11010011	2,05	0,43	2,48	5,37	6,77	11010012	2,05	0,43	2,48	5,84	7,24
	1.3	12003011	1,28	0,48	1,76			12003012	1,37	0,48	1,85		
ROSC02	1.1	10003311	1,38	0,51	1,89			10003312	1,38	0,51	1,89		
	1.2	11010011	2,07	0,43	2,50	4,77	6,2	11010012	2,09	0,43	2,52	4,89	6,32
	1.3	12004011	1,32	0,49	1,81			12004012	1,42	0,49	1,91		
ROSC03	1.1	10004211	1,44	0,52	1,96			10004212	1,43	0,52	1,95		
	1.2	11010011	2,14	0,44	2,58	4,98	6,44	11010012	2,16	0,44	2,6	5,12	6,58
	1.3	12005011	1,40	0,50	1,90			12005012	1,53	0,50	2,03		
ROSC04	1.1	10005011	1,51	0,53	2,04			10005012	1,50	0,53	2,03		
	1.2	11010011	2,20	0,44	2,64	5,15	6,63	11010012	2,27	0,44	2,71	5,35	6,83
	1.3	12006011	1,44	0,51	1,95			12006012	1,58	0,51	2,09		
ROSC05	1.1	10006811	1,63	0,56	2,19			10006812	1,78	0,56	2,34		
	1.2	11010011	2,20	0,44	2,64	5,41	6,94	11010012	2,42	0,44	2,86	5,96	7,49
	1.3	12008011	1,58	0,53	2,11			12008012	1,76	0,53	2,29		
ROSC06	1.1	10008511	1,98	0,58	2,56			10008512	1,97	0,58	2,55		
	1.2	11010011	2,33	0,44	2,77	6,02	7,59	11010012	2,56	0,44	3	6,47	8,04
	1.3	12010011	1,71	0,55	2,26			12010012	1,94	0,55	2,49		
ROSC07	1.1	10010211	2,23	0,60	2,83			10010212	2,21	0,60	2,81		
	1.2	11010011	2,47	0,44	2,91	6,55	8,16	11010012	2,68	0,44	3,12	7,02	8,63
	1.3	12012011	1,85	0,57	2,42			12012012	2,13	0,57	2,7		

ROSC08	1.1	10014011	5,29	0,65	5,94			10014012	5,45	0,66	6,11		
	1.2	11010011	2,58	0,44	3,02	10,5	12,2	11010012	2,87	0,44	3,31	11,48	13,19
	1.3	12016011	2,63	0,61	3,24			12016012	3,16	0,61	3,77		
ROSC09	1.1	10017511	7,02	0,71	7,73			10017512	6,84	0,71	7,55		
	1.2	11016011	3,63	0,44	4,07	13,59	15,39	11016012	4,59	0,44	5,03	15	16,8
	1.3	12020011	2,94	0,65	3,59			12020012	3,57	0,65	4,22		
ROSC10	1.1	10021011	8,59	0,76	9,35			10021012	8,37	0,76	9,13		
	1.2	11016011	4,44	0,44	4,88	16,51	18,4	11016012	5,96	0,44	6,4	18,61	20,5
	1.3	12024011	3,48	0,69	4,17			12024012	4,28	0,69	4,97		
ROSC10 (Pass)	1.1	10021011	7,4	0,71	8,11			10021012	7,21	0,71	7,92		
	1.2	11016011	4,44	0,44	4,88	15,42	17,27	11016012	5,96	0,44	6,4	17,58	19,43
	1.3	12024011	3,58	0,7	4,28			12024012	4,41	0,70	5,11		
ROSC11	1.1	10026511	11,04	0,83	11,87			10026512	10,74	0,83	11,57		
	1.2	11016011	5,26	0,44	5,70	20,91	22,92	11016012	7,32	0,44	7,76	23,82	25,83
	1.3	12030011	4,61	0,74	5,35			12030012	5,76	0,74	6,5		
ROSC11 (Pass)	1.1	10026511	8,12	0,72	8,84			10026512	7,91	0,72	8,63		
	1.2	11016011	5,26	0,44	5,70	17,43	19,29	11016012	7,32	0,44	7,76	20,26	22,12
	1.3	12030011	4,05	0,7	4,75			12030012	5,03	0,7	5,73		

## CAVILHAS

Elemento	Op.	1.1730						1.2311					
		Ferramenta	Tempo de Corte (s)	Tempo Movimento Rápido (s)	Tempo Total (s)	Tempo Total Corte (s)	Tempo Total Elemento (s)	Ferramenta	Tempo de Corte (s)	Tempo Movimento Rápido (s)	Tempo Total (s)	Tempo Total Corte (s)	Tempo Total Elemento (s)
CAVI01	4.1	10009811	1,60	0,51	2,11			10009812	1,60	0,51	2,11		
	4.2	11010011	2,47	0,44	2,91	5,27	6,72	11010012	2,67	0,44	3,11	5,45	6,90
	4.3	14010011	1,20	0,50	1,7			14010012	1,18	0,50	1,68		
CAVI02	4.1	10009811	1,82	0,54	2,36			10009812	1,82	0,54	2,36		
	4.2	11010011	2,47	0,44	2,91	5,57	7,08	11010012	2,67	0,44	3,11	5,75	7,26
	4.3	14010011	1,28	0,53	1,81			14010012	1,26	0,53	1,79		
CAVI03	4.1	10009811	2,15	0,58	2,73			10009812	2,14	0,58	2,72		
	4.2	11010011	2,47	0,44	2,91	6,02	7,61	11010012	2,67	0,44	3,11	6,18	7,77
	4.3	14010011	1,40	0,57	1,97			14010012	1,37	0,57	1,94		
CAVI04	4.1	10009811	2,33	0,61	2,94			10009812	2,33	0,61	2,94		
	4.2	11010011	2,47	0,44	2,91	6,27	7,92	11010012	2,67	0,44	3,11	6,43	8,08
	4.3	14010011	1,47	0,60	2,07			14010012	1,43	0,60	2,03		
CAVI05	4.1	10011811	1,67	0,51	2,18			10011812	1,84	0,51	2,35		
	4.2	11010011	2,52	0,44	2,96	5,37	6,82	11010012	2,77	0,44	3,21	5,77	7,22
	4.3	14012011	1,18	0,50	1,68			14012012	1,16	0,50	1,66		
CAVI06	4.1	10011811	1,92	0,54	2,46			10011812	2,14	0,54	2,68		
	4.2	11010011	2,52	0,44	2,96	5,69	7,2	11010012	2,77	0,44	3,21	6,14	7,65
	4.3	14012011	1,25	0,53	1,78			14012012	1,23	0,53	1,76		

CAVI07	4.1	10011811	2,28	0,58	2,86			10011812	2,59	0,58	3,17		
	4.2	11010011	2,52	0,44	2,96	6,15	7,75	11010012	2,77	0,44	3,21	6,68	8,28
	4.3	14012011	1,35	0,58	1,93			14012012	1,32	0,58	1,9		
CAVI08	4.1	10011811	2,48	0,61	3,09			10011812	2,84	0,61	3,45		
	4.2	11010011	2,52	0,44	2,96	6,41	8,06	11010012	2,77	0,44	3,21	6,99	8,64
	4.3	14012011	1,41	0,60	2,01			14012012	1,38	0,60	1,98		
CAVI09	4.1	10015811	2,67	0,52	3,19			10015812	2,56	0,52	3,08		
	4.2	11010011	2,64	0,44	3,08	6,48	7,94	11010012	2,97	0,44	3,41	6,69	8,15
	4.3	14016011	1,17	0,50	1,67			14016012	1,16	0,50	1,66		
CAVI10	4.1	10015811	3,23	0,55	3,78			10015812	3,09	0,55	3,64		
	4.2	11010011	2,64	0,44	3,08	7,11	8,63	11010012	2,97	0,44	3,41	7,28	8,8
	4.3	14016011	1,24	0,53	1,77			14016012	1,22	0,53	1,75		
CAVI11	4.1	10015811	4,08	0,59	4,67			10015812	3,88	0,59	4,47		
	4.2	11010011	2,64	0,44	3,08	8,07	9,68	11010012	2,97	0,44	3,41	8,17	9,78
	4.3	14016011	1,35	0,58	1,93			14016012	1,32	0,58	1,9		
CAVI12	4.1	10015811	4,55	0,61	5,16			10015812	4,32	0,61	4,93		
	4.2	11010011	2,64	0,44	3,08	8,59	10,24	11010012	2,97	0,44	3,41	8,66	10,31
	4.3	14016011	1,40	0,60	2			14016012	1,37	0,60	1,97		
CAVI13	4.1	10019811	2,90	0,52	3,42			10019812	2,81	0,52	3,33		
	4.2	11016011	4,30	0,44	4,74	8,42	9,88	11016012	5,71	0,44	6,15	9,72	11,18
	4.3	14020011	1,22	0,50	1,72			14020012	1,20	0,50	1,7		
CAVI14	4.1	10019811	3,51	0,55	4,06			10019812	3,40	0,55	3,95		
	4.2	11016011	4,30	0,44	4,74	9,11	10,63	11016012	5,71	0,44	6,15	10,39	11,91
	4.3	14020011	1,30	0,53	1,83			14020012	1,28	0,53	1,81		
CAVI15	4.1	10019811	4,44	0,59	5,03			10019812	4,29	0,59	4,88		
	4.2	11016011	4,30	0,44	4,74	10,17	11,78	11016012	5,71	0,44	6,15	11,4	13,01
	4.3	14020011	1,43	0,58	2,01			14020012	1,40	0,58	1,98		

	4.1	10019811	4,95	0,62	5,57			10019812	4,78	0,62	5,4		
CAVI16	4.2	11016011	4,30	0,44	4,74	10,75	12,41	11016012	5,71	0,44	6,15	11,95	13,61
	4.3	14020011	1,50	0,60	2,1			14020012	1,46	0,60	2,06		

### CAIXAS RETANGULARES

Elemento	Op.	1.1730						1.2311					
		Ferramenta	Tempo de Corte (s)	Tempo Movimento Rápido (s)	Tempo Total (s)	Tempo Total Corte (s)	Tempo Total Elemento (s)	Ferramenta	Tempo de Corte (s)	Tempo Movimento Rápido (s)	Tempo Total (s)	Tempo Total Corte (s)	Tempo Total Elemento (s)
RECT01	5.1	15010011	53,51	0,48	53,99			15010012	63,23	0,48	63,71		
	5.2	15008011	48,96	1,20	50,16			15008012	25,47	0,76	26,23		
	5.3	11010011	3,47	0,44	3,91	193,60	196,68	11010012	4,43	0,44	4,87	196,76	199,40
	5.4	15008011	69,39	0,48	69,87			15008012	83,11	0,48	83,59		
	5.5	15008011	18,27	0,48	18,75			15008012	20,52	0,48	21		
RECT02	5.1	15012011	87,52	0,50	88,02			15012012	103,75	0,50	104,25		
	5.2	15008011	115,26	3,82	119,08			15008012	98,52	2,66	101,18		
	5.3	11010011	3,83	0,44	4,27	365,33	371,34	11010012	5,07	0,44	5,51	395,81	400,66
	5.4	15008011	113,12	0,50	113,62			15008012	136,92	0,50	137,42		
	5.5	15008011	45,60	0,75	46,35			15008012	51,55	0,75	52,3		
RECT03	5.1	15012011	120,27	0,48	120,75			15012012	148,91	0,48	149,39		
	5.2	15008011	76,16	2,68	78,84			15008012	49,91	1,56	51,47		
	5.3	11010011	4,38	0,44	4,82	372,31	376,87	11010012	6,03	0,44	6,47	415,24	418,68
	5.4	15008011	140,96	0,48	141,44			15008012	175,80	0,48	176,28		
	5.5	15008011	30,54	0,48	31,02			15008012	34,59	0,48	35,07		

	5.1	15016011	121,04	0,50	121,54			15016012	147,19	0,50	147,69		
	5.2				0						0		
RECT04	5.3	11016011	14,14	0,44	14,58	236,1	238	11016012	22,20	0,44	22,64	292,2	294,1
	5.4	15016011	92,80	0,48	93,28			15016012	113,18	0,48	113,66		
	5.5	15016011	8,12	0,48	8,6			15016012	9,63	0,48	10,11		
	5.1	15016011	243,04	0,77	243,81			15016012	301,16	0,77	301,93		
	5.2				0						0		
RECT05	5.3	11016011	15,08	0,44	15,52	394,95	397,49	11016012	23,78	0,44	24,22	487,77	490,31
	5.4	15016011	119,73	0,53	120,26			15016012	142,47	0,53	143		
	5.5	15016011	17,10	0,80	17,9			15016012	20,36	0,80	21,16		
	5.1	15016011	282,53	0,97	283,5			15016012	349,38	0,97	350,35		
	5.2				0						0		
RECT06	5.3	11016011	16,48	0,44	16,92	458,41	461,21	11016012	26,13	0,44	26,57	563,78	566,58
	5.4	15016011	141,55	0,55	142,1			15016012	167,16	0,55	167,71		
	5.5	15016011	17,85	0,84	18,69			15016012	21,11	0,84	21,95		
	5.1	15016011	322,20	0,77	322,97			15016012	403,61	0,77	404,38		
	5.2				0						0		
RECT07	5.3	11016011	18,83	0,44	19,27	512,54	515,08	11016012	30,06	0,44	30,5	641,31	643,85
	5.4	15016011	150,98	0,53	151,51			15016012	182,84	0,53	183,37		
	5.5	15016011	20,53	0,80	21,33			15016012	24,80	0,80	25,6		
	5.1	15012011	356,84	0,84	357,68			15012012	445,26	0,84	446,1		
	5.2				0						0		
RECT08	5.3	11010011	5,06	0,44	5,5	551,37	554,03	11010012	7,23	0,44	7,67	680,54	683,2
	5.4	15012011	170,86	0,55	171,41			15012012	205,94	0,55	206,49		
	5.5	15012011	18,61	0,83	19,44			15012012	22,11	0,83	22,94		

RECT09	5.1	15016011	338,25	0,98	339,23	544,21	547,07	15016012	418,60	0,98	419,58	669,73	672,59		
	5.2				0						0				
	5.3	11016011	16,95	0,44	17,39					11016012	26,92			0,44	27,36
	5.4	15016011	168,69	0,57	169,26					15016012	200,13			0,57	200,7
	5.5	15016011	20,32	0,87	21,19					15016012	24,08			0,87	24,95
RECT10	5.1	15016011	430,78	1,04	431,82	690,47	693,46	15016012	535,47	1,04	536,51	855,17	858,16		
	5.2				0						0				
	5.3	11016011	22,58	0,44	23,02					11016012	36,34			0,44	36,78
	5.4	15016011	210,90	0,60	211,5					15016012	251,87			0,60	252,47
	5.5	15016011	26,21	0,91	27,12					15016012	31,49			0,91	32,4
RECT11	5.1	15016011	461,06	0,85	461,91	789,34	795,9	15016012	577,55	0,85	578,4	958,15	964,71		
	5.2	15012011	114,59	3,83	118,42					15012012	122,30			3,83	126,13
	5.3	11010011	6,69	0,44	7,13					11010012	10,10			0,44	10,54
	5.4	15012011	180,30	0,58	180,88					15012012	215,84			0,58	216,42
	5.5	15012011	26,70	0,86	27,56					15012012	32,36			0,86	33,22

### CAIXAS CIRCULARES PASSANTES

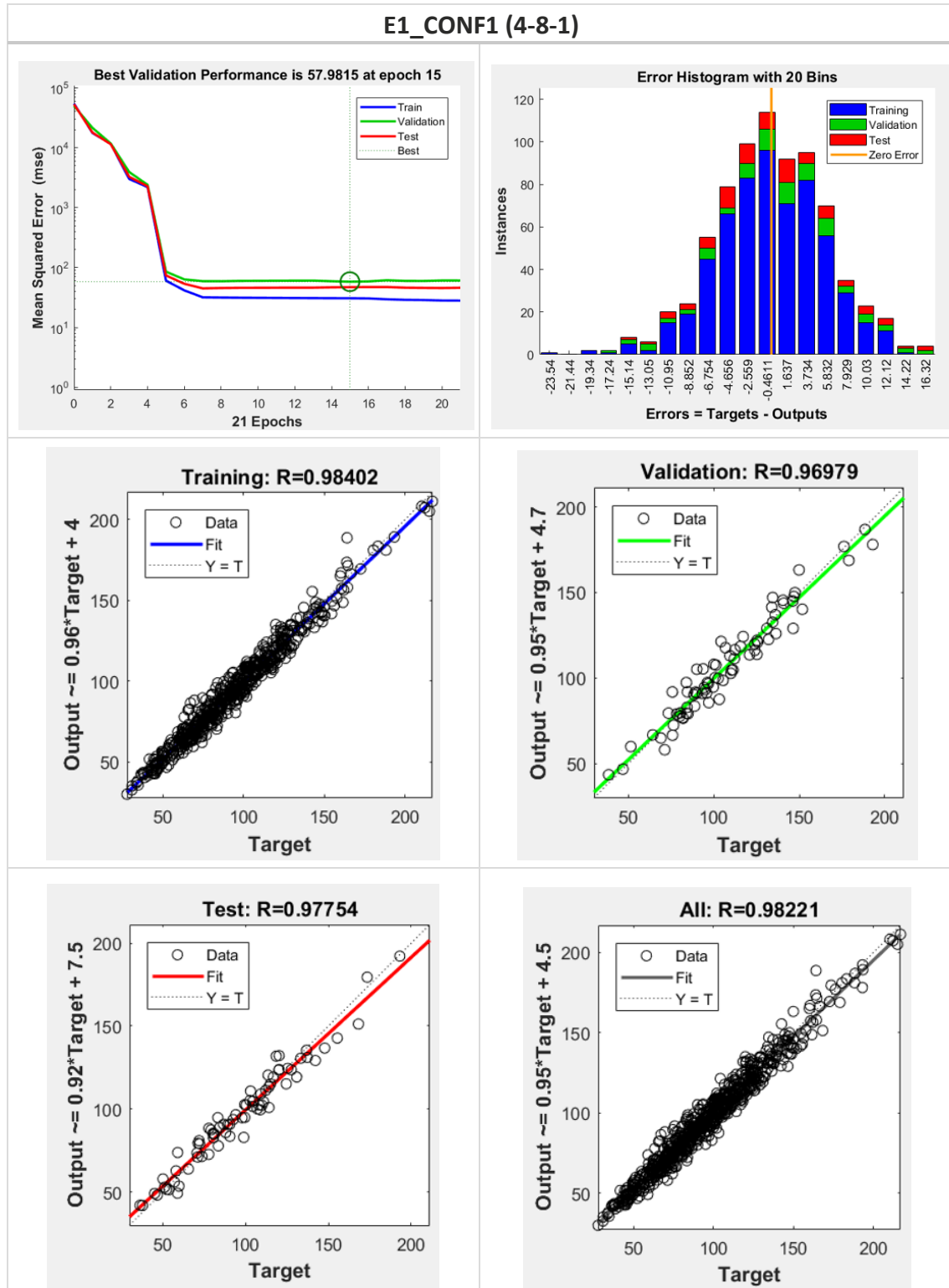
Elemento	Op.	1.1730						1.2311							
		Ferramenta	Tempo de Corte (s)	Tempo Movimento Rápido (s)	Tempo Total (s)	Tempo Total Corte (s)	Tempo Total Elemento (s)	Ferramenta	Tempo de Corte (s)	Tempo Movimento Rápido (s)	Tempo Total (s)	Tempo Total Corte (s)	Tempo Total Elemento (s)		
CIRC01	7.1	15032021	89,17	0,46	89,63	139,03	140,85	15032022	102,14	0,46	102,60	168,50	170,32		
	7.2	11016011	17,55	0,44	17,99					11016012	27,92			0,44	28,36
	7.3	16038011	26,03	0,46	26,49					16038012	30,59			0,46	31,05
	7.4	16038011	6,28	0,46	6,74					16038012	7,85			0,46	8,31

CIRC02	7.1	15032021	106,36	0,47	106,83	162,25	164,14	15032022	119,33	0,47	119,8	191,72	193,59
	7.2	11016011	17,55	0,44	17,99			11016012	27,92	0,44	28,36		
	7.3	16038011	31,76	0,48	32,24			16038012	36,32	0,48	36,8		
	7.4	16038011	6,58	0,50	7,08			16038012	8,15	0,48	8,63		
CIRC03	7.1	15032021	135,01	0,50	135,51	200,95	202,89	15032022	147,98	0,50	148,48	230,43	232,37
	7.2	11016011	17,55	0,44	17,99			11016012	27,92	0,44	28,36		
	7.3	16038011	41,31	0,50	41,81			16038012	45,88	0,50	46,38		
	7.4	16038011	7,08	0,50	7,58			16038012	8,65	0,50	9,15		
CIRC04	7.1	15040021	160,88	0,46	161,34	238,27	240,11	15040022	211,29	0,46	211,75	317,86	319,7
	7.2	11016011	24,91	0,44	25,35			11016012	40,25	0,44	40,69		
	7.3	16038011	43,94	0,47	44,41			16038012	55,29	0,47	55,76		
	7.4	16038011	8,54	0,47	9,01			16038012	11,03	0,47	11,5		
CIRC05	7.1	15040021	183,80	0,48	184,28	269,23	271,11	15040022	234,21	0,48	234,69	348,82	350,7
	7.2	11016011	24,91	0,44	25,35			11016012	40,25	0,44	40,69		
	7.3	16038011	51,58	0,48	52,06			16038012	62,93	0,48	63,41		
	7.4	16038011	8,94	0,48	9,42			16038012	11,43	0,48	11,91		
CIRC06	7.1	15040021	206,72	0,50	207,22	300,19	302,13	15040022	257,13	0,50	257,63	379,79	381,73
	7.2	11016011	24,91	0,44	25,35			11016012	40,25	0,44	40,69		
	7.3	16038011	59,22	0,50	59,72			16038012	70,58	0,50	71,08		
	7.4	16038011	9,34	0,50	9,84			16038012	11,83	0,50	12,33		
CIRC07	7.1	15040021	187,96	0,46	188,42	274,36	276,2	15040022	250,36	0,46	250,82	370,34	372,18
	7.2	11016011	27,12	0,44	27,56			11016012	43,95	0,44	44,39		
	7.3	16038011	50,09	0,47	50,56			16038012	64,07	0,47	64,54		
	7.4	16038011	9,19	0,47	9,66			16038012	11,96	0,47	12,43		
CIRC08	7.1	15040021	210,88	0,48	211,36	305,33	307,21	15040022	273,27	0,48	273,75	401,29	403,17
	7.2	11016011	27,12	0,44	27,56			11016012	43,95	0,44	44,39		
	7.3	16038011	57,74	0,48	58,22			16038012	71,71	0,48	72,19		
	7.4	16038011	9,59	0,48	10,07			16038012	12,36	0,48	12,84		

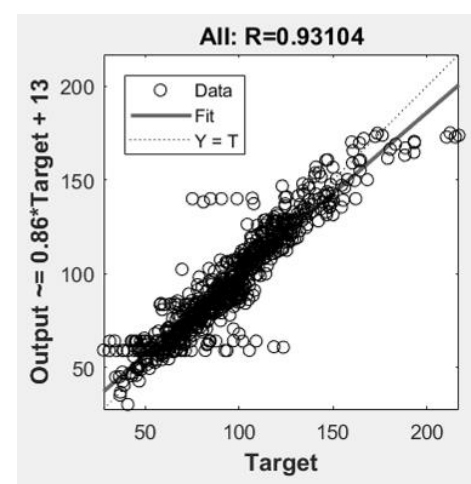
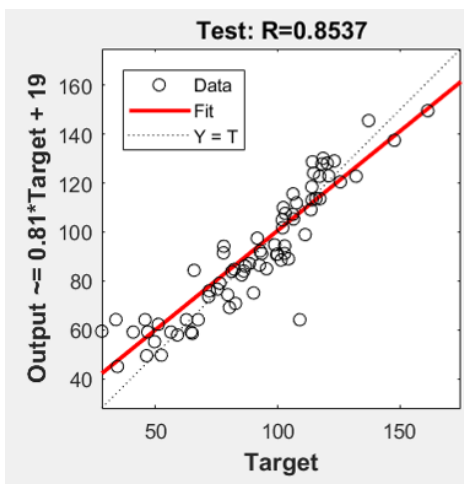
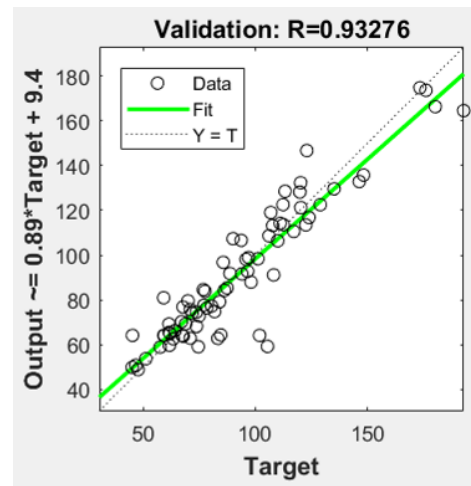
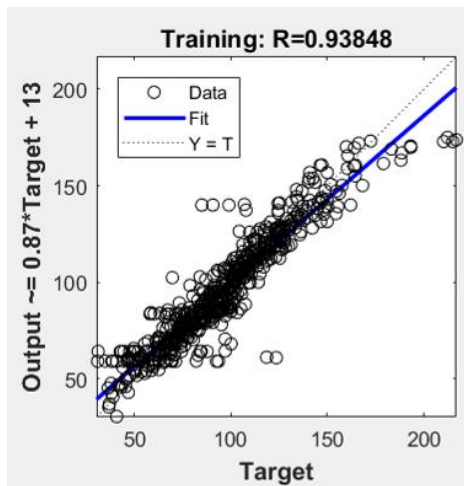
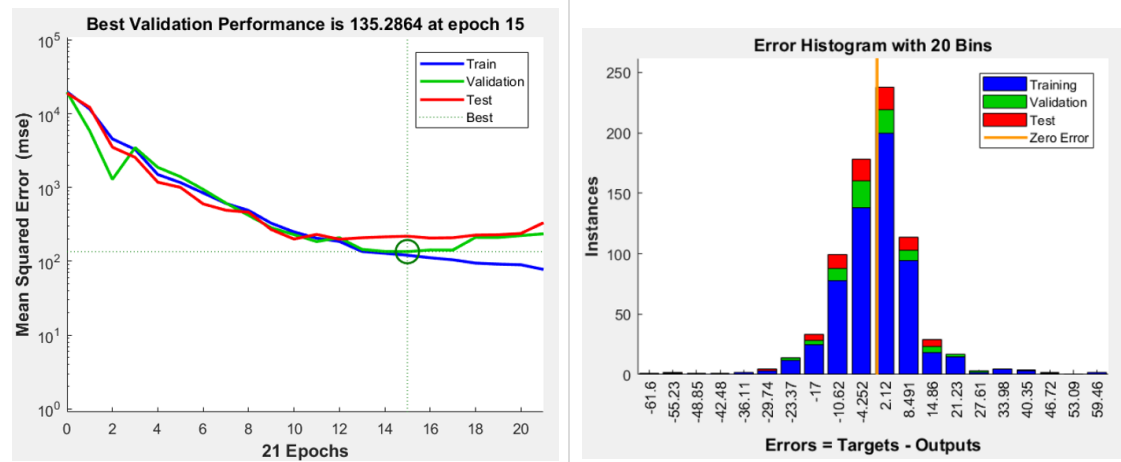
CIRC09	7.1	15040021	233,80	0,50	234,3	336,29	338,23	15040022	296,19	0,50	296,69	432,25	434,19
	7.2	11016011	27,12	0,44	27,56			11016012	43,95	0,44	44,39		
	7.3	16038011	65,38	0,50	65,88			16038012	79,35	0,50	79,85		
	7.4	16038011	9,99	0,50	10,49			16038012	12,76	0,50	13,26		
CIRC10	7.1	15040021	237,50	0,46	237,96	340,41	342,25	15040022	321,80	0,46	322,26	466,19	468,03
	7.2	11016011	30,80	0,44	31,24			11016012	50,12	0,44	50,56		
	7.3	16038011	61,83	0,47	62,3			16038012	80,77	0,47	81,24		
	7.4	16038011	10,28	0,47	10,75			16038012	13,50	0,47	13,97		
CIRC11	7.1	15040021	260,42	0,48	260,9	369,37	371,25	15040022	344,72	0,48	345,2	497,16	499,04
	7.2	11016011	30,80	0,44	31,24			11016012	50,12	0,44	50,56		
	7.3	16038011	67,47	0,48	67,95			16038012	88,42	0,48	88,9		
	7.4	16038011	10,68	0,48	11,16			16038012	13,90	0,48	14,38		
CIRC12	7.1	15040021	283,34	0,50	283,84	402,33	404,27	15040022	367,63	0,50	368,13	528,11	530,05
	7.2	11016011	30,80	0,44	31,24			11016012	50,12	0,44	50,56		
	7.3	16038011	77,11	0,50	77,61			16038012	96,06	0,50	96,56		
	7.4	16038011	11,08	0,50	11,58			16038012	14,30	0,50	14,8		

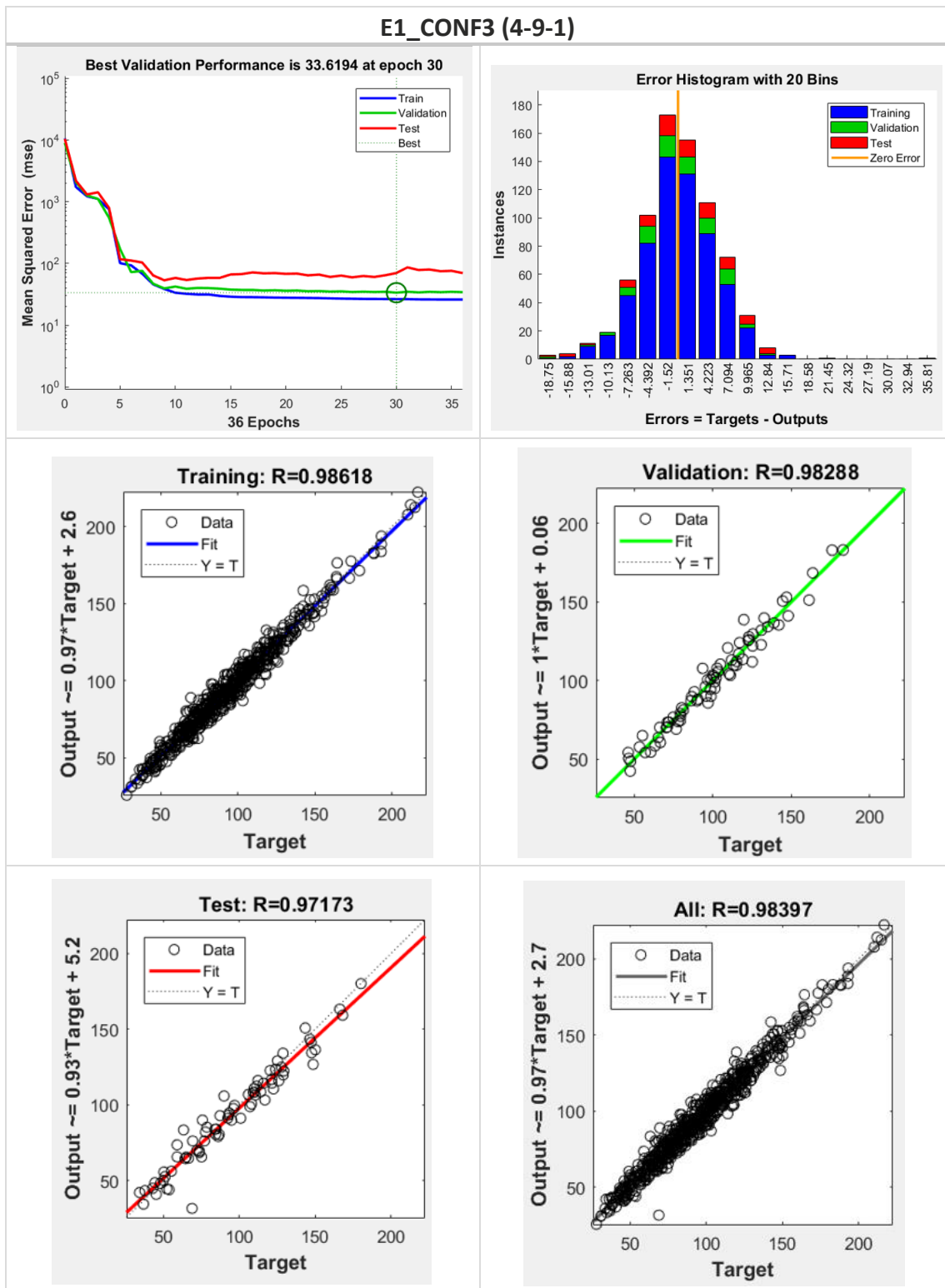
## 6.4 REDES NEURONAIS

### 6.4.1 Ensaio 1

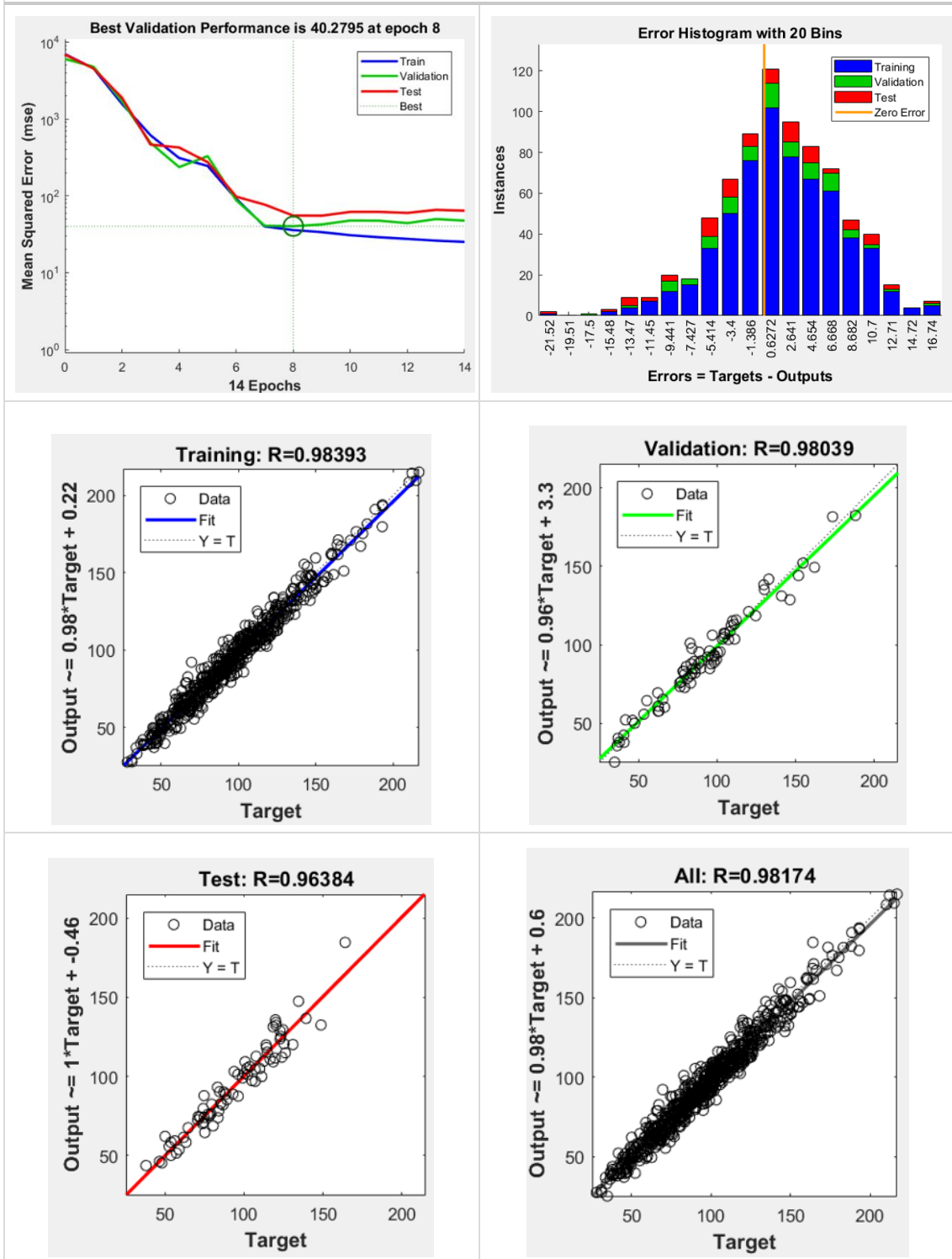


### E1\_CONF2 (4-4-1)

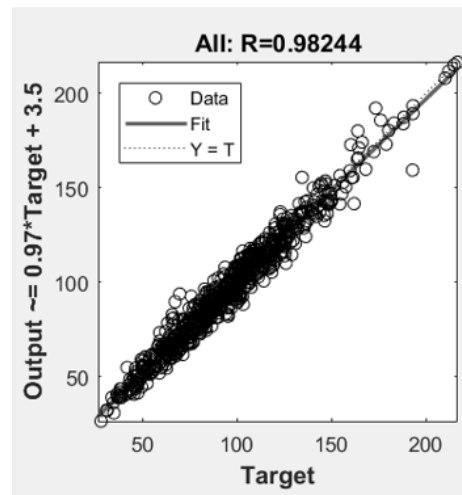
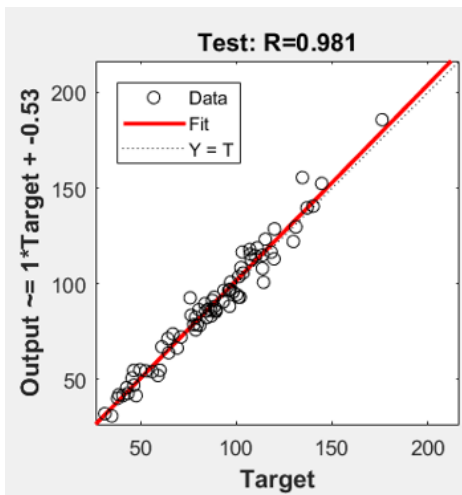
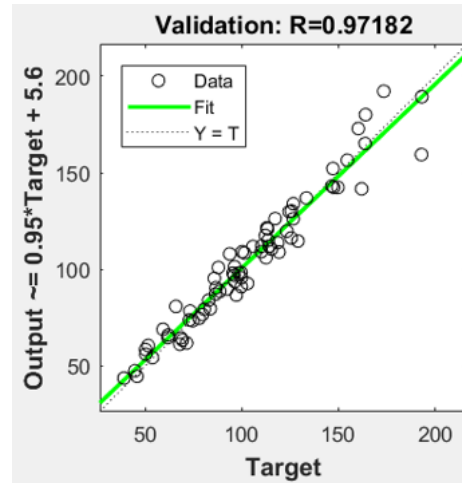
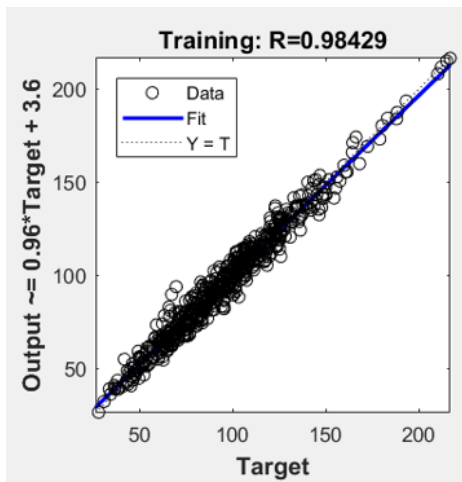
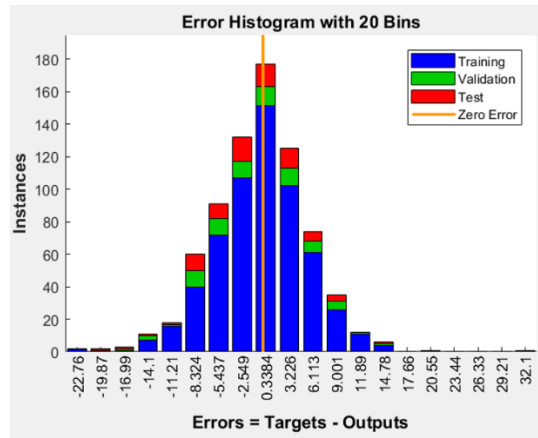
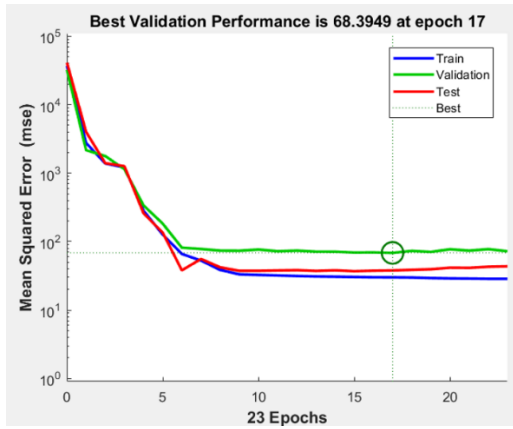




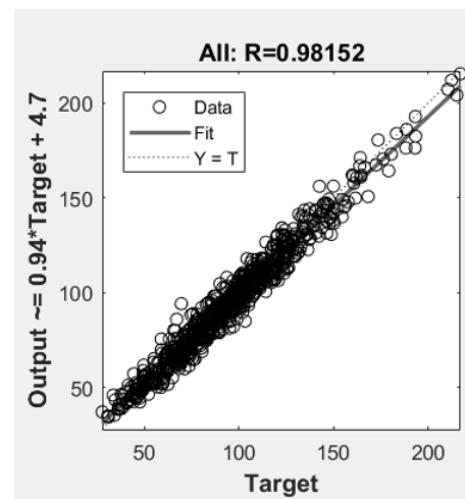
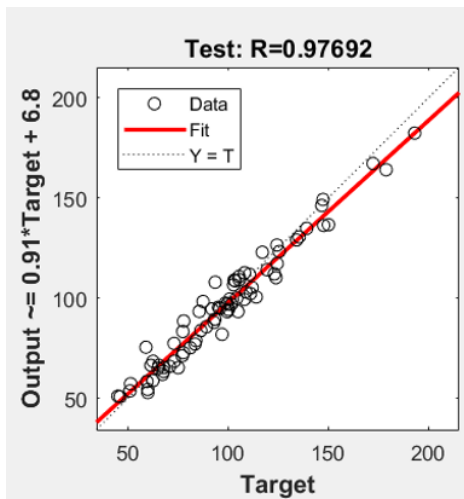
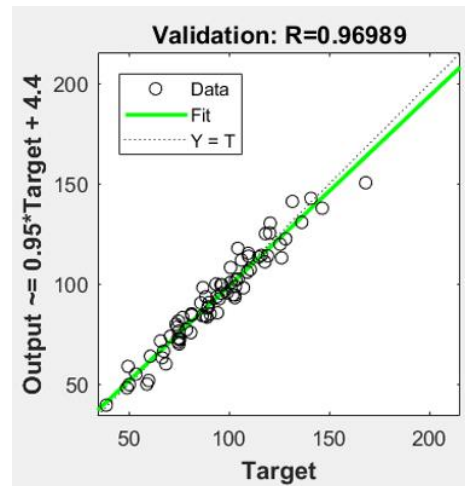
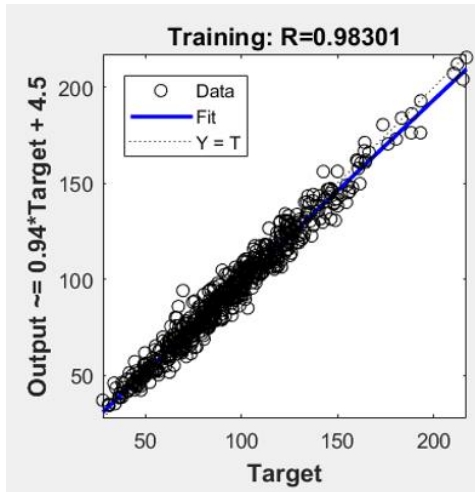
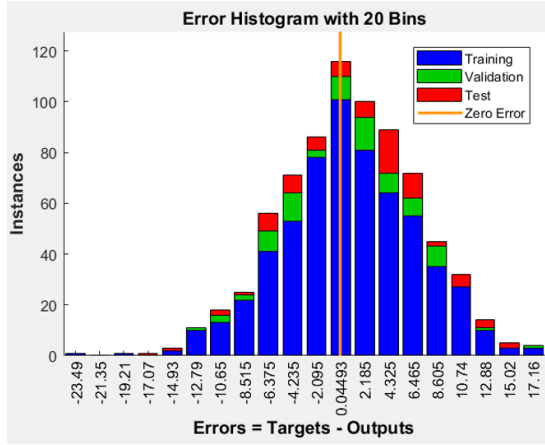
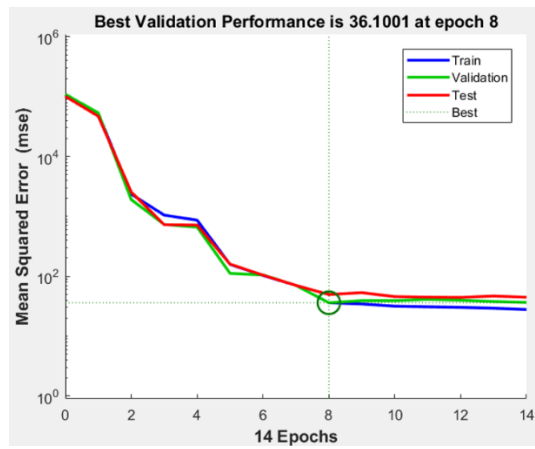
E1\_CONF4 (4-10-1)



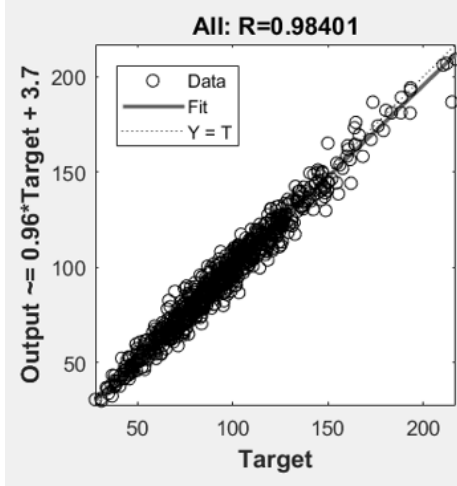
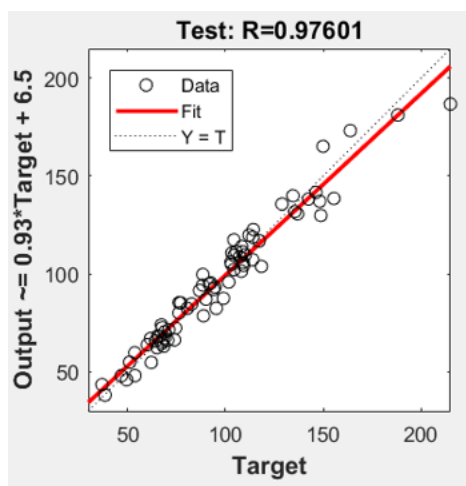
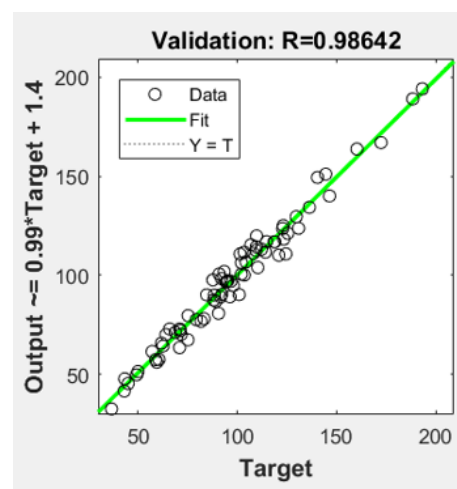
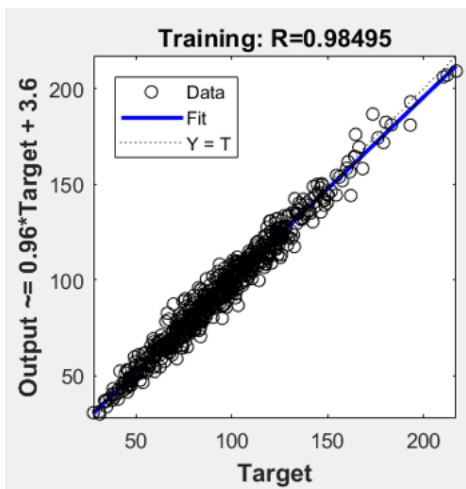
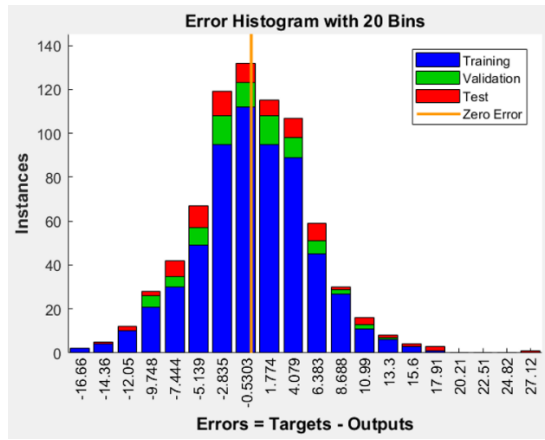
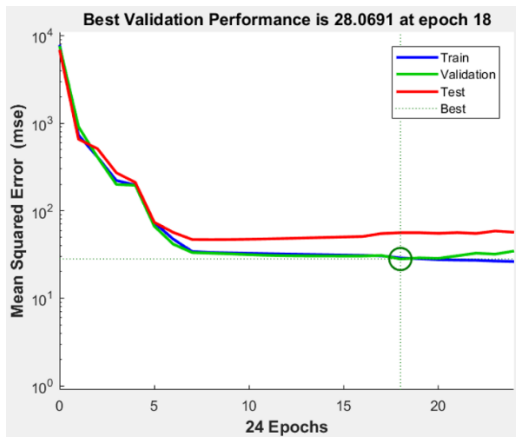
E1\_CONF5 (4-15-1)



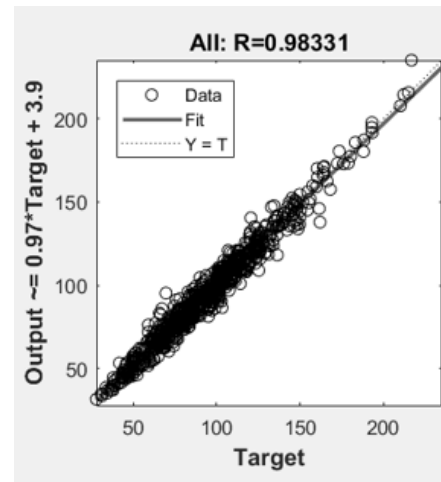
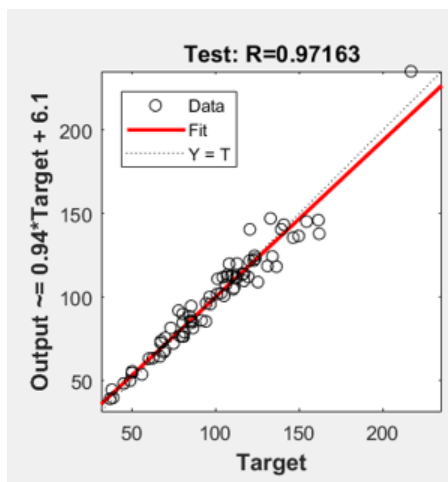
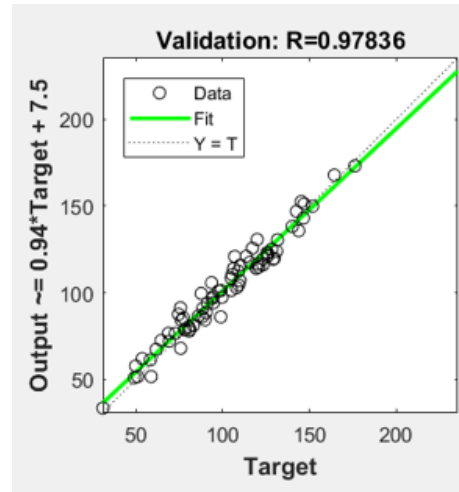
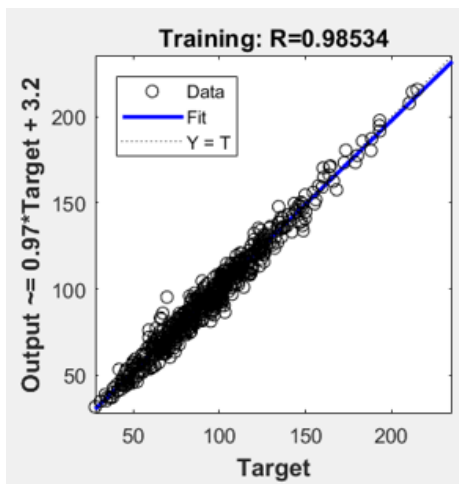
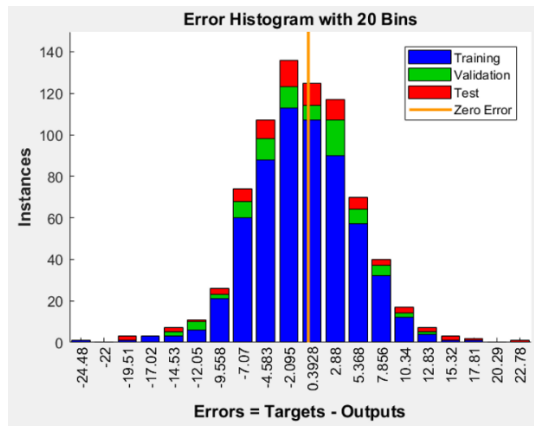
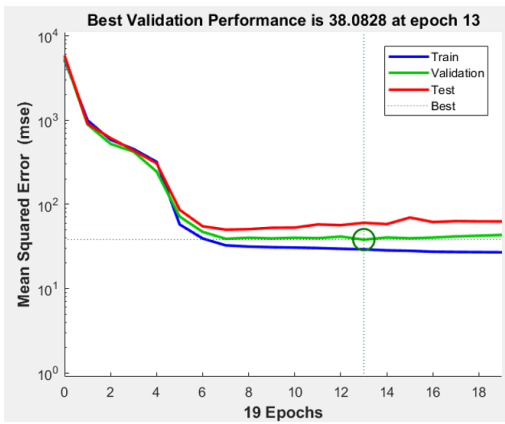
E1\_CONF6 (4-20-1)



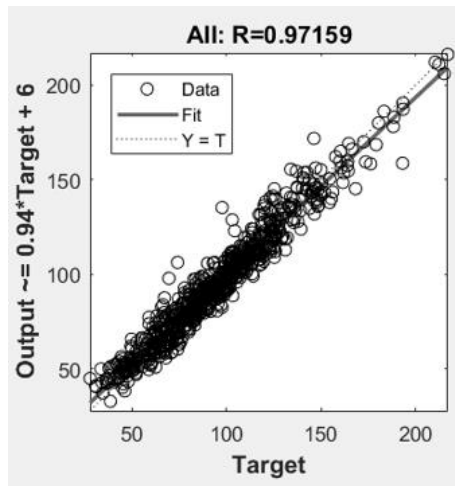
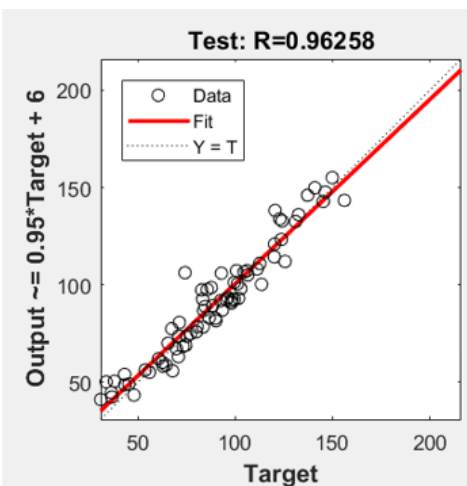
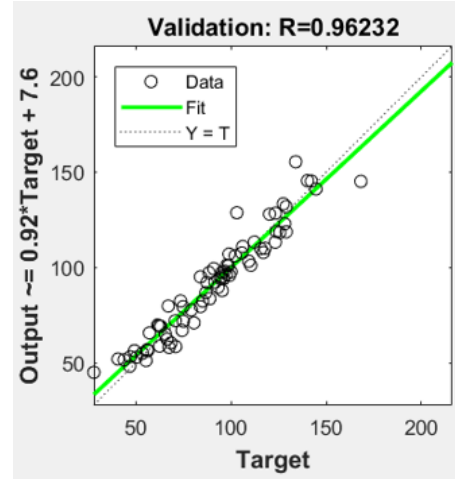
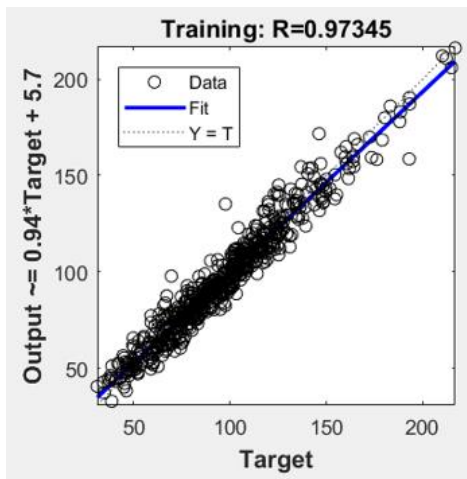
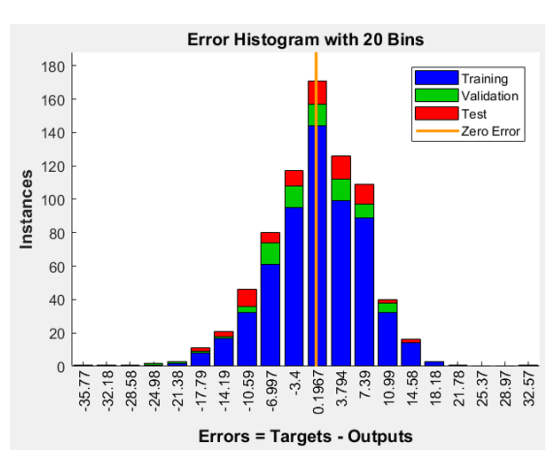
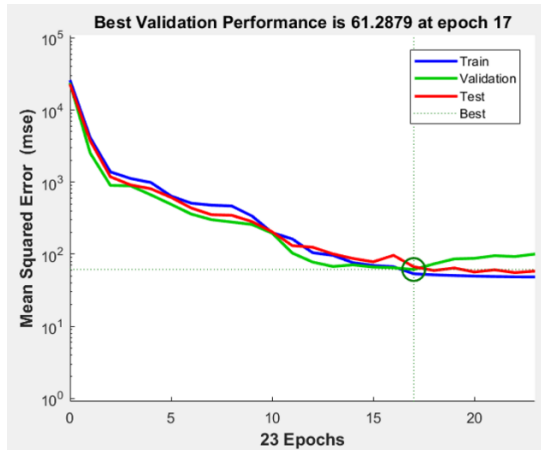
### E1\_CONF7 (4-8-8-1)



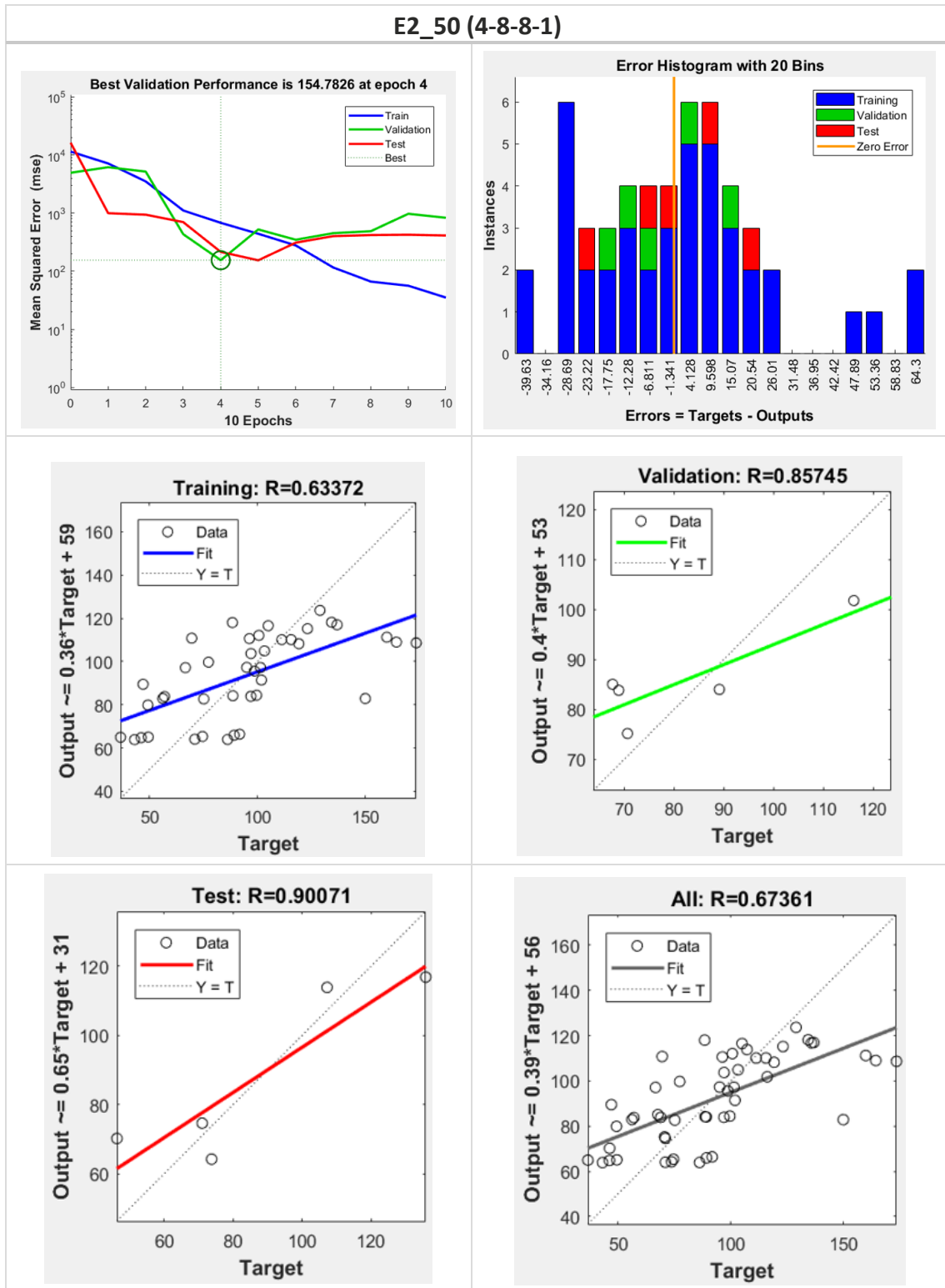
### E1\_CONF8 (4-10-10-1)



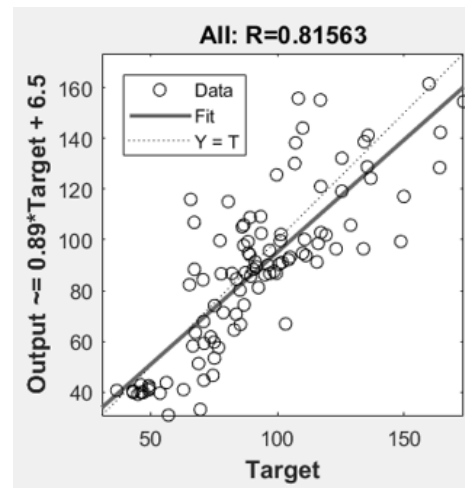
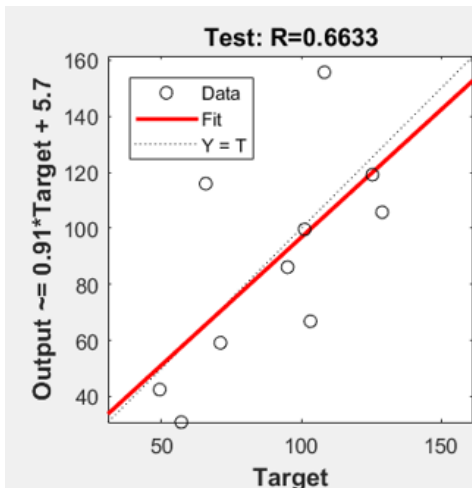
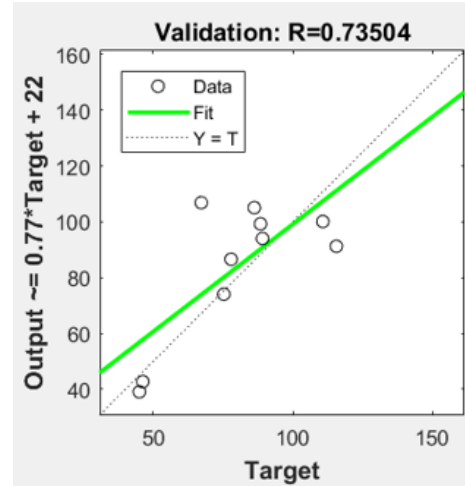
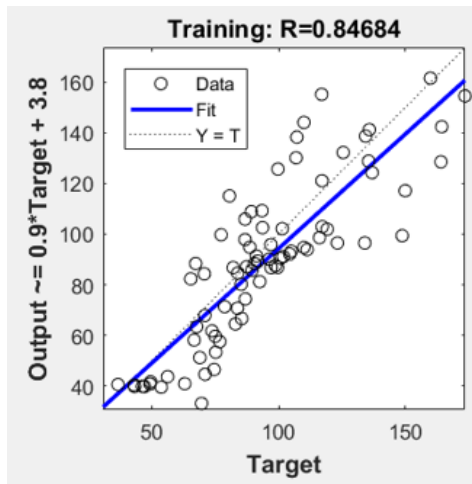
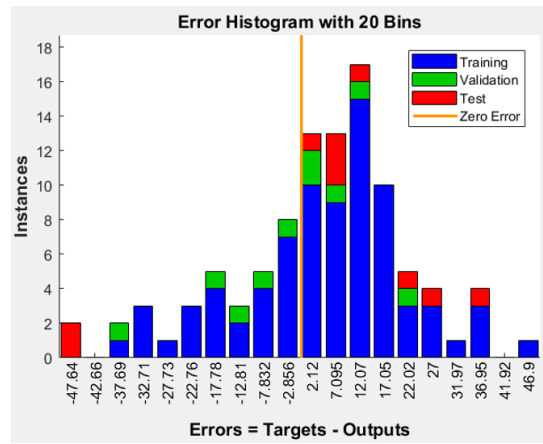
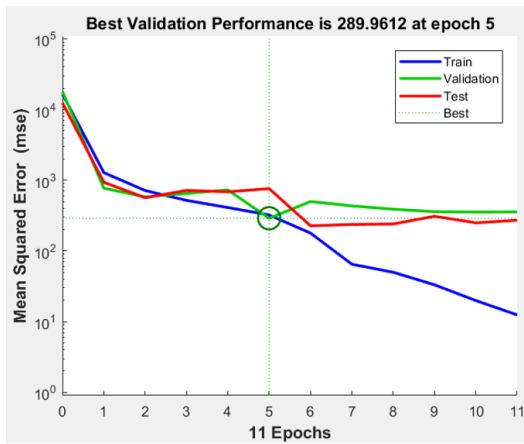
### E1\_CONF9 (4-4-4-1)



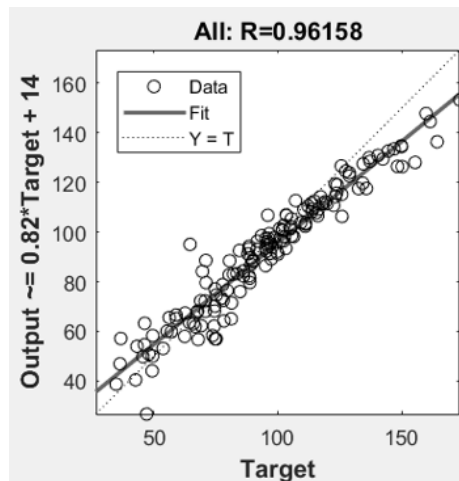
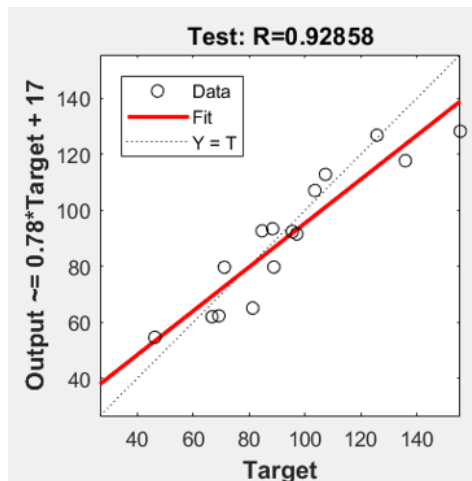
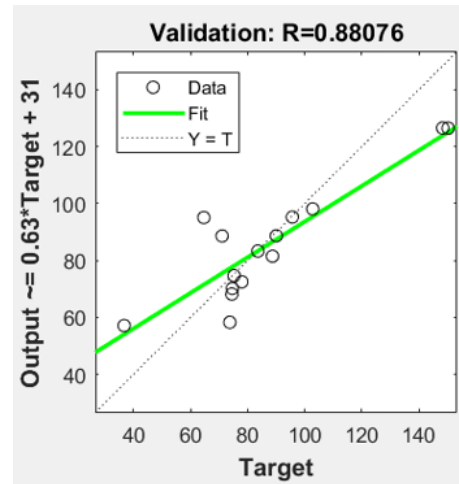
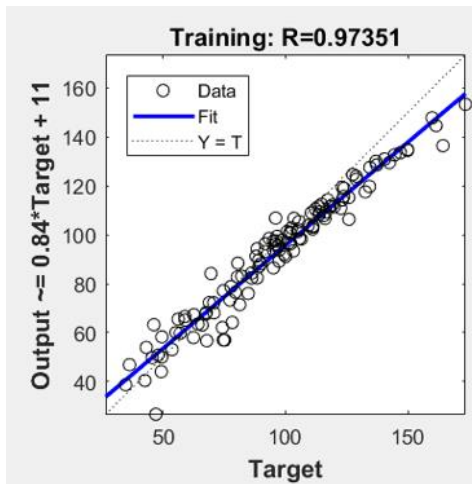
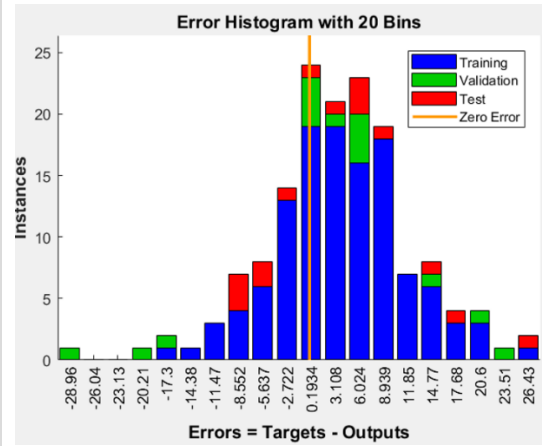
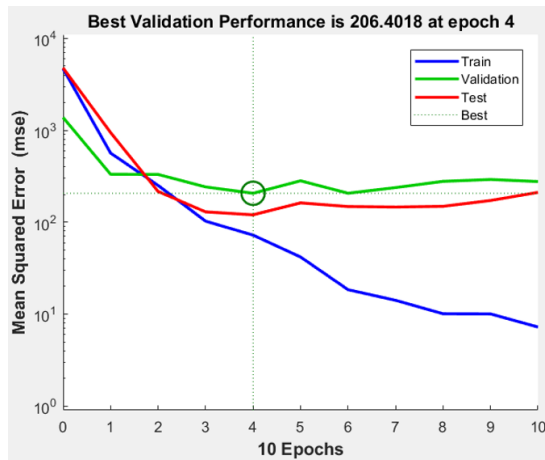
6.4.2 Ensaio 2



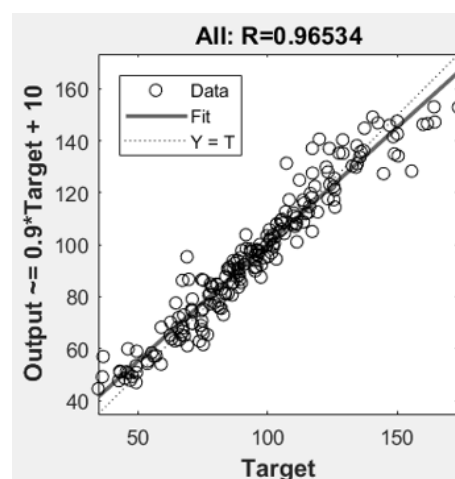
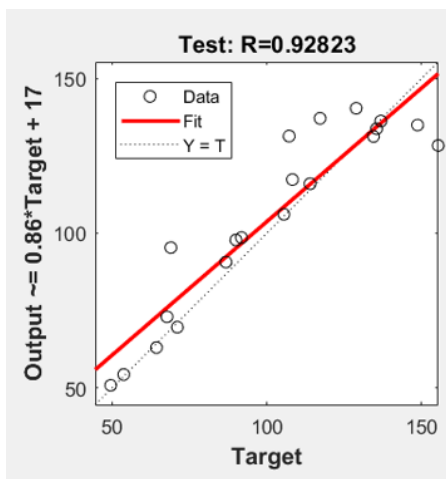
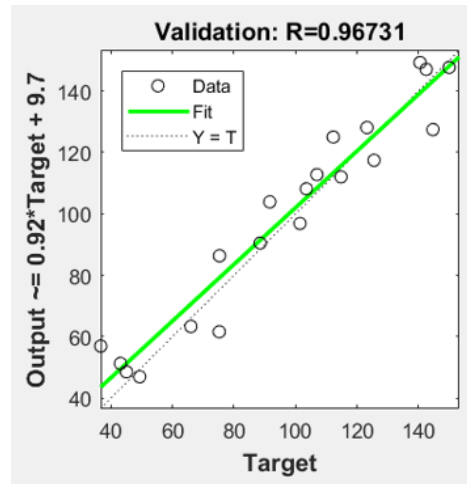
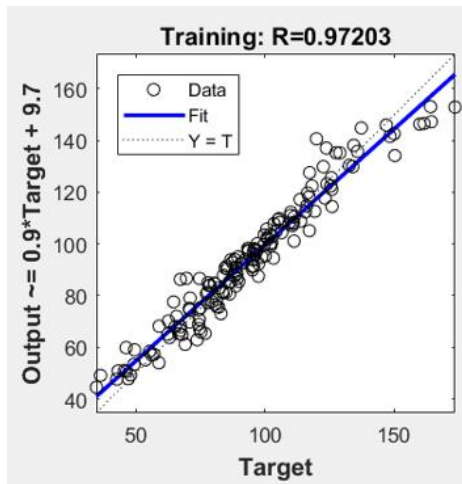
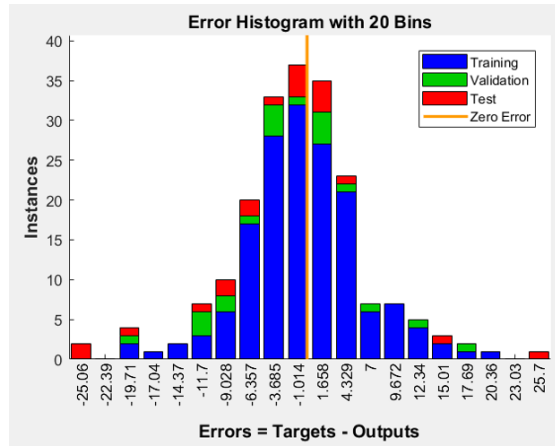
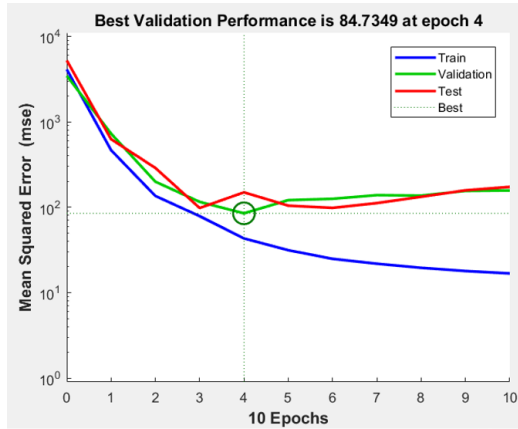
**E2\_100 (4-8-8-1)**



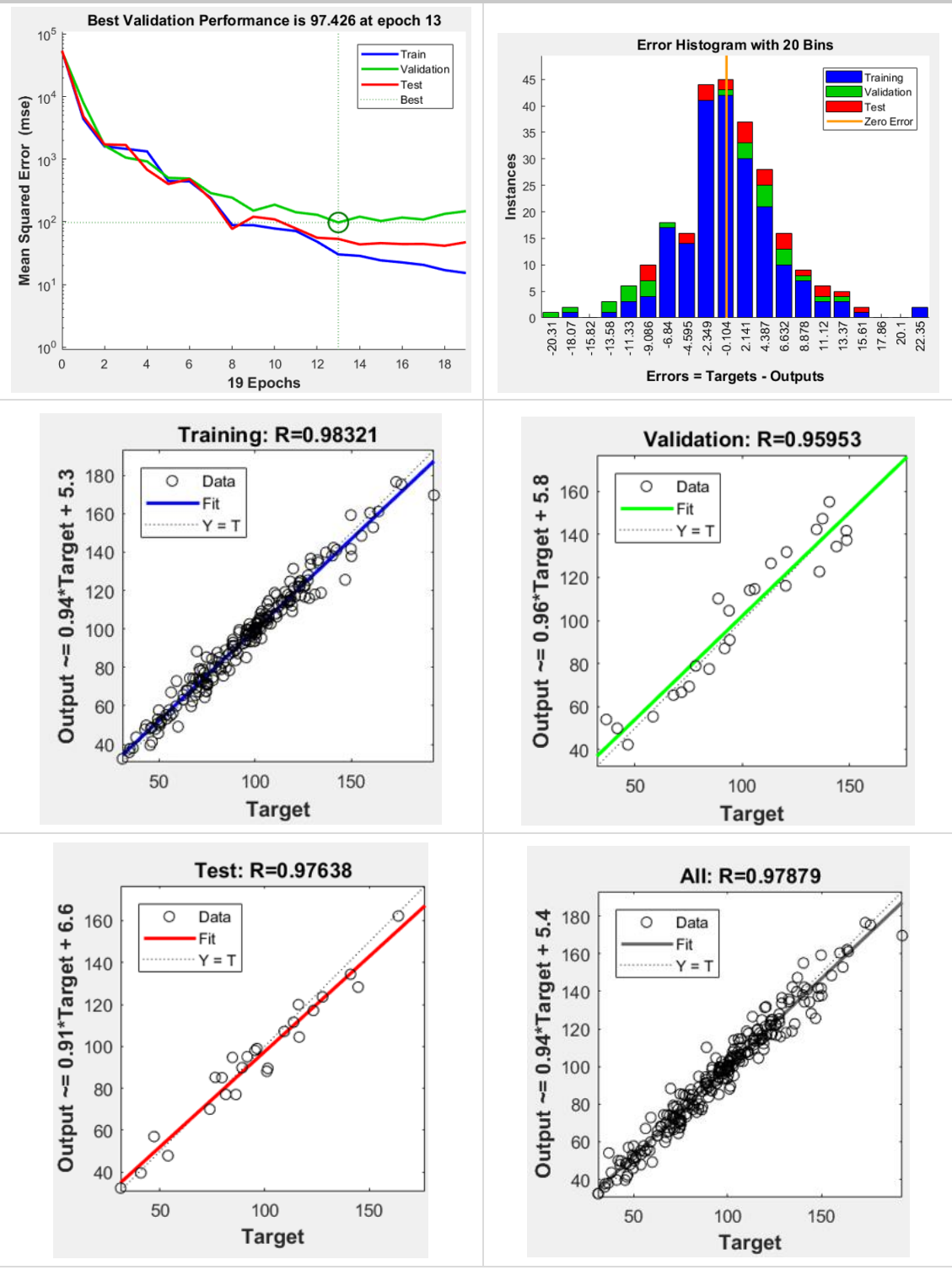
**E2\_150 (4-8-8-1)**



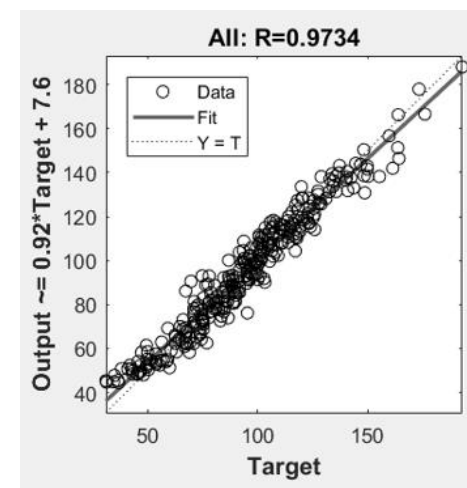
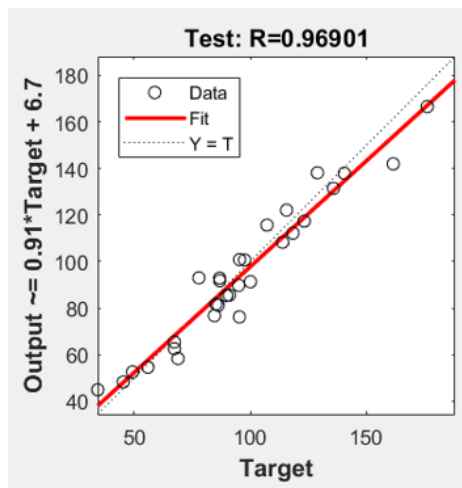
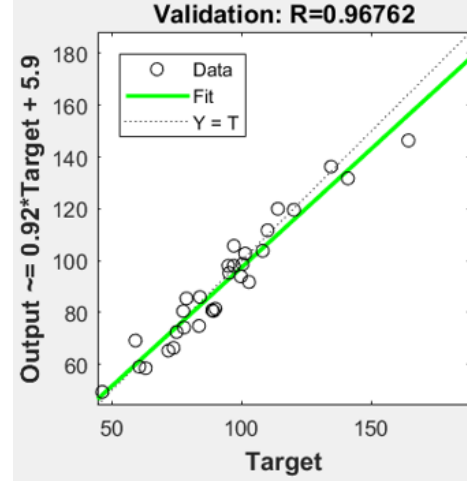
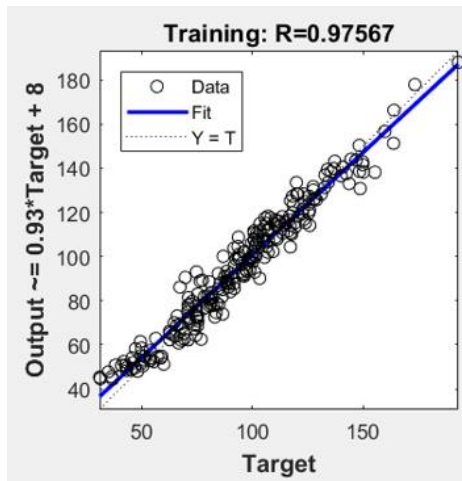
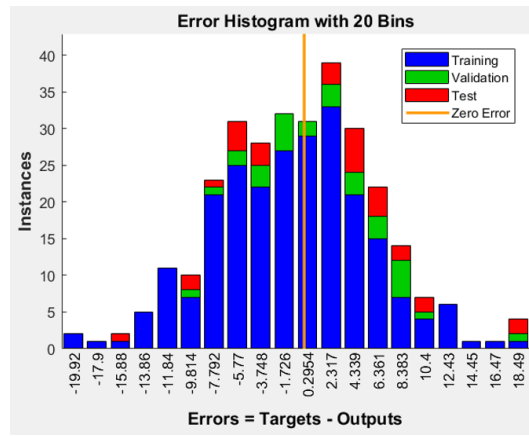
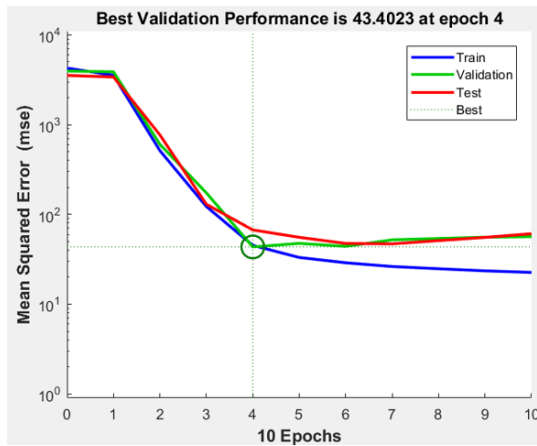
E2\_200 (4-8-8-1)



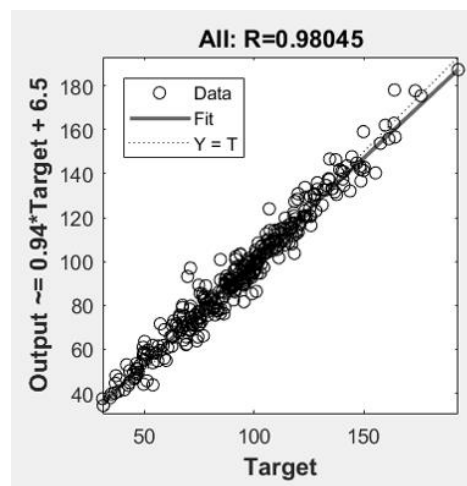
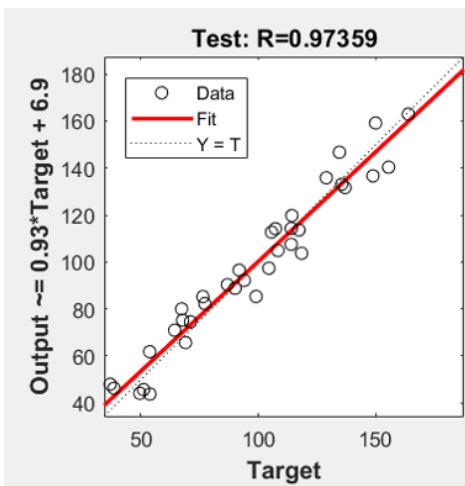
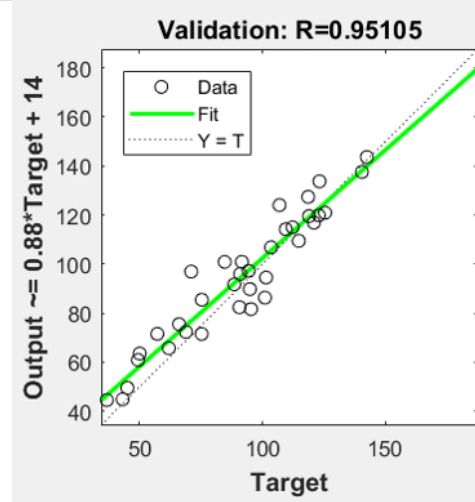
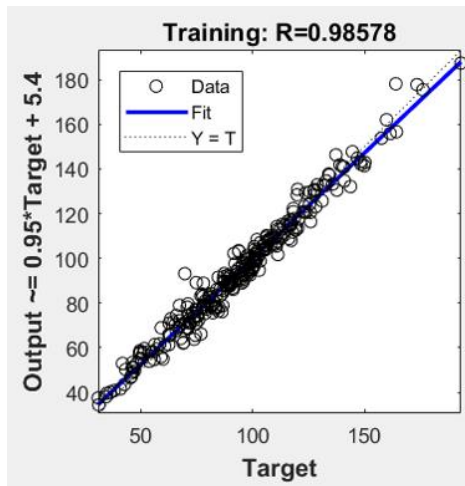
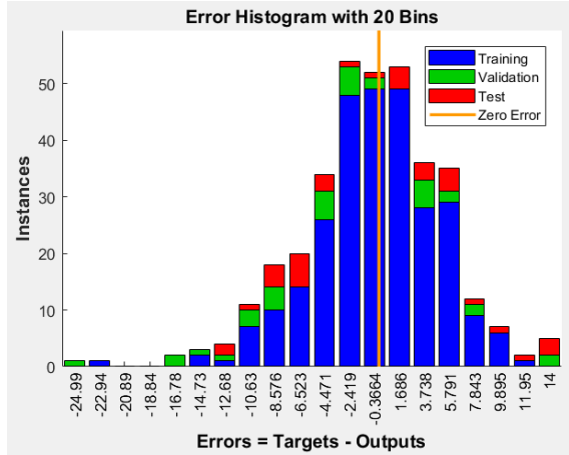
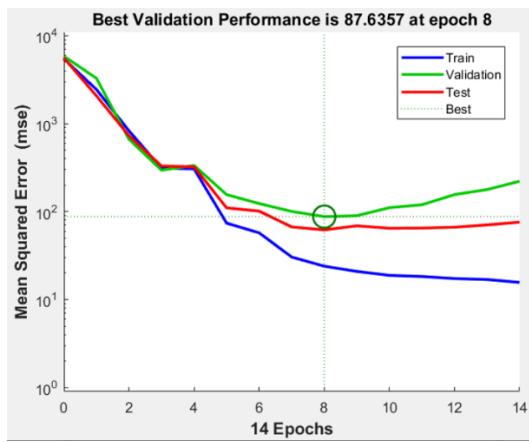
E2\_250 (4-8-8-1)



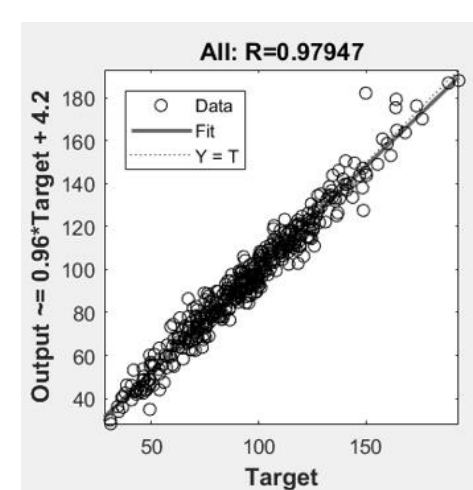
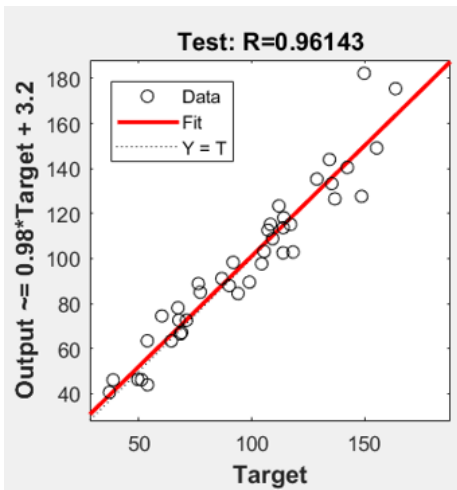
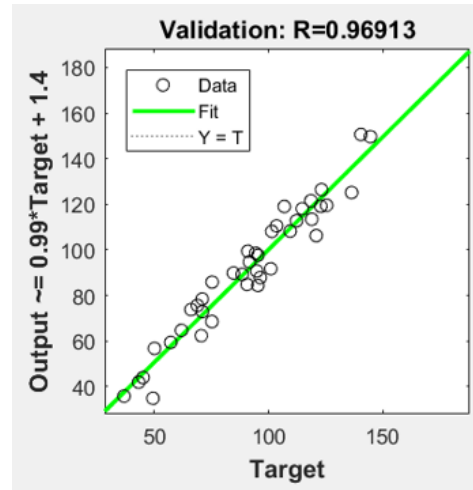
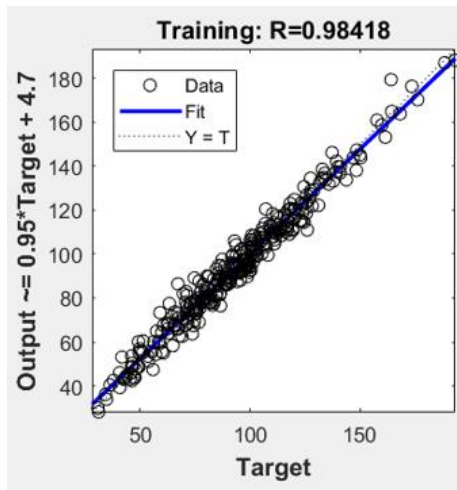
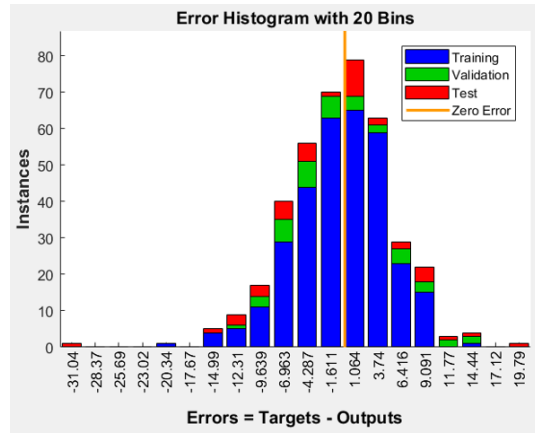
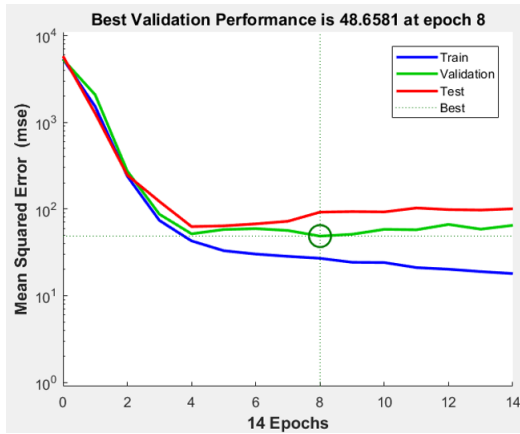
**E2\_300 (4-8-8-1)**



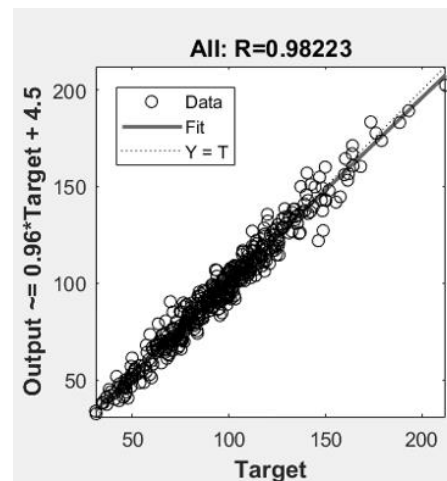
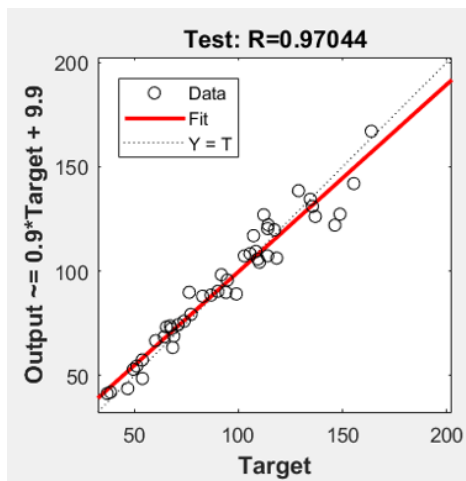
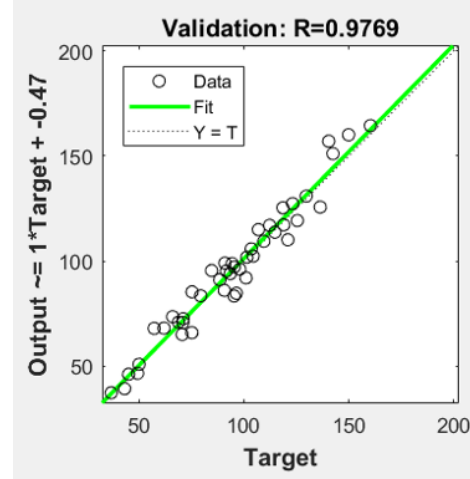
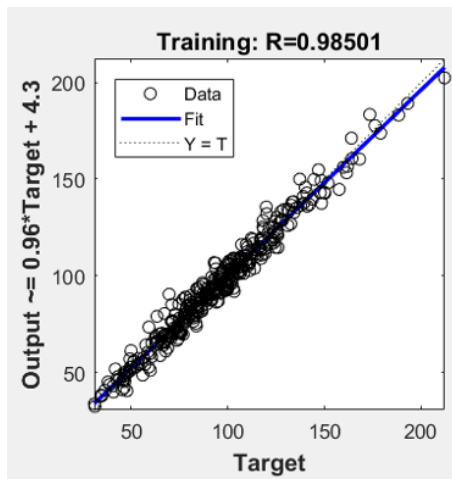
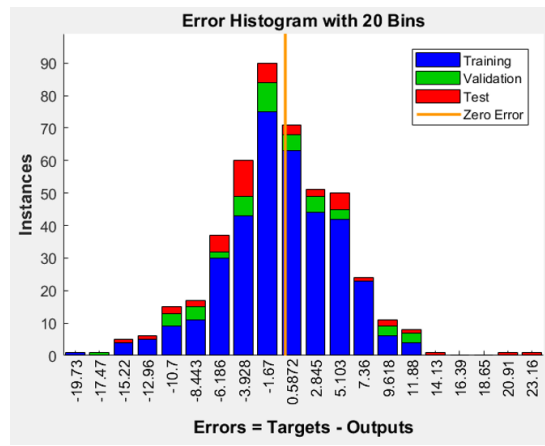
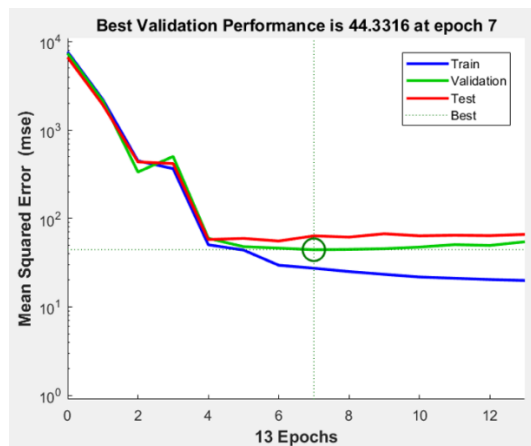
**E2\_350 (4-8-8-1)**



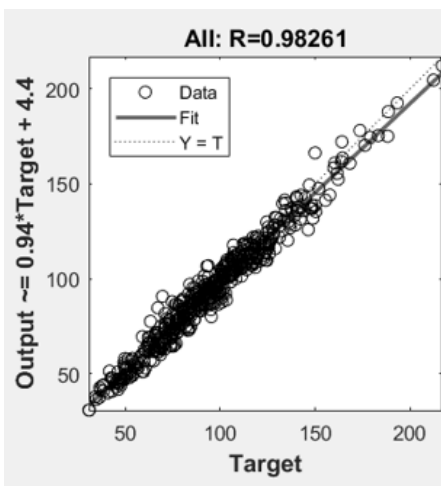
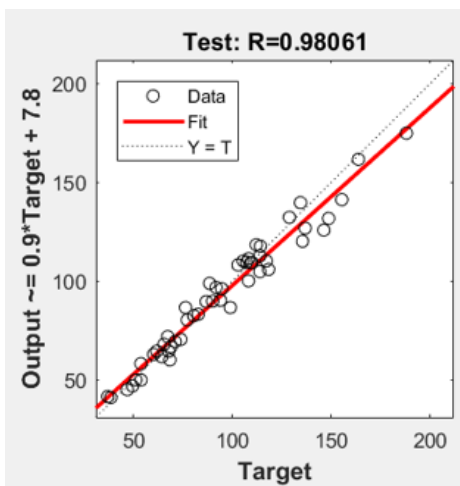
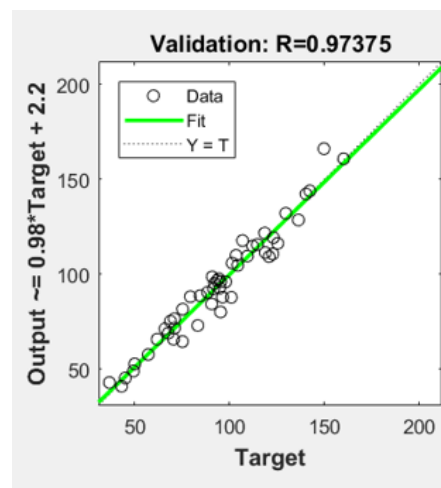
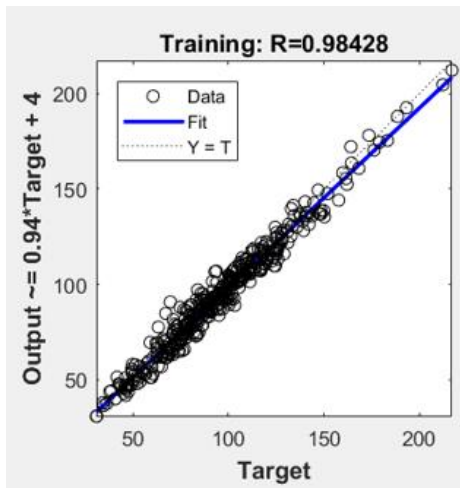
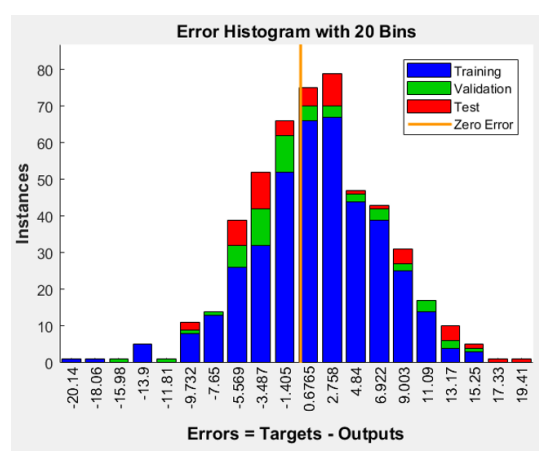
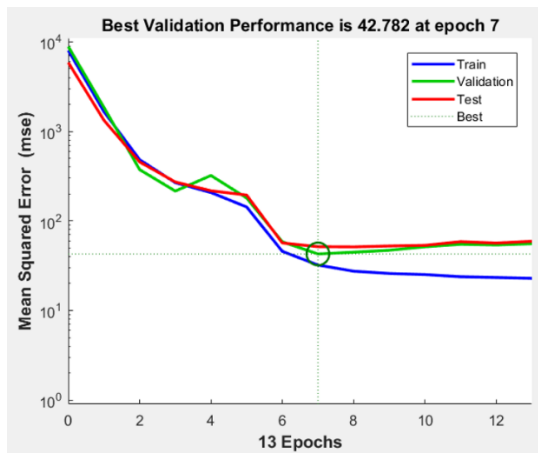
**E2\_400 (4-8-8-1)**



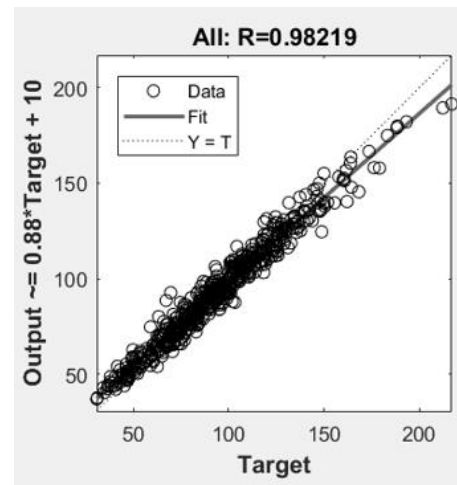
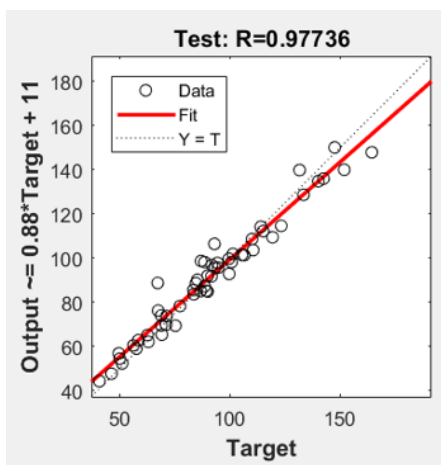
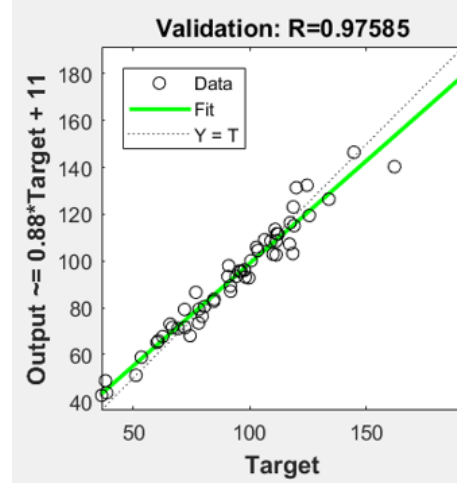
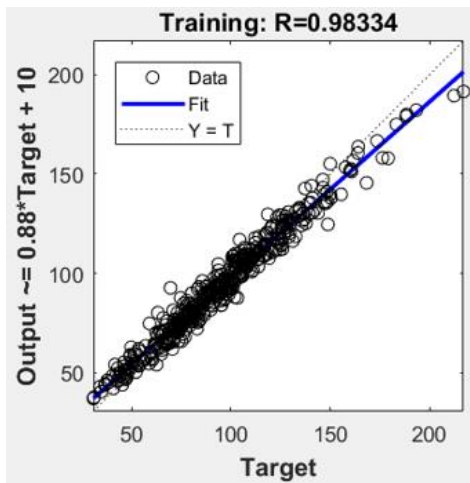
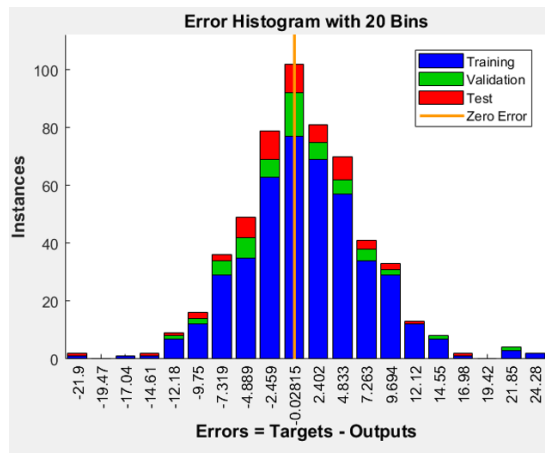
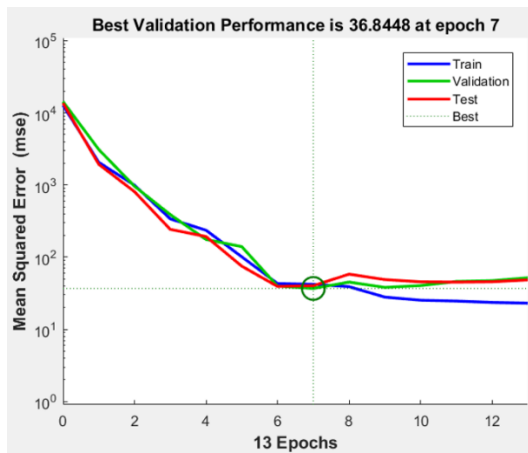
**E2\_450 (4-8-8-1)**



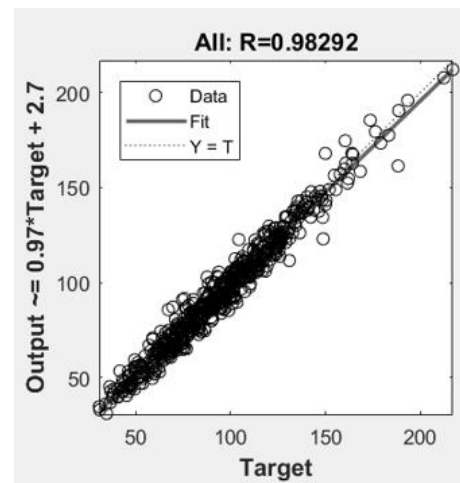
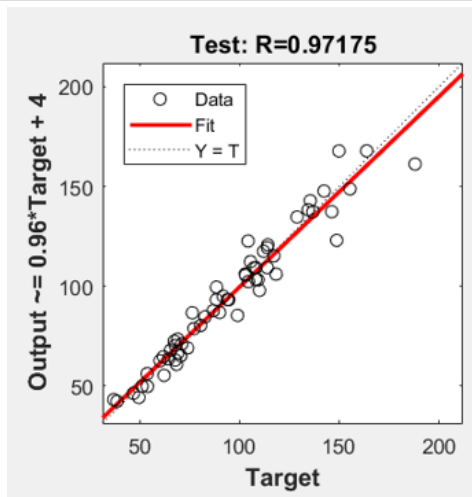
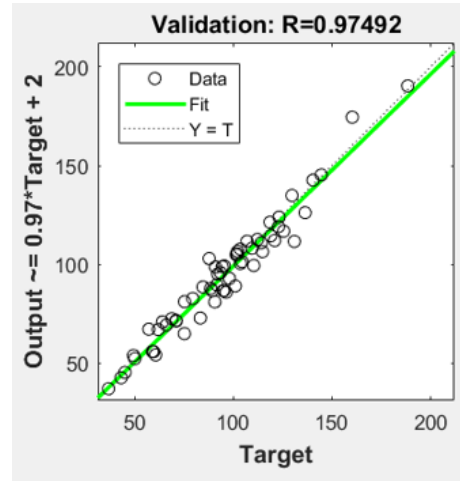
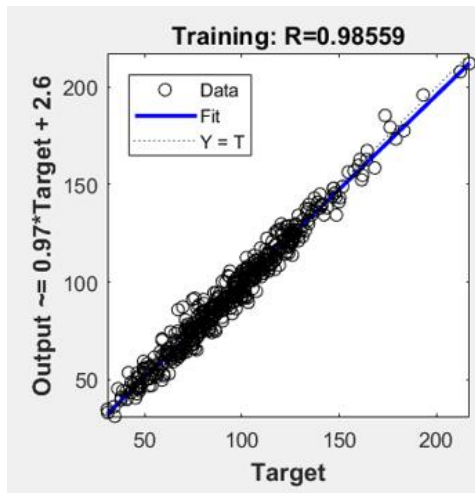
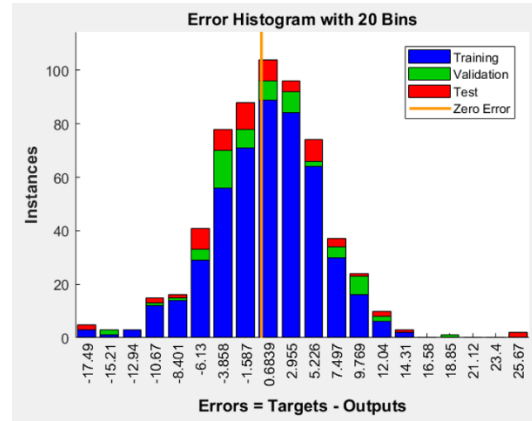
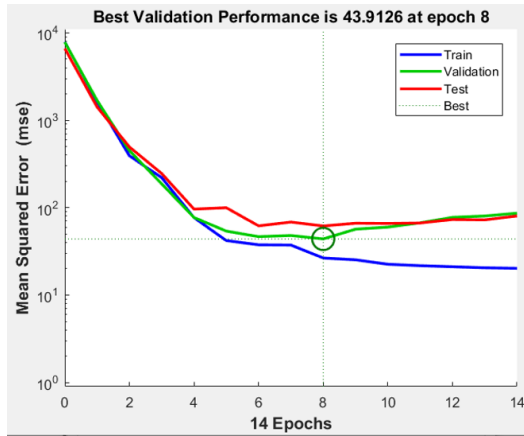
**E2\_500 (4-8-8-1)**



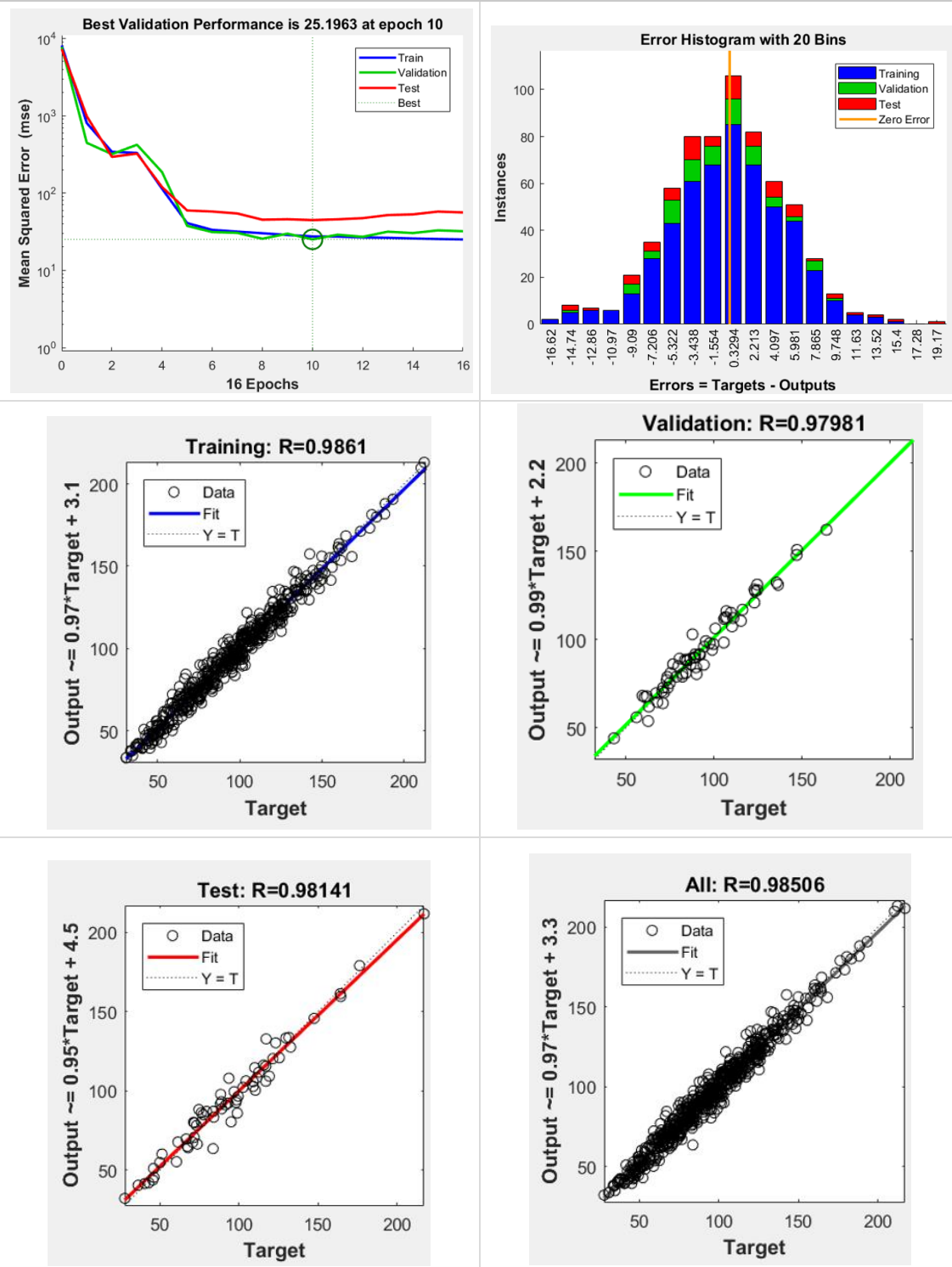
**E2\_550 (4-8-8-1)**



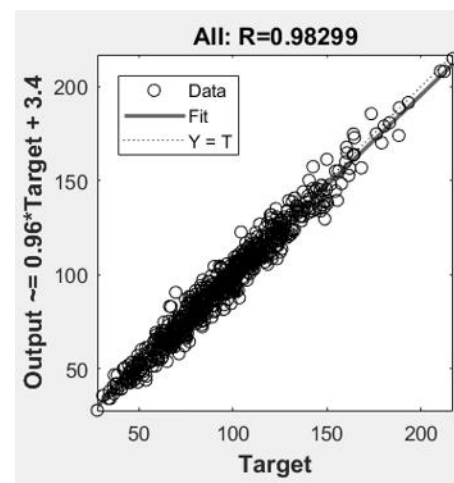
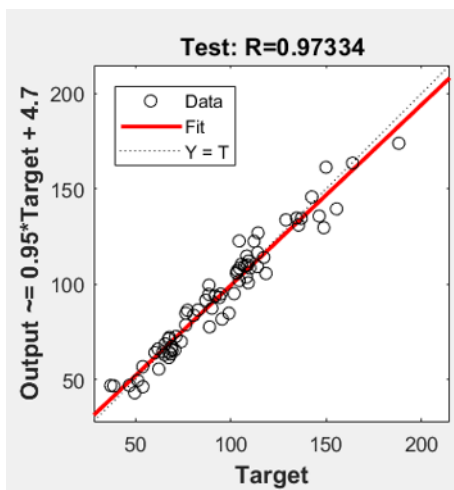
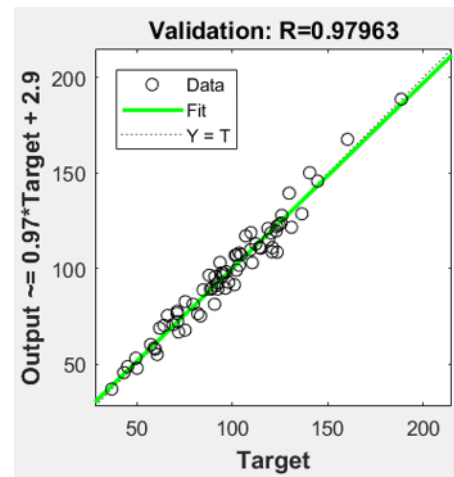
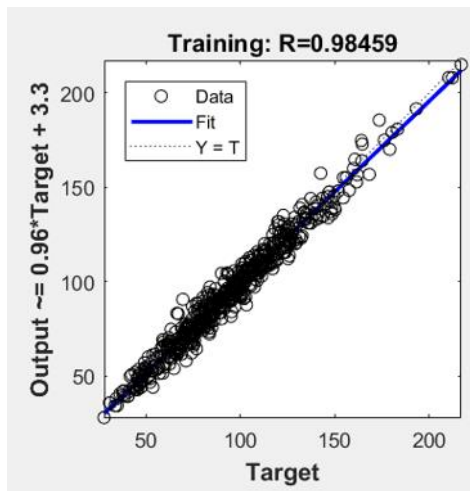
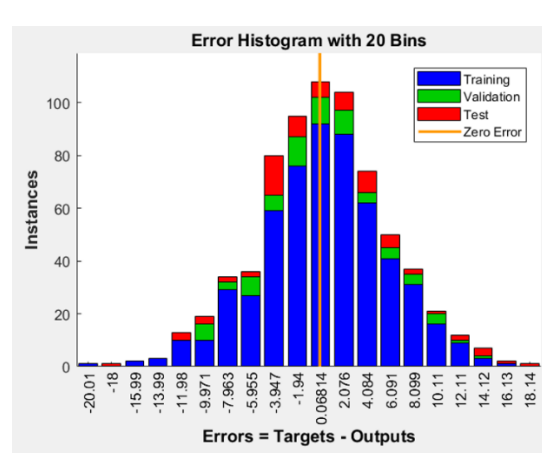
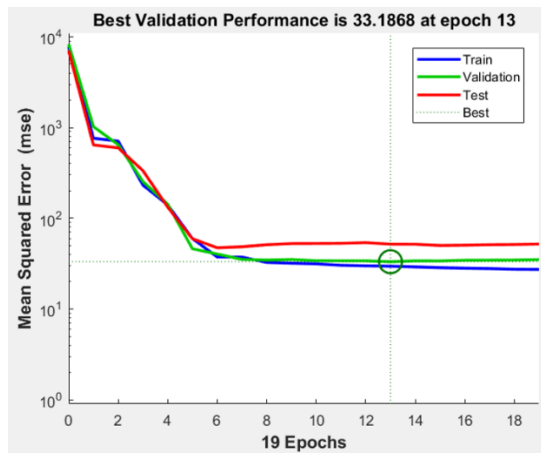
**E2\_600 (4-8-8-1)**



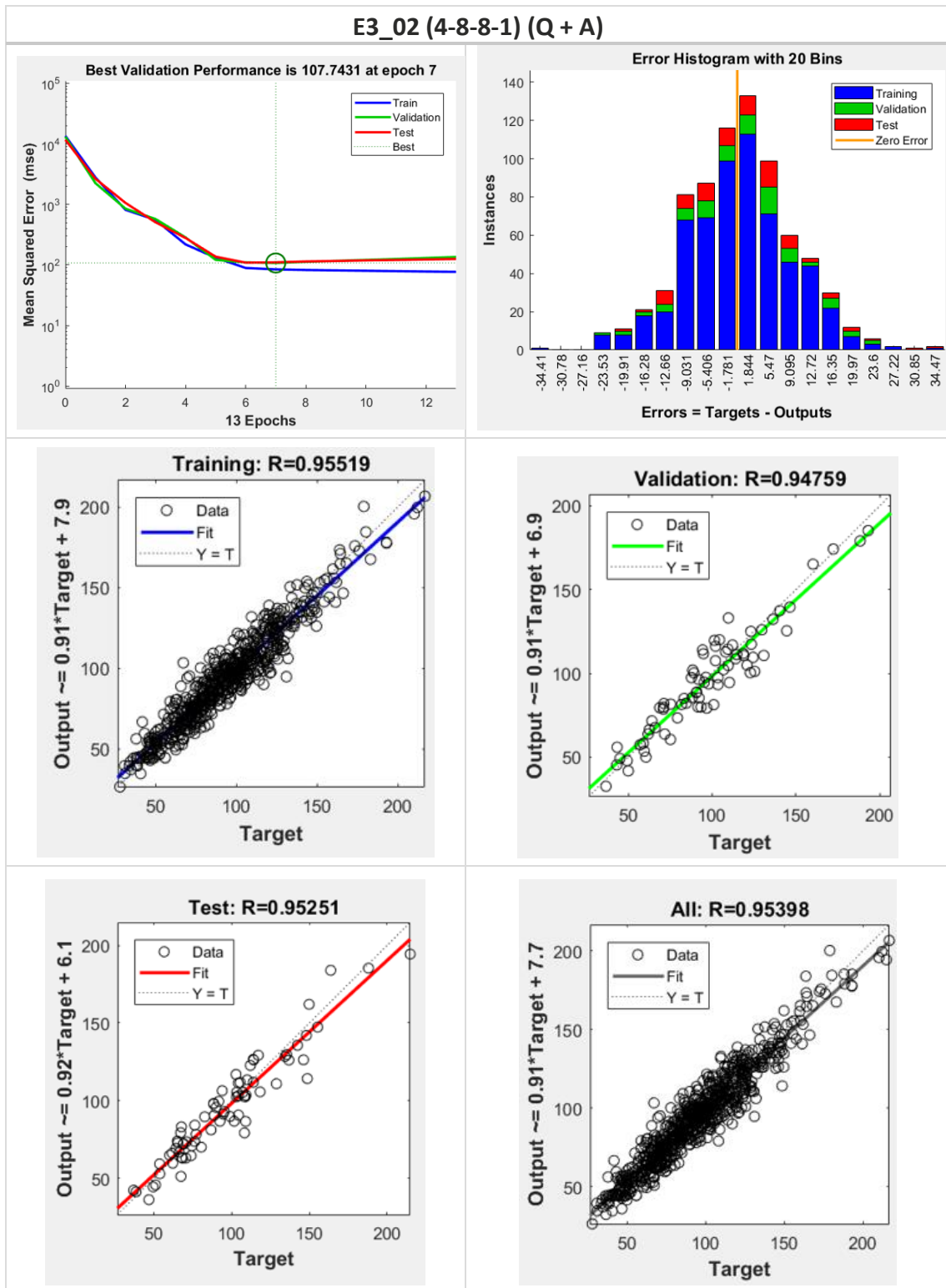
**E2\_650 (4-8-8-1)**

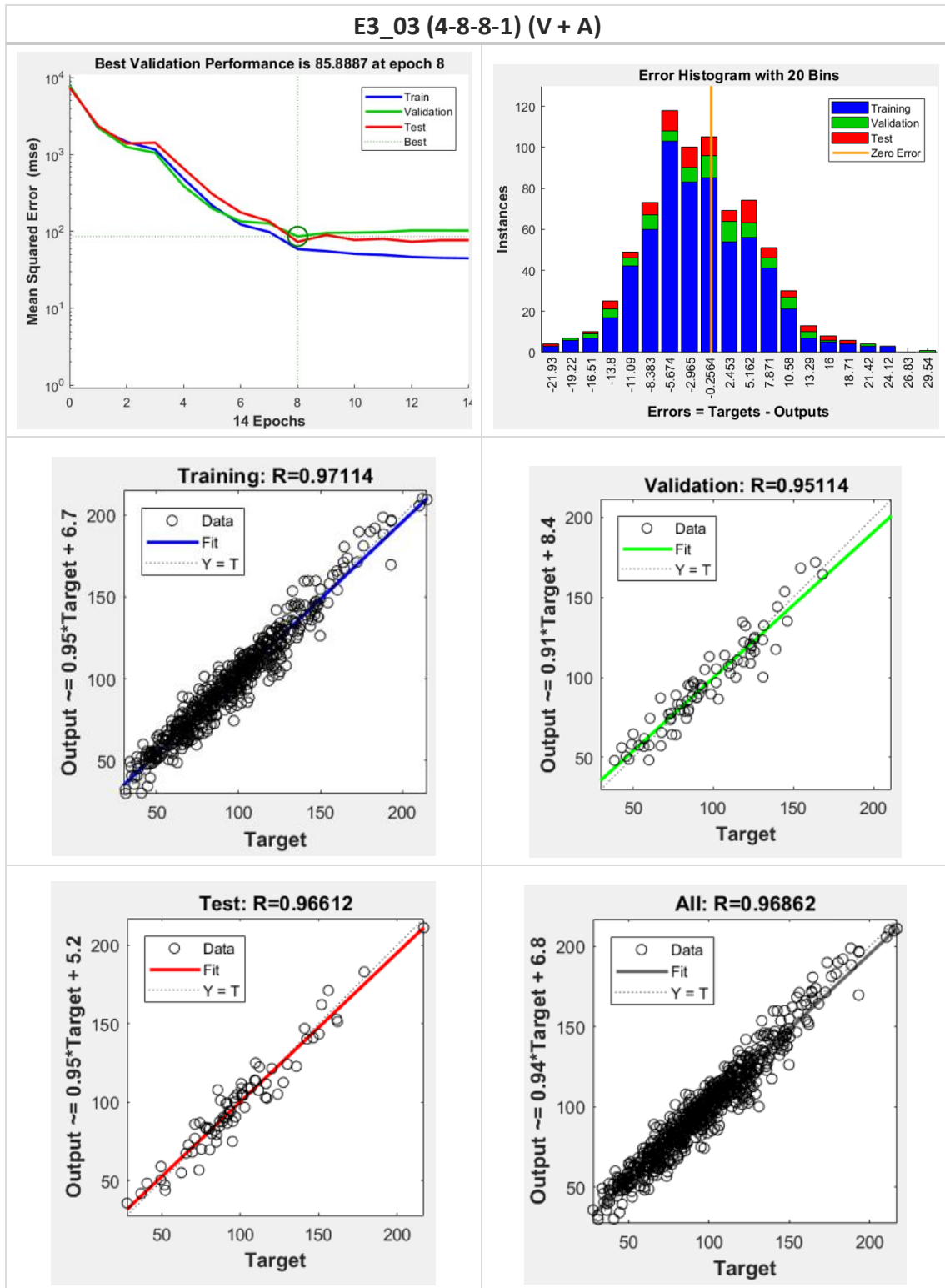


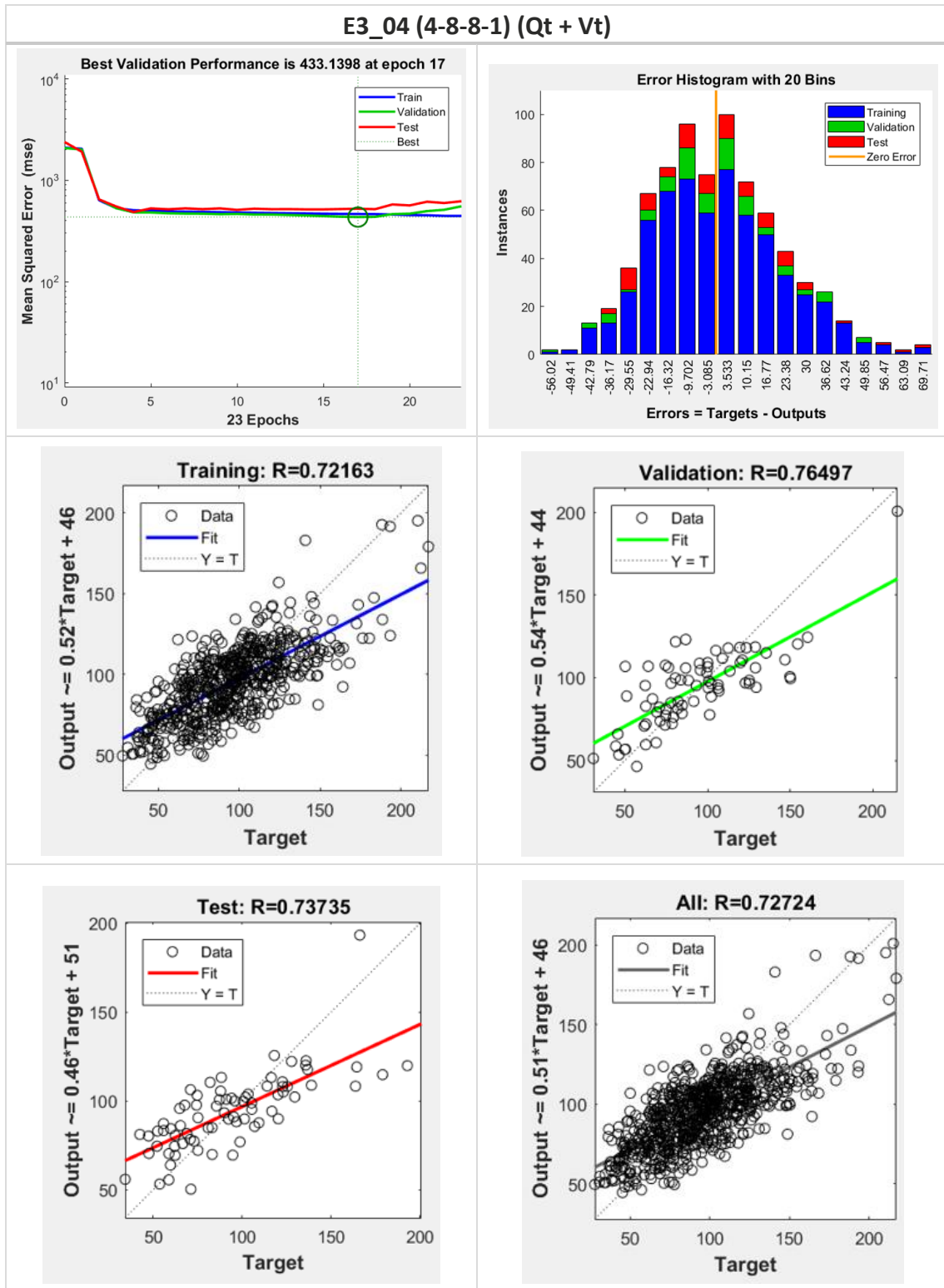
**E2\_700 (4-8-8-1)**



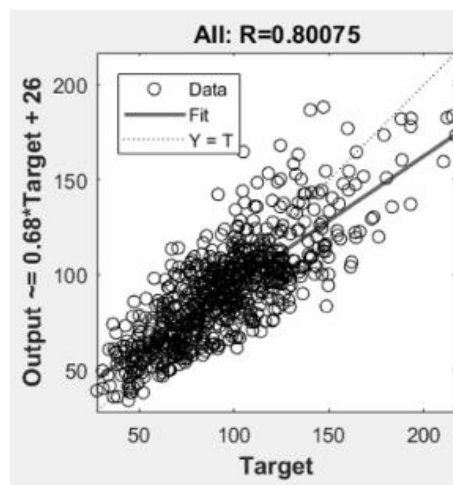
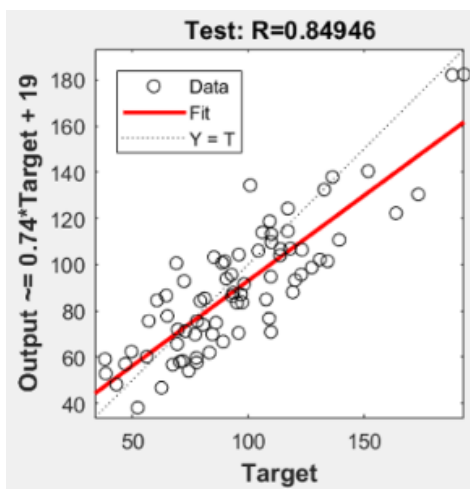
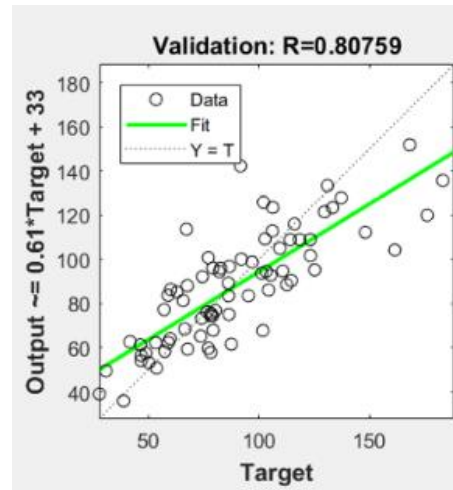
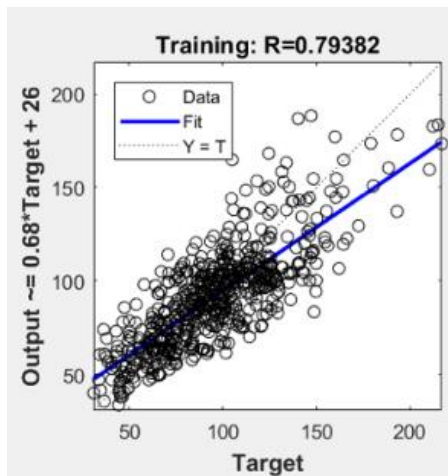
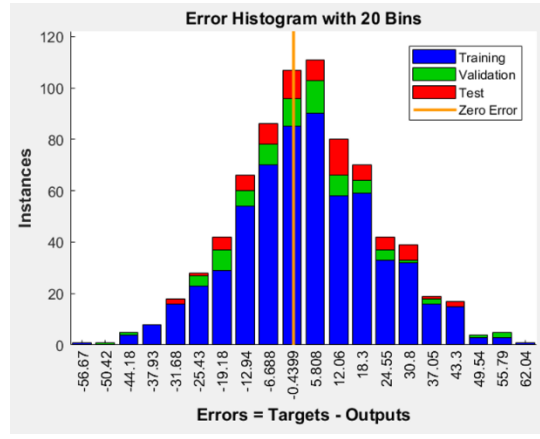
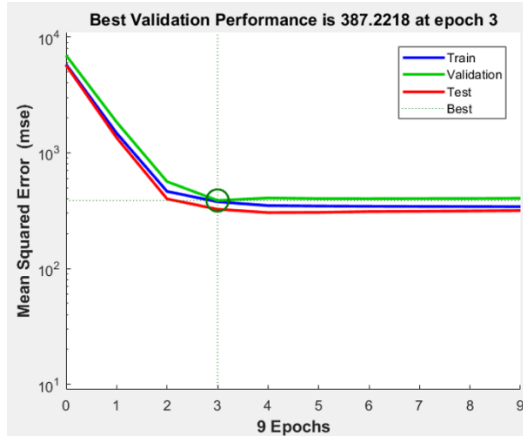
6.4.3 Ensaio 3



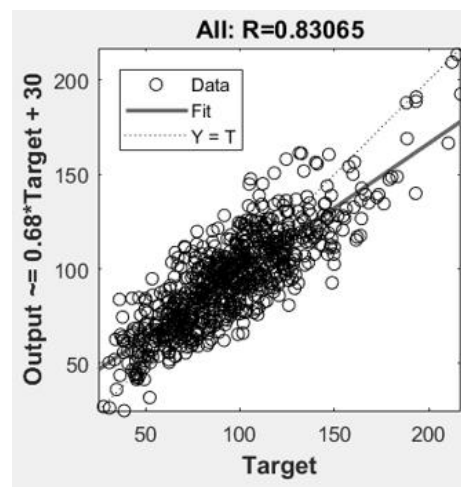
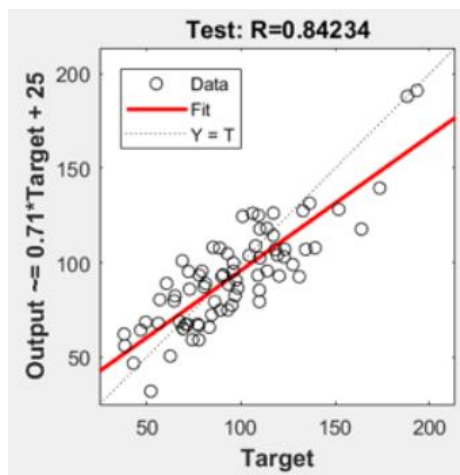
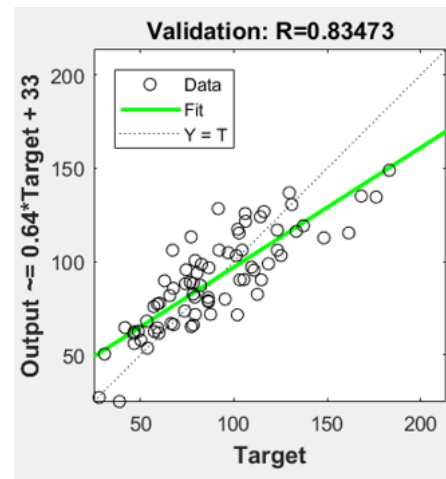
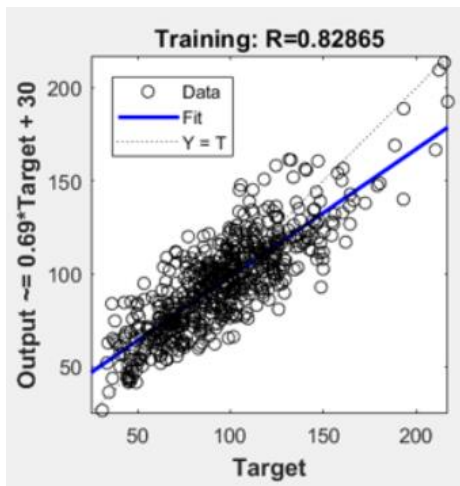
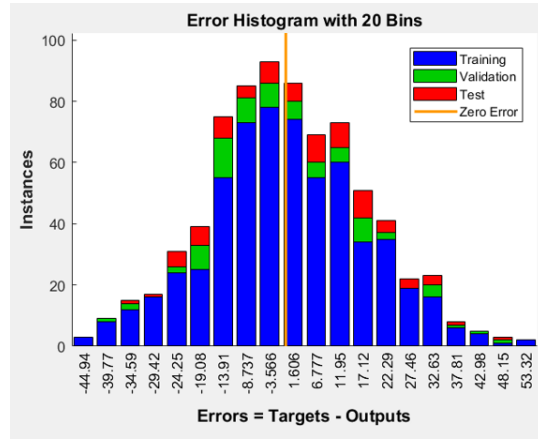
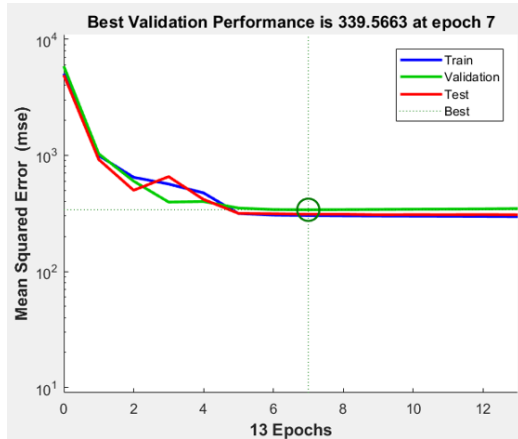




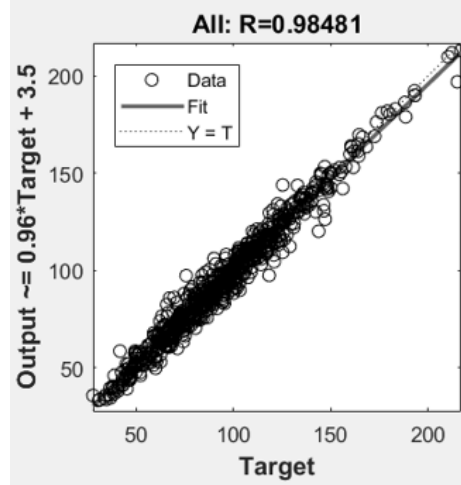
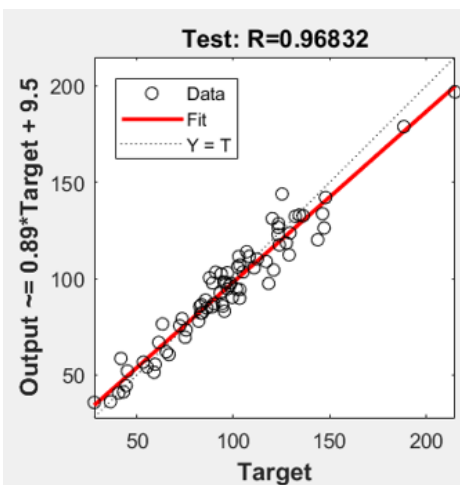
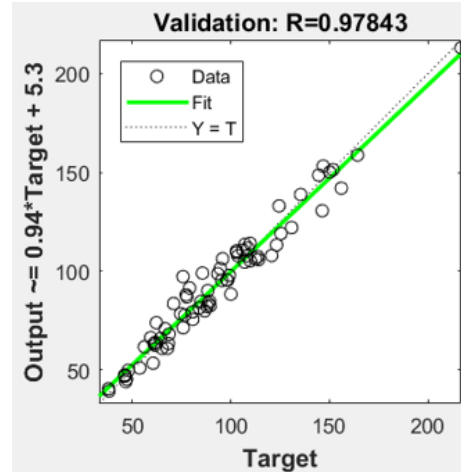
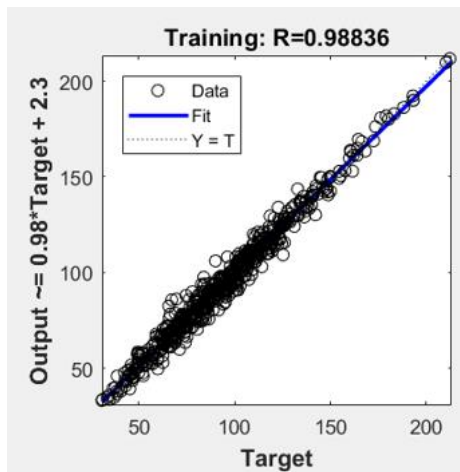
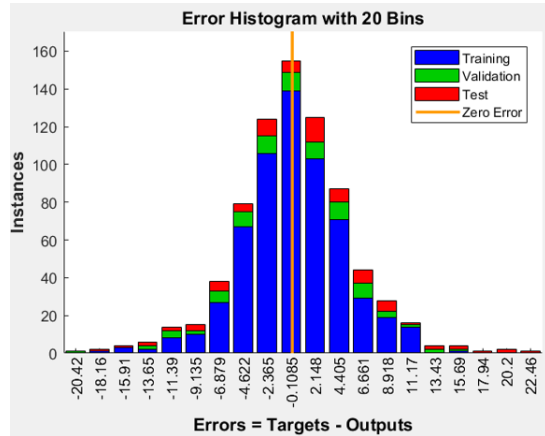
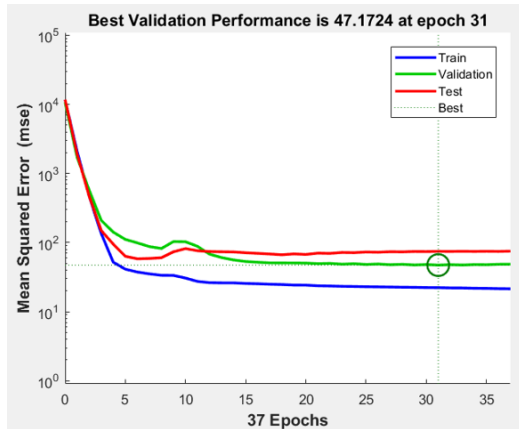
### E3\_05 (4-8-8-1) (Qt + Vt)



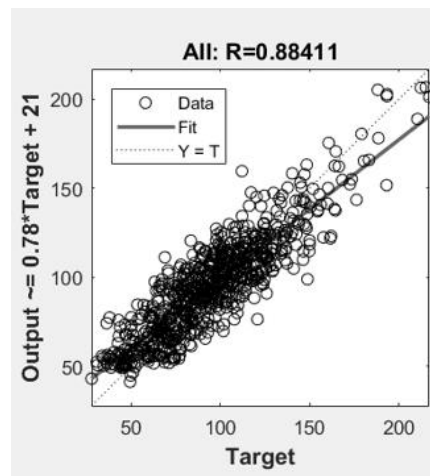
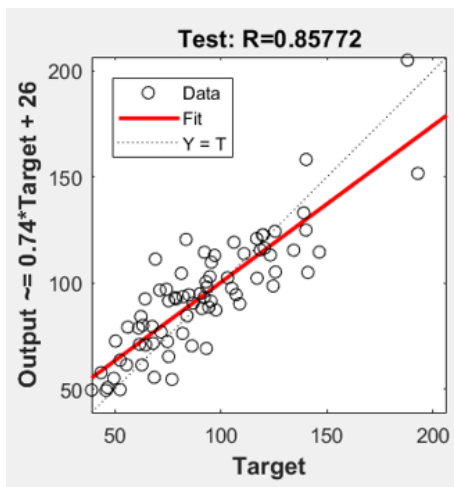
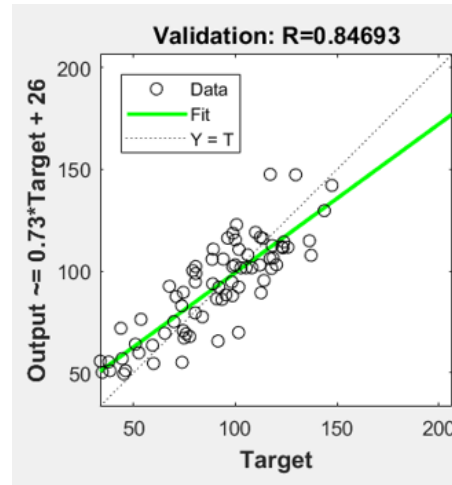
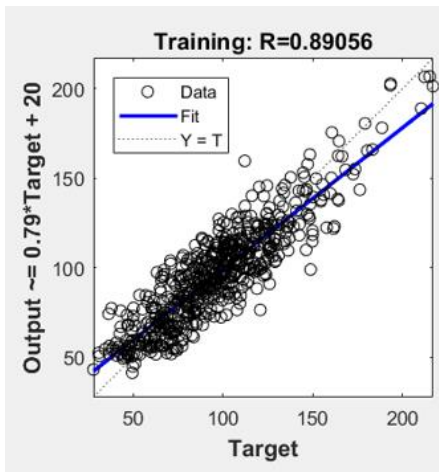
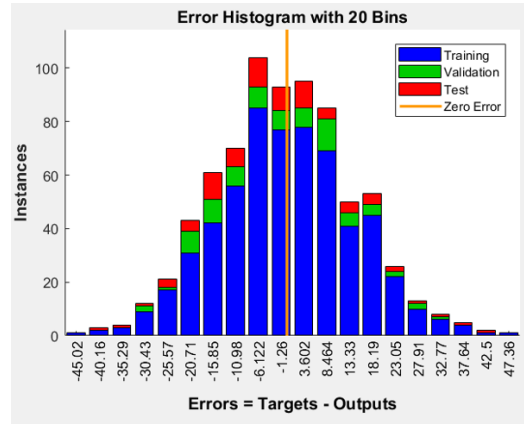
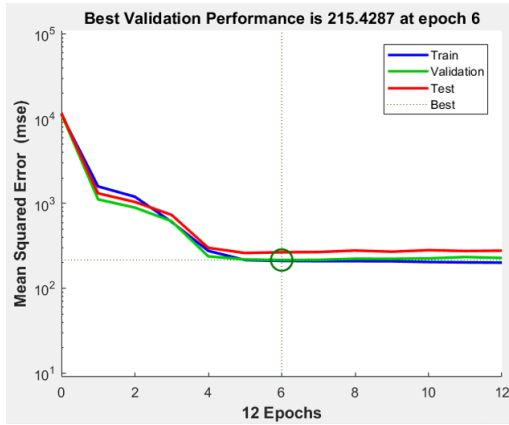
### E3\_06 (4-8-8-1) (Vt + At)



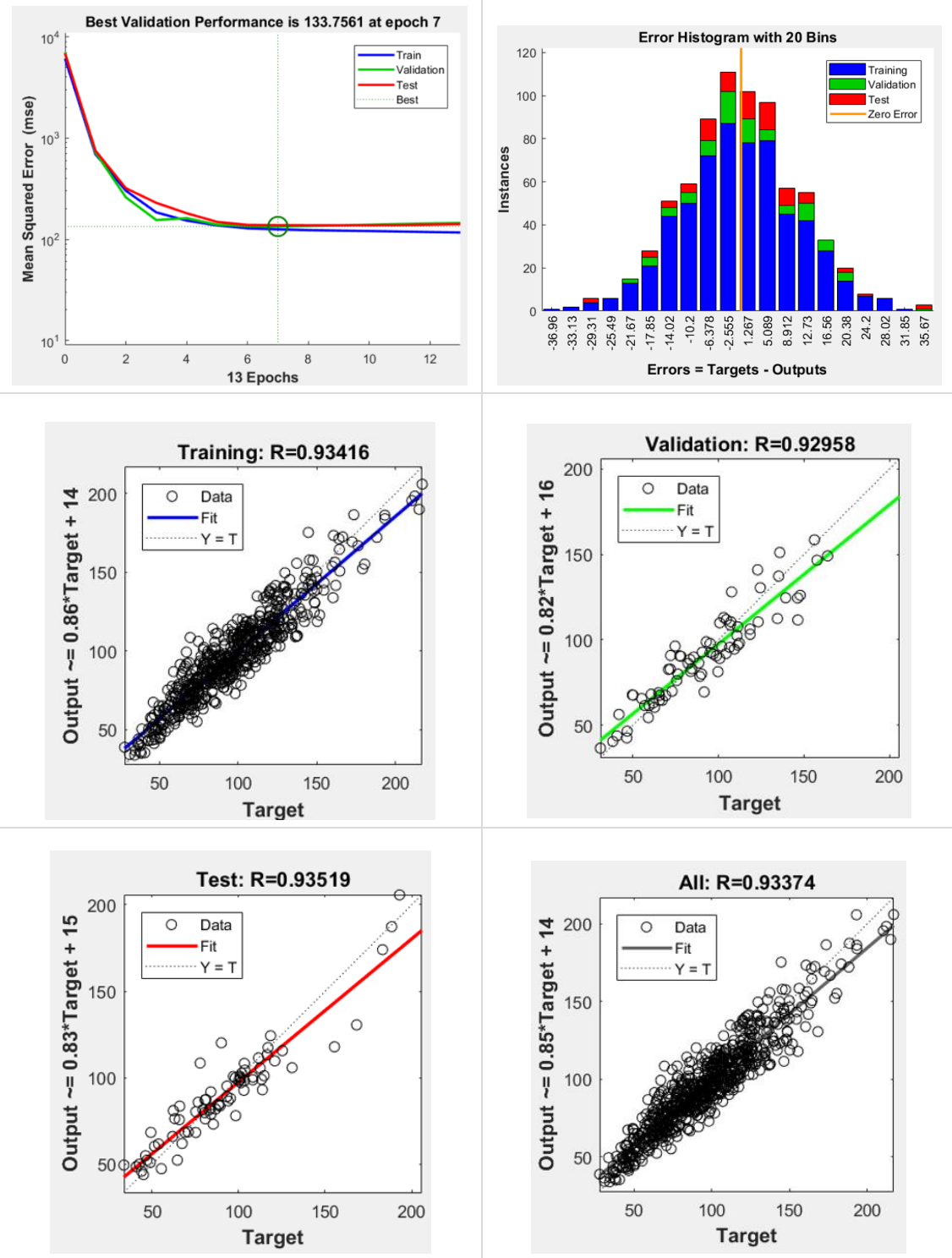
E3\_07 (4-8-8-1) (Q + V + A)



E3\_08 (4-8-8-1) (Qt + Vt + At)



### E3\_09 (4-8-8-1) (Qt + Vt)



### E3\_10 (4-8-8-1) (Q + At)

