



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

OPTIMIZAÇÃO DA ORÇAMENTAÇÃO PARA OPERAÇÕES COMPLEXAS DE MAQUINAGEM

Pedro Manuel Correia Lopes Nogueira



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

OPTIMIZAÇÃO DA ORÇAMENTAÇÃO PARA OPERAÇÕES COMPLEXAS DE MAQUINAGEM

Pedro Manuel Correia Lopes Nogueira

1110978

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, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP.

Júri

Presidente	Doutor Arnaldo Manuel Guedes Pinto <i>Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto</i>
Orientador	Doutor Francisco José Gomes da Silva <i>Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto</i>
Vogal	Prof. Doutor João Paulo Davim Tavares da Silva <i>Professor Associado com Agregação, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro</i>

Agradecimentos

Ao Doutor Francisco José Gomes da Silva, pela orientação e apoio prestado ao longo de todo o desenvolvimento deste trabalho. O seu incentivo foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

A todos os colaboradores departamento TECNOLANEMA, pelo apoio dado, conselhos e incentivos dados ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, um agradecimento a todos os colegas e docentes da ESEIG e do ISEP que me ajudaram, directamente e indirectamente, a evoluir e adquirir os conhecimentos na área de Engenharia que me permitiram realizar o presente trabalho.

Resumo

As operações de maquinagem de componentes tendo em vista os mais diversos sectores de actividade têm registado um crescimento sustentável em Portugal, devido a inúmeros factores como a modernização do nosso parque de equipamentos, a competitividade da nossa mão-de-obra e a qualidade patenteada pelos serviços prestados pelas nossas empresas, cada vez mais conscientes da importância que os clientes internacionais assumem na sua actividade, da necessidade de cumprimento dos compromissos estabelecidos em termos de prazo de entrega e da procura incessante de novos mercados e sectores de actividade que potenciem um valor-acrescentado mais atractivo do produto.

As solicitações do mercado no sector de actividade de prestação de serviços de maquinagem são imensas, e sempre extremamente condicionadas em termos de tempo de resposta. Por outro lado, os prestadores deste tipo de serviço ficam limitados por duas situações-limite: uma orçamentação por defeito poderá conduzir a prejuízos indesejáveis, ou mesmo inoportáveis, enquanto um preço excessivamente elevado poderá afastar o possível cliente e impedir a conquista de um novo projecto.

Orçamentar depressa e bem é uma operação complexa, que requer uma análise muito cuidada dos desenhos fornecidos pelo possível cliente, delinear a sequência operatória, salvaguardar as tolerâncias e tipos de acabamento pretendidos, minimizar as operações de fixação e seleccionar as melhores ferramentas para efectuar o trabalho pretendido.

Este trabalho, desenvolvido para a TECNOLANEMA, empresa do Grupo LANEMA, que é especialista na produção de peças em plástico técnico e em ligas de alumínio para os mais diversos sectores de actividade, tanto em Portugal como no Estrangeiro. O trabalho desenvolvido visou criar uma aplicação informática que permitisse elaborar orçamentos de forma rápida e precisa, através de determinados factores-chave previamente estudados. O projecto foi concluído e testado com sucesso na empresa.

Palavras-chave

Maquinagem, CNC (Computer Numeric Control), Orçamentação, Optimização de Processos

Abstract

Components machining operations with a view to a large number of activity sectors has performed sustained growth in Portugal, due to several factors such as our manufacturing systems modernization, competitiveness of our workforce and the patented quality for services rendered by our companies, increasingly aware of the importance that international customers assume in its business, the need to fulfill the commitments in terms of delivery time required by customers and incessant demand from new markets and sectors of activity to enhance the product added value.

Market quotation requests in the machining services are immense and always extremely limited in terms of response time. On the other hand, machining service providers are stressed by two situations-limit: a budgeting by default may lead to unwanted losses or even unaffordable, while an excessively high price can discourage a prospective client and avoid the achievement of a new project.

Budget quickly is a complex operation, which requires a very careful analysis of the drawings provided by the prospective client, outline the operating sequence, safeguard the tolerances and finishing types intended to minimize fixing operations, and selecting the best tools for the job.

This work was developed for the TECNOLANEMA, a LANEMA group company, which is specialized in the production of technical plastic and aluminium alloys parts for different sectors of activity, both in Portugal and abroad. The work aimed to create a software application that allows preparing budgets quickly and accurately, through certain key factors previously studied. The project was completed and successfully tested at the company.

Keywords

Machining process, CNC (Computer Numeric Control), Budgeting, Processes Optimization

Lista de Símbolos e Abreviaturas

€	Euro
°C	<i>Celsius</i>
Al ₂ O ₃	Óxido de alumínio
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CNC	<i>Computer Numeric Control</i>
Co	Cobalto
CrN	Nitreto de Crómio
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
Fe	Ferro
FeN	Nitreto de Ferro
HM	<i>Hard Metal</i>
HRC	Unidade de dureza <i>Rockwell</i>
HSS	<i>High Speed Steel</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
Kg	Quilograma
m ²	Metro quadrado
Min	Minutos
mm	Milímetros
NbC	Carboneto de nióbio
∅	Diâmetro
PVD	<i>Physical Vapor Deposition</i>

Ra	Rugosidade média aritmética
rpm	Rotação por minuto
TaC	Carboneto de tântalo
TiAlN	Nitreto de Titânio e Alumínio
TiC	Carboneto de titânio
TiCN	Carbonitreto de Titânio
TiN	Nitreto de Titânio
WC	Carboneto de Tungstênio
ZrN	Nitreto de Zircônio
μm	Micrómetro

Índice de Figuras

Figura 1: Escultura maquinada a partir de um bloco de alumínio (Fonte: TECNOLANEMA, 22-12-2012)....	5
Figura 2: Exemplo de acabamento de uma cambota forjada (DANOBAT GROUP, 2014).....	6
Figura 3: Demonstração do arranque de apara pelo método de torneamento (Sandvik Coromant, 2012). .6	
Figura 4: Exemplo de fresagem periférica (Sandvik Coromant, 2013).....	7
Figura 5: Exemplo de fresagem facial (Sandvik Coromant, 2011)	8
Figura 6: Fresagem de topo (Secco Tools, 2013)	8
Figura 7: Demonstração da execução de um boleado por intermédio de uma fresa de canto (Techniques, 2013).....	9
Figura 8: Demonstração da operação de roscagem por intermédio de um macho (Sandvik Coromant, 2012).....	9
Figura 9: Operação de roscagem interna por interpolação (Guhring, Inc., 2012)	10
Figura 10: Operação de roscagem externa por interpolação (Tormach CNC, 2010).....	10
Figura 11: Exemplo de uma peça obtida por maquinagem a três eixos contínuos (Dantron CNC, 2013) ..	10
Figura 12: Exemplo de uma peça obtida por maquinagem a cinco eixos contínuos (DMG MORI SEIKI Media, 2012)	11
Figura 13: Execução de um canal lateral por intermédio de uma fresa “T” (Seco Tools, 2012)	11
Figura 14: Fresadora CNC cinco eixos DMU 80 com rotação de mesa (DMG MORI SEIKI, 2014)	13
Figura 15: Fresadora CNC cinco eixos DMC 65 <i>MonoBLOCK</i> com troca de paletes RS 20 (DMG MORI SEIKI, 2014).....	13
Figura 16: Exemplo de uma fresadora de cinco eixos DMG MORI SEIKI ULTRASONIC 30 linear (DMG MORI SEIKI, 2014).....	15
Figura 17: Exemplificação dos eixos de uma fresadora CNC mais comum (Haas Automation, Inc., 2013) 16	
Figura 18: Exemplificação dos eixos de uma fresadora horizontal (Co.KG, 2009/2015).....	17
Figura 19: Exemplo de uma peça que necessita de maquinagem lateral (Haas Automation, Inc., 2013) ..	17
Figura 20: Exemplificação da estrutura de uma fresadora horizontal com quatro eixos (DMG MORI SEIKI, 2014).....	18
Figura 21: Fresadoras CNC horizontais de quatro eixos com sistema de alimentação por torres (DMG MORI SEIKI, 2014) (Haas Automation, Inc, 2014)	18
Figura 22: Pormenor lateral de uma peça maquinada com recurso a posicionamento por cinco eixos (Hermle Maschinenbau GmbH, 2014).....	19
Figura 23: Diferentes tipos de fresadoras CNC de cinco eixos (rotação da árvore e rotação da mesa) (DMG MORI SEIKI, 2014) (Hermle Maschinenbau GmbH, 2014) (DMG MORI SEIKI, 2014).....	20
Figura 24: Exemplo de uma Furadora CNC a operar numa viga estrutural (HACO, 2011)	21
Figura 25: Exemplo de uma Furadora CNC a executar operações com a árvore inclinada (HACO Mubea Systems, 2013).....	22
Figura 26: Aplicação de uma furadora CNC para gravação de placas de circuitos eléctricos (DIGIMAC) ...	22
Figura 27: Exemplos de furadoras CNC com diferentes tipos de aperto e diferentes áreas de trabalho (HACO, 2011) (Kennedy, 2011)	23

Figura 28: Estrutura principal de um cone de fixação de ferramentas para fresadora (Dormer Tools, 2005)	24
Figura 29: Exemplificação do sistema de funcionamento do pino de tração (Dormer Tools, 2005)	25
Figura 30: Gráfico da evolução do tempo de vida de ferramenta com o incremento da velocidade de corte (Tschätsch, 2007)	36
Figura 31: Gráfico exemplo de parametrização da velocidade de corte óptima, em função da ferramenta e máquina (Tschätsch, 2007)	36
Figura 32: Exemplo de uma peça maquinada	38
Figura 33: Fresadora vertical de três eixos HAAS MINIMILL2 (Haas Automation Inc, 2014)	39
Figura 34: Exemplificação dos três apertos necessários para execução da peça	39
Figura 35: Fresadora horizontal EC-400 PP com sistema de paletes automática (Haas Automation, Inc, 2014)	41
Figura 36: Exemplo do primeiro aperto para execução da peça exemplo (5000 unidades) (Chick Workholding Solutions, 2009)	41
Figura 37: Principais passos para definir estratégia de maquinagem	42
Figura 38: Ra – Rugosidade média aritmética do perfil da superfície (Mitsubishi Materials Corporation, 2015)	45
Figura 39: Exemplificação do acabamento com um avanço de 0,25 mm/revolução	47
Figura 40: Exemplificação do acabamento com um avanço de 0,10 mm/revolução	47
Figura 41: Grupo LANEMA	64
Figura 42: Estrutura base do departamento TECNOLANEMA	64
Figura 43: Tarefas principais dos departamentos da TECNOLANEMA	65
Figura 44: Espaço de produção da TECNOLANEMA	66
Figura 45: Equipamentos de controlo dimensional e tridimensional	67
Figura 46: Sistema de medição e armazém de ferramentas	67
Figura 47: Principais tipos de máquinas disponíveis na TECNOLANEMA	72
Figura 48: Exemplo de peças maquinadas em fresadoras de aperto mecânico (TECNOLANEMA 10-11-2011/18-03-2013)	73
Figura 49: Exemplo de peças maquinadas nas MECAS (TECNOLANEMA 04-04-2013)	73
Figura 50: Exemplo simplificado do tipo de geometria a trabalhar nas fresadoras de aperto mecânico	74
Figura 51: Exemplo simplificado do tipo de geometria a trabalhar nas MECAS	74
Figura 52: Caso exemplo de acesso de ferramenta	75
Figura 53: Exemplo de uma peça maquinada com mais 5 mm de espessura para fixação no primeiro aperto (TECNOLANEMA 25-01-2012)	76
Figura 54: Principais tipologias de materiais maquinados pela TECNOLANEMA	78
Figura 55: Gráfico de diferença percentual entre os valores padrão de velocidades de avanço usados nos diferentes tipos de materiais	80
Figura 56: Gráfico de diferença percentual entre os valores típicos de incremento axial usados nos diferentes tipos de materiais	80
Figura 57: Exemplo de uma peça maquinada por operações de fresagem	82
Figura 58: Etapas a seguir no processamento de pedidos de cotação de peças maquinadas	84

Figura 59: Etapas mais importantes a seguir na etapa <i>Definição da estratégia de fabrico</i>	85
Figura 60: Etapas a seguir no processamento de pedidos de cotação (resumido).....	87
Figura 61: Princípio de funcionamento da aplicação de orçamentação de peças para fresadoras de aperto mecânico	90
Figura 62: Exemplo de uma parte da listagem dos materiais maquinados na TECNOLANEMA	92
Figura 63: Exemplificação da trajectória seguida durante a operação de fresagem periférica	94
Figura 64: Exemplo de fresa de topo integral utilizada para fresagem periférica	94
Figura 65: Principais famílias de materiais maquinados pela TECNOLANEMA (resumo)	95
Figura 66: Exemplificação da trajectória seguida durante a operação de facejamento	96
Figura 67: Tipo de fresa utilizada para executar operações de facejamento	97
Figura 68: Exemplificação da trajectória seguida durante a operação de fresagem de topo (trajectória de um incremento).....	98
Figura 69: Exemplificação da trajectória seguida durante a operação de furação	101
Figura 70: Principais etapas de preparação a ser contabilizadas no orçamento de peças maquinadas... 105	
Figura 71: Exemplo de limpeza de arestas viva em peças maquinadas (VARGUS Ltd, 2010)	108
Figura 72: Exemplo da tabela de cálculo para determinação dos tempos de fresagem periférica	112
Figura 73: Exemplo da tabela de cálculo para determinação dos tempos de fresagem facial	113
Figura 74: Exemplo da tabela de cálculo para determinação dos tempos de fresagem de topo de cavidades.....	114
Figura 75: Exemplo da tabela de cálculo para determinação dos tempos de furação	115
Figura 76: Exemplo do alerta da aplicação, caso as medidas ultrapassem limites das máquinas.....	119
Figura 77: HAAS EC-400 com sistema de troca automática de paletes	119
Figura 78: Aspecto gráfico da inserção de dados para a aplicação de fresadoras de aperto mecânico ...	121
Figura 79: Exemplo de como determinar medidas a preencher na tabela de dimensões da aplicação para fresadoras de aperto mecânico	124
Figura 80: Exemplificação da tabela lateral de sinalização de opções seleccionadas.....	127
Figura 81: Exemplo da folha final do orçamento para fresadoras de aperto mecânico	128
Figura 82: Resumo do funcionamento da aplicação para fresadoras de aperto mecânico	129
Figura 83: Exemplo de peça maquinada nas MECAS.....	136
Figura 84: Exemplo de um contorno de uma cavidade sem desbaste da totalidade do material excedente	139
Figura 85: Exemplo de uma broca rasa (KENNAMETAL, 2015)	140
Figura 86: Exemplo da extremidade de um macho utilizado em fresadoras CNC (Sandvik Coromant, 2013)	141
Figura 87: Tipo de máquina auxiliar para roscagem ou mandrilamento (Tecno Spiro Machine Tool, SL, 2003).....	142
Figura 88: Exemplo de cálculo para estimar tempos de facejamento dos aproveitamentos	145
Figura 89: Exemplo de cálculo utilizado para determinação dos tempos de fresagem periférica	146
Figura 90: Exemplo de cálculo utilizado para determinação dos tempos de furação simples	146
Figura 91: Exemplo de cálculo utilizado para determinação dos tempos de furação roscadas na máquina	147

Figura 92: Exemplo de cálculo utilizado para determinação dos tempos de furação roscada na ROSCAMAT	147
Figura 93: Exemplo de cálculo utilizado para determinação dos tempos de furação mandriladas na máquina.....	148
Figura 94: Exemplo de cálculo utilizado para determinação dos tempos de furação mandrilada na ROSCAMAT	148
Figura 95: Tipologia de furos considerada no cálculo de tempos de furação com caixa para parafusos .	149
Figura 96: Exemplo de cálculo utilizado para determinação dos tempos de furação com caixa de $\varnothing 10$ mm	149
Figura 97: Exemplo de cálculo utilizado para determinação dos tempos de fresagem de topo	150
Figura 98: Alertas da aplicação, caso as medidas ultrapassem os limites das máquinas MECAS.....	151
Figura 99: Sistema de apalpação utilizado na TECNOLANEMA (RENISHAW OMP60) (Renishaw plc, 2008)	152
Figura 100: Exemplo de fixação de peça para execução de furos laterais em fresadoras de aperto mecânico	153
Figura 101: Alerta da aplicação, caso as medidas ultrapassem os limites das máquinas para apertos auxiliares.....	153
Figura 102: Valor mínimo de espaçamento entre peças a considerar (destacado a vermelho)	154
Figura 103: Aspecto gráfico da aplicação para MECAS – dados principais	156
Figura 104: Aspecto gráfico da aplicação para MECAS – primeiro aperto.....	157
Figura 105: Aspecto gráfico da aplicação para MECAS – segundo aperto.....	157
Figura 106: Aspecto gráfico da aplicação para MECAS – aperto auxiliar 1	158
Figura 107: Exemplo da folha final do orçamento para MECAS	165
Figura 108: Resumo do funcionamento da aplicação para fresadoras MECAS – parte 1	166
Figura 109: Resumo do funcionamento da aplicação para fresadoras MECAS – parte 2	167

Índice de Tabelas

Tabela 1: Comparação entre custos de fresadoras com diferentes sistemas (Haas Automation, Inc, 2014)	14
Tabela 2: Tipo de flanges de fixação para cones de fresadoras (Dormer Tools, 2005)	26
Tabela 3: Sistemas de fixação de ferramenta mais comuns (Dormer Tools, 2005)	27
Tabela 4: Tabela comparativa entre os diferentes sistemas de fixação (Dormer Tools, 2005)	28
Tabela 5: Ferramentas mais comuns para operações de fresagem (Machine Mart, 2014) (SGS, 2015) (Sandvik Coromant, 2015) (Logismarket, 2014) (Fullerton Tools Company, inc., 2014) (HANNA, Soluções Integradas, 2014)	29
Tabela 6: Exemplo de ferramentas HSS	39
Tabela 7: ISO 2768 – Tolerâncias lineares (Morais, 2007)	43
Tabela 8: ISO 2768 – Tolerâncias geométricas para Perpendicularidade (Morais, 2007)	43
Tabela 9: ISO 2768 – Tolerâncias geométricas para Simetria (Morais, 2007)	43
Tabela 10: ISO 2768 – Tolerâncias geométricas para Rectitude e planeza (Morais, 2007)	44
Tabela 11: ISO 2768 – Tolerâncias geométricas para batimento circular (Morais, 2007)	44
Tabela 12: Rugosidades utilizadas segundo o tipo de aplicação (Morais, 2007)	46
Tabela 13: Tabela de selecção de ferramentas para fresagem periférica	95
Tabela 14: Divisores utilizados para redução da velocidade de avanço	96
Tabela 15: Tipo de fresas de topo utilizadas para a operação de fresagem de topo	98
Tabela 16: Cálculo da trajectória de um incremento na fresagem de topo de uma cavidade	99
Tabela 17: Tabela de selecção da ferramenta de acabamento de cavidades	100
Tabela 18: Exemplo do cálculo da trajectória percorrida durante a execução de uma furação	102
Tabela 19: Tempo-base para etapa de CAD	106
Tabela 20: Tempo-base para etapas de CAM	107
Tabela 21: Tempo base para etapas de <i>SETUP</i>	107
Tabela 22: Valores de inflação dos tempos de maquinagem em função do nível da peça	116
Tabela 23: Tempos adicionais em função do número de operações associada a cada nível	117
Tabela 24: Factores a aplicar nos tempos de maquinagem em função da quantidade	117
Tabela 25: Principais máquinas a ter em conta no grupo de fresadoras de aperto mecânico	118
Tabela 26: Tabela de inserção de dados relativos aos “Dados gerais”	122
Tabela 27: Tabela de inserção de dados relativos ao “Material”	123
Tabela 28: Tabela de inserção de dados relativos às “Dimensões”	124
Tabela 29: Tabela de inserção de dados relativos à “Estratégia”	125
Tabela 30: Tabela de inserção de dados relativos a “Comentários Técnicos”	127
Tabela 31: Desvios globais entre tempos reais e previstos pela aplicação de fresadoras de aperto mecânico	131
Tabela 32: Principais desvios relativos à operação de acabamentos	133
Tabela 33: Principais desvios relativos à operação de Execução	134
Tabela 34: Tabela de selecção de fresas para fresagem periférica	137

Tabela 35: Tempos a considerar para desenho.....	144
Tabela 36: Tempos a considerar para programação CNC	144
Tabela 37: Tempos a considerar para preparação da máquina	144
Tabela 38: Principais máquinas a ter em conta para programa das MECAS.....	151
Tabela 39: Tabela de inserção de dados relativos ao “Material a considerar”	158
Tabela 40: Tabela de inserção de dados relativos à “Estratégia global”	159
Tabela 41: Tabela de inserção de dados relativos à “Estratégia primeiro aperto” – furações.....	159
Tabela 42: Tabela de inserção de dados relativos à “Estratégia primeiro aperto” – cavidades.....	161
Tabela 43: Tabela de inserção de dados relativos à estratégia para o segundo aperto – Furações	162
Tabela 44: Tabela de inserção de dados relativos à “Aperto auxiliar” – Furações.....	163
Tabela 45: Tabela de inserção de dados relativos aos “Comentários Técnicos”	164
Tabela 46: Desvios globais entre tempos reais e previstos pela aplicação para as MECAS	169

Índice

Lista de Símbolos e Abreviaturas	xiii
Índice de Figuras	xv
Índice de Tabelas	xix
Índice	xxi
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objectivos	2
1.3. Metodologia	3
1.4. Estrutura	4
2. Revisão Bibliográfica	5
2.1. A maquinagem por arranque de apara: breve introdução	5
2.1.1. Operações mais correntes de maquinagem por arranque de apara	5
2.1.2. A importância dos equipamentos de maquinagem no custeio das peças	12
2.1.2.1. Fresadoras CNC	15
2.1.2.2. Furadoras CNC	21
2.1.3. Principais tipos de fixação de ferramentas	24
2.1.3.1 Principais tipos de fixação de ferramentas para fresadoras CNC	24
2.1.4. Ferramentas para maquinagem por arranque de apara	29
2.1.4.1 Principais tipos de materiais utilizados nas ferramentas	30
2.1.4.2 Principais tipos de revestimentos e tratamentos	33
2.1.5. Estratégias de maquinagem	37
2.1.6. Precisão e qualidade superficial	42
2.2. Custeio industrial: Breve introdução	50
2.2.1. Custo relativo aos recursos humanos	50
2.2.2. Custo relativo à amortização dos equipamentos	52
2.2.3. Custos com a energia	53
2.2.4. Custos com a manutenção	54
2.2.5. Custos gerais de fabrico	55
2.3. Prática do custeio industrial na maquinagem: resumo	58
3. Desenvolvimento	61
3.1. Objectivos do trabalho	61
3.2. Caracterização da empresa	63
3.2.1 Orçamentação	69
3.3. Padronização de factores directamente ligados à maquinagem	71
3.3.1. Influência da geometria da peça	72

3.3.2. Número de fixações	75
3.3.2.1. Número de fixações para fresadoras de aperto mecânico ou MECAS.....	75
3.3.3. Parâmetros de fabricação	78
3.4. Conjugação de factores ligados à produção da peça	83
3.5. Pressupostos para a criação de uma aplicação informática de orçamentação	86
3.6. Aplicação informática desenvolvida	89
3.6.1. Aplicação para fresadoras de aperto mecânico.....	89
3.6.1.1. Cálculos de tempo de maquinagem dos principais tipos de operações para fresadoras de aperto mecânico	91
3.6.1.2 Estimativa de tempos de preparação e finalização para fresadoras de aperto mecânico.....	105
3.6.1.3. Selecção do nível de complexidade da peça e cálculo final dos tempos de maquinagem	109
3.6.1.4. Selecção do tipo de máquina para fresadoras de aperto mecânico.....	118
3.6.1.5. Cálculo do material para fresadoras de aperto mecânico	120
3.6.1.6. Inserção e análise de dados para fresadoras de aperto mecânico	121
3.6.1.7. Validação da aplicação de fresadoras de aperto mecânico em casos práticos.....	130
3.6.1.8. Análise dos resultados da aplicação para fresadoras de aperto mecânico	131
3.6.2. Aplicação para fresadoras de aperto por Vácuo (MECAS)	135
3.6.2.1 Cálculos de tempo de maquinagem dos principais tipos de operações para MECAS	136
3.6.2.2 Estimativa de tempos de preparação e finalização para MECAS	143
3.6.2.3. Cálculo final dos tempos de maquinagem para MECAS	145
3.6.2.4. Seleção do tipo de máquina para MECAS.....	151
3.6.2.5. Cálculo do material para MECAS	154
3.6.2.6. Inserção e análise de dados para MECAS	155
3.6.2.7. Validação da aplicação para MECAS em casos práticos.....	168
3.6.2.8. Análise dos resultados da aplicação para MECAS.....	169
3.8. Sugestões de melhoria para a aplicação informática	170
4. Conclusões.....	172
5. Bibliografia e Outras Fontes de Informação	175
5.1. Bibliografia.....	175
5.2. Outras fontes de informação	176

1. Introdução

1.1. Enquadramento

A indústria metalomecânica tem sido um pilar inabalável na economia nacional, mantendo mesmo a sua vitalidade em tempos de crise. A indústria metalomecânica pesada era um forte sustentáculo da economia nacional antes de 1974, e nem mesmo o encerramento ou desmantelamento de grandes empresas como a SOREFAME, LISNAVE, MAGUE e SEPSA deixaram que o país perdesse as suas tradições de bem saber fazer na área da metalomecânica. Surgiram assim muitos outros subsectores onde a metalomecânica encontrou uma base de sustentação, tais como o fabrico de moldes, a construção soldada e a fabricação de peças para a indústria automóvel. No meio de todas estas transformações, a conjugação da indústria metalomecânica com a indústria metalúrgica, permitiu ainda dar lugar a uma nova actividade exportadora, através da fundição e maquinagem de peças para empresas ligadas à produção de máquinas e equipamentos nas mais diversas áreas.

Apesar de uma certa inércia inicial, as empresas têm vindo a actualizar o seu parque de máquinas e a dotar os seus recursos humanos da conveniente formação em novas tecnologias, as quais permitem alcançar níveis de competitividade e qualidade muito mais interessantes, permitindo concorrer directamente com empresas internacionais, onde os custos com os recursos humanos são significativamente mais elevados.

Assim, a maquinagem de peças para o estrangeiro passou, nas últimas duas décadas, a ser um dos pilares principais da nossa indústria metalomecânica, já que a iniciativa nacional em termos de produto próprio continua a manter-se bastante insípida. No entanto, este sector de actividade acarreta fortes desafios, já que os seus serviços estão dependentes dos seus clientes. Isso faz com que haja uma forte necessidade de interpretação do desenho, que nem sempre é apresentado da melhor forma, o estudo do material em que se irão realizar as peças, uma percepção das quantidades a fabricar, a compreensão das tolerâncias dimensionais admitidas pelo cliente e qualidade superficial exigida em cada zona, e um estudo aprofundado da sequência operatória e particularidades inerentes à geometria e acabamento das peças. Estes estudos, que estão na base da formação da cotação que será dada ao cliente para a realização do serviço, terão que ser extremamente apurados e precisos.

Deverá aqui ser lembrado que uma cotação abaixo do custo levará a empresa fornecedora do serviço a perdas financeiras, e uma cotação demasiado elevada poderá conduzir a perda do projecto, com a consequente perda de facturação e alocação de recursos. Portanto, o rigor usado na orçamentação é de extrema importância.

Se somarmos a todos os factores atrás referidos o curto espaço de tempo normalmente permitido pelos clientes que consultam a empresa, e pela alocação de meios humanos que a orçamentação representa em empresas deste tipo, facilmente poderemos constatar o quanto importante é termos esta tarefa o mais automatizada possível, por forma a minimizar riscos de não cumprimento do prazo dado pelo cliente para a resposta, ou elaborarmos uma proposta que não seja rentável para a empresa que irá fabricar o produto ou mesmo com um valor que não seja competitivo para a empresa que requer o serviço.

1.2. Objectivos

Este trabalho tem como objectivo principal proceder à elaboração de uma ferramenta informática que permita elaborar, de forma célere e precisa, a orçamentação de serviços de maquinagem de peças com geometria complexa, tendo por base o desenho fornecido pelo cliente, o material em jogo, e o parque de máquinas e ferramentas disponíveis.

Para a prossecução do objectivo anteriormente referido, tornar-se-á necessário:

- Estudar quais os factores que influenciam mais drasticamente o tempo de maquinagem da peça;
- Perceber a influência de cada material no processo de maquinagem;
- Elaborar geometrias-tipo que, de uma forma célere, possam ser aceites como modelo para a maquinagem da peça em questão;
- Compreender qual o número de fixações necessárias e optimizá-las, tendo por base os equipamentos disponíveis na empresa;
- Entender de forma célere todos os factores que, devido às especificidades da geometria e acabamento da peça, possam minimizar ou sobrecarregar o tempo despendido na maquinagem da mesma.

Assim, e tendo por base o atrás enunciado, torna-se necessário:

- Proceder à tipificação dos principais factores que estarão na formação do custo inerente à maquinagem da mesma;
- Criar uma aplicação informática simples que, com base na tipificação anteriormente referida, permita ao orçamentista fazer as opções necessárias de forma muito célere (com base em imagens e tomadas de decisão simples), chegando ao preço estimado com o maior rigor possível.

1.3. Metodologia

A elaboração do presente trabalho seguiu a metodologia que seguidamente se descreve:

- Estudo teórico das diferentes vias passíveis de ser utilizadas para a orçamentação de operações de maquinagem;
- Estudos aprofundado dos diversos factores que afectam o custo das operações de maquinagem;
- Padronização de geometrias com vista à obtenção de similaridade de forma e de operações necessárias à execução de um dado perfil de peças;
- Sistematização dos factores que condicionam as operações de maquinagem;
- Elaboração de aplicação informática simples (EXCEL), que possa ser facilmente utilizada por colaboradores da empresa ainda não devidamente rotinados em tarefas de orçamentação;
- Validação dos resultados através de casos reais;
- Redacção da presente dissertação.

1.4. Estrutura

A estrutura deste trabalho está assente essencialmente em duas partes: uma Revisão Bibliográfica inicial, onde se pretende enquadrar o leitor com os temas envolvidos nesta dissertação, passando em revista os desenvolvimentos técnicos e científicos que foram publicados em livros e periódicos científicos dedicados à matéria, e o Desenvolvimento do Trabalho Prático propriamente dito, com referência à forma como a aplicação informática foi desenvolvida e testada na prática.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. A maquinagem por arranque de avara: breve introdução

2.1.1. Operações mais correntes de maquinagem por arranque de avara

O processo de maquinagem trata-se de um método produtivo, que permite dar a forma pretendida a uma determinada quantidade de material, por intermédio de uma ferramenta de corte, permitindo o arranque de avara. É um processo capaz de produzir peças de diversas formas, seja com rigor elevado ou grosseiro, em diversas famílias de materiais, de uma forma económica. Pode ser utilizado como processo principal (executa praticamente toda a geometria da peça) ou como processo de finalização (acabamento de peças forjadas, fundidas, entre outros). É um processo indicado, a nível de custo, para produção de pequenas/médias séries de peças, e em alguns casos para grandes séries quando o custo não se torna tão importante face ao rigor que é pretendido, que poderá não ser garantido por processos mais económicos, nomeadamente o processo de injeção. Este processo pode-se ver aplicado em diversas famílias de materiais, das quais se destacam materiais ferrosos (aços, ferro fundido, entre outros), não ferrosos (ligas de alumínio, titânio, entre outros) e mais recentemente a família dos polímeros (Figura 1 e Figura 2):

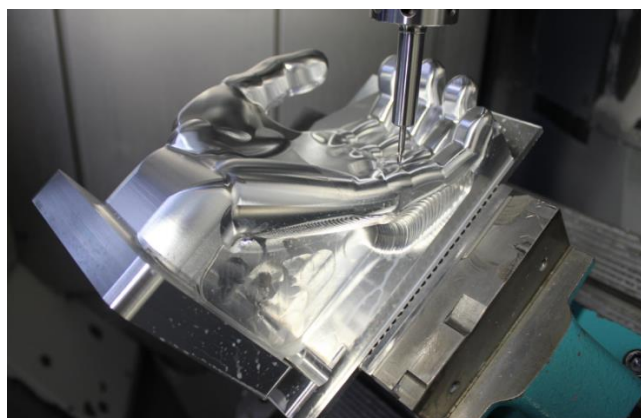


Figura 1: Escultura maquinada a partir de um bloco de alumínio (Fonte: TECNOLANEMA, 22-12-2012)



Figura 2: Exemplo de acabamento de uma cambota forjada (DANOBAT GROUP, 2014)

A obtenção da forma da peça deve-se ao resultado do contacto entre o material-base da peça, com a zona cortante de uma determinada ferramenta de corte, que promove a remoção de uma porção de material (apara). Esta remoção é gradual, e, varia consoante os parâmetros utilizados que estão dependentes das características máquina/ferramenta.

A forma como esta remoção é feita, permite diferenciar os principais tipos de maquinagem. Um dos processos mais antigos e mais comuns é o torneamento. Este processo é caracterizado pela capacidade de reprodução de perfis em revolução. A remoção de material é realizada quando uma ferramenta de corte é projectada contra um perfil de material que se encontra em rotação solidário com um eixo determinado pelo tipo de máquina utilizada. Tendo a ferramenta uma aresta cortante, esta irá facilitar a entrada da ferramenta no material em rotação, permitindo a remoção de parcelas de material (Figura 3). Durante vários anos, este processo foi considerado o mais económico.



Figura 3: Demonstração do arranque de apara pelo método de torneamento (Sandvik Coromant, 2012)

O torneamento permite a execução de vários tipos de operações, onde se destaca o desbaste ou acabamento lateral e de topo, execução de pormenores como canais, redondos, furos, roscas entre outros.

Outro dos processos mais comuns é a fresagem. O processo de fresagem consiste na remoção de material por intermédio do contacto de uma ferramenta de corte em rotação, com uma determinada porção de material. As ferramentas de fresagem denominam-se, geralmente, por fresas. No caso das ferramentas de corte para torneamento, na maioria dos casos a ferramenta possui uma aresta de corte, enquanto caso das fresas o número de lâminas aumenta. Estas lâminas são responsáveis pela remoção de parcelas de material. Para que haja um corte ao longo de uma determinada distância, é preciso que, ou o próprio bloco de material, ou a própria ferramenta ao mesmo tempo que está em rotação, se movimentem um contra o outro (condições dependentes das características máquina/ferramenta).

O processo de fresagem é bastante versátil, pois permite a execução de diferentes formatos. Ao contrário do torneamento, a fresagem tem uma maior capacidade de realização de superfícies planas, inclinadas, de furos deslocados do centro de uma peça, bem como a realização de determinados pormenores descontínuados, como raios ou chanfros, perfis internos, entre outros. A capacidade de reprodução destes pormenores está dependente das capacidades da máquina operar em diferentes eixos, mas também dependente das características das ferramentas. Existem vários tipos de operações de fresagem. As mais comuns e mais evoluídas actualmente, serão apresentadas de seguida:

- **Fresagem periférica** – é um método de fresagem onde o eixo de rotação da ferramenta se encontra paralelo à face. Permite principalmente a maquinagem lateral de uma determinada peça, na qual a ferramenta incrementa lateralmente uma determinada percentagem do seu diâmetro em função dos parâmetros indicados pelo fornecedor. A remoção do material é feita pelas arestas de corte paralelas ao eixo de rotação da ferramenta (Figura 4) (Tschätsch, 2007).

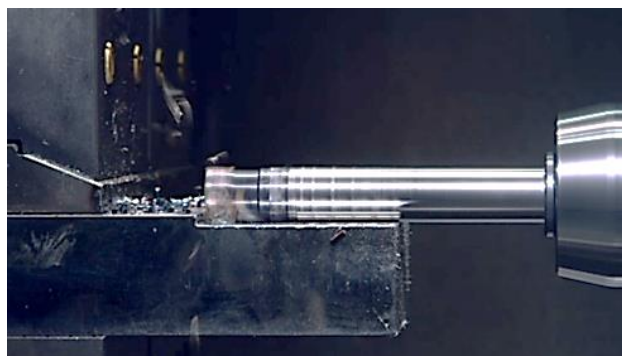


Figura 4: Exemplo de fresagem periférica (Sandvik Coromant, 2013)

- **Fresagem facial (facejamento)** – é um método no qual o eixo de rotação da ferramenta se encontra perpendicular à face a maquinar. O corte é realizado pelas arestas de corte paralelas à face, mas também faz uma remoção de material por intermédio das arestas de corte perpendiculares à mesma face. Isto permite que a fresa “progrida” no facejamento, removendo o material à sua frente e faceje a face deixando um bom acabamento. Geralmente as arestas cortantes das fresas utilizadas neste tipo de fresagem encontram-se apenas na periferia da fresa. Este tipo de operações, utilizando ferramentas próprias para este tipo de operação garantem excelente acabamento e boa rentabilidade, pois permite a maquinagem de áreas superiores face outros tipos de operações. (Figura 5) (Tschätsch, 2007).

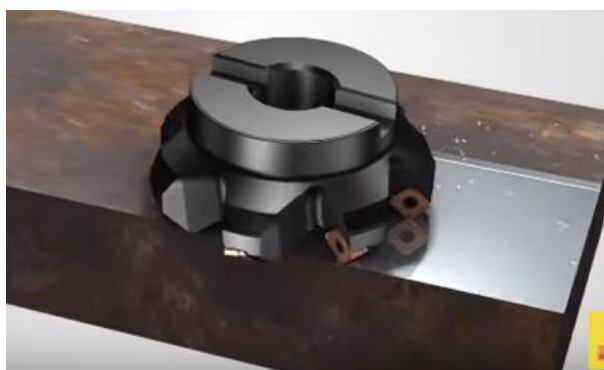


Figura 5: Exemplo de fresagem facial (Sandvik Coromant, 2011)

- **Fresagem de topo** – é um tipo de fresagem onde a ferramenta progride no material, permitindo remover material na zona lateral à fresa e por baixo da mesma. Para isso, é necessário que a fresa possua arestas cortantes até ao centro da mesma, que coincide com o eixo de rotação da ferramenta. Este tipo de fresagem permite a execução de vários pormenores como cavidades e rasgos, entre outros (Figura 6) (Tschätsch, 2007).

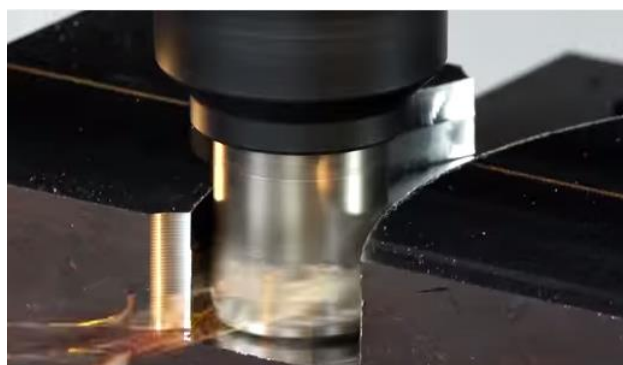


Figura 6: Fresagem de topo (Secco Tools, 2013)

- **Fresagem de forma** – é um tipo de fresagem onde se pretende a execução de pormenores com a forma de uma determinada ferramenta. É usada em situações onde os outros tipos de fresagem não conseguem reproduzir a forma pretendida ou torna demasiado dispendioso ou moroso o processo de execução dos mesmos (é necessário recorrer a estratégias de três eixos simultâneos ou incrementos muito baixos). Acaba por ser um tipo de fresagem algo semelhante à fresagem de topo, mas geralmente as suas áreas cortantes possuem uma forma mais complexa (“acompanha” a forma do pormenor a executar). É aplicado em fresagem de canais circulares, de perfis com formatos curvos, entre outros (Figura 7).



Figura 7: Demonstração da execução de um boleado por intermédio de uma fresa de canto (Techniques, 2013)

- **Roscagem** – é uma operação na qual a ferramenta reproduz o perfil de uma determinada rosca. Essa rosca pode ser reproduzida seja por um macho (Figura 8), ou por ferramentas de interpolação (Figura 9 e Figura 10).



Figura 8: Demonstração da operação de roscagem por intermédio de um macho (Sandvik Coromant, 2012)



Figura 9: Operação de roscagem interna por interpolação (Guhring, Inc., 2012)



Figura 10: Operação de roscagem externa por interpolação (Tormach CNC, 2010)

- **Fresagens em eixos contínuos** – quando é necessária a reprodução de perfis de superfícies mais complexas, as operações mais básicas não têm essa capacidade. Para isso, são utilizadas estratégias onde a máquina deve ter a capacidade de movimentar a ferramenta de corte ou a base de fixação em vários eixos em simultâneo. As mais comuns são a fresagem a três eixos contínuos X, Y e Z (Figura 11), e a cinco eixos contínuos em X, Y, Z, e rotação em B e C (Figura 12). Estes últimos estão relacionados com a capacidade de rotação em dois planos perpendiculares entre si, seja da ferramenta ou da base de fixação do material.



Figura 11: Exemplo de uma peça obtida por maquinagem a três eixos contínuos (Dantron CNC, 2013)



Figura 12: Exemplo de uma peça obtida por maquinagem a cinco eixos contínuos (DMG MORI SEIKI Media, 2012)

- **Execução de perfis internos:** existem algumas situações onde não é possível executar a geometria pretendida com as fresas habituais (exemplo: fresa de topo), pois estas não têm acesso. Para isso, são necessárias ferramentas especiais que normalmente possuem as suas lâminas de corte num diâmetro superior ao corpo da própria ferramenta. Isto permite que essas lâminas de corte retirem material sem necessidade de ter espaço para o próprio corpo da ferramenta (Figura 13).



Figura 13: Execução de um canal lateral por intermédio de uma fresa “T” (Seco Tools, 2012)

2.1.2. A importância dos equipamentos de maquinagem no custeio das peças

Tendo em conta os aspectos técnicos apresentados anteriormente nas várias estratégias de maquinagem, pode-se concluir que as características das máquinas e ferramentas têm um peso muito importante. Quando se pretende executar determinadas geometrias mais complexas ou de maior rigor, é importante ter uma máquina ou ferramenta com capacidade para tal. Contudo, estas características têm um acréscimo no custo da própria máquina, ferramenta e até no próprio operador da mesma. Hoje em dia, a tecnologia CNC permitiu evoluir bastante os vários sistemas de maquinagem, bem como a optimização do processo de execução, tornando cada vez mais a maquinagem como um processo de fabrico rápido, fiável e versátil. Actualmente, é bastante raro ver grandes empresas com máquinas convencionais. Embora sejam capazes de produzir grande variedade de peças, o seu manuseio é lento, exige uma grande experiência do operador, e a qualidade garantida está muito dependente da perícia do operador. Com as novas máquinas, já não existe uma relação tão directa.

A aquisição de uma máquina bem equipada deve ser bem ponderada. Deve-se avaliar quais as necessidades reais da empresa. Se a empresa necessitar de um equipamento apenas para fabricar algumas peças esporadicamente, não necessita obrigatoriamente do melhor equipamento e ferramentas disponíveis, pois se fizer essas mesmas peças em mais tempos, ou vários apertos devido à limitação da máquina, no global essa demora não é tão importante face ao peso do custo da máquina. Mas se for uma empresa onde essa necessidade está sempre presente, provavelmente, a melhor opção será adquirir um equipamento optimizado para essas situações. Neste caso, o custo do equipamento será menos importante, pois o peso da capacidade de produção das peças o mais rápido possível e de forma mais económica, poderá ser mais importante face à amortização da própria máquina. No entanto, esta escolha não será muito simples, devido principalmente ao enorme número de opções disponíveis. Por isso, um bom estudo das opções disponíveis, e uma previsão de trabalho futuro compatível com o equipamento a adquirir, é sempre essencial para que não se corra o risco de um mau investimento. Se se procurar vários tipos de equipamentos com diferentes capacidades, pode-se ver que o seu custo varia bastante. Quantas mais opções, mais tecnologia e componentes são necessários, maior será o seu custo aumentará proporcionalmente o custo de fabrico.

Para exemplificar apresenta-se os seguintes exemplos, com alguns dos factores mais importantes que incrementam o seu custo:

- Uma fresadora CNC com sistema de cinco eixos necessita de uma tecnologia mais avançada do que uma fresadora CNC de três eixos. O seu sistema de movimentação da mesa ou da árvore, requer um sistema mais complexo que permita a sua rotação, bem como o próprio sistema de controlo de posição ou mesmo o *software* (Figura 14).



Figura 14: Fresadora CNC cinco eixos DMU 80 com rotação de mesa (DMG MORI SEIKI, 2014)

- Uma fresadora com sistemas de troca de paletes necessita de um sistema mais complexo, acoplado à mesa de trabalho. Este deve permitir a troca da mesa ou sistema de aperto, conforme a preparação definida. Geralmente, é necessário um sistema próprio acoplado à máquina para fazer a troca de paletes (Figura 15).



Figura 15: Fresadora CNC cinco eixos DMC 65 MonoBLOCK com troca de paletes RS 20 (DMG MORI SEIKI, 2014)

Estes são alguns dos exemplos de como determinadas capacidades das máquinas podem influenciar o custo das mesmas.

Se usarmos a comparação entre custos de máquinas com diferentes componentes, ainda se torna mais real (Tabela 1):

Tabela 1: Comparação entre custos de fresadoras com diferentes sistemas (Haas Automation, Inc, 2014)

Marca	Modelo	Principais características	Custo base
HAAS		EC-400 PP Fresadora Horizontal com quatro eixos; Sistema de Troca de paletes automática.	€ 211,995.00
		MINIMILL2 Fresadora vertical de três eixos.	€ 32,995.00

Além das características “especiais” que possam ser consideradas numa determinada máquina, também é importante que esta seja bem equipada. Não será vantajoso ter a máquina mais evoluída que existe, se esta não estiver acompanhada por todas as ferramentas de apoio necessárias. Por isso, muitas vezes o custo de equipar a máquina com as devidas ferramentas pode chegar a atingir o custo da mesma (Ex: considerar custo de prensas optimizadas para fabricos em série, vários suportes para ferramentas, extractores de aparas, sistemas de medição, entre outros). O próprio operador ou programador também necessita de uma maior qualificação, pois aumentando a complexidade da máquina torna a sua preparação e manuseio mais complexos. Todos estes custos terão que ser amortizados, logo, o custo dos componentes fabricados por estes equipamentos irá aumentar.

De uma forma geral, é sempre importante fazer uma correta ponderação das necessidades reais para uma determinada produção. Deve-se fazer sempre um estudo aprofundado das capacidades necessárias e avaliar as opções disponíveis, para que se seleccione a opção mais eficaz e mais económica. Fazer estudos prévios é sempre importante para poder avaliar se determinadas opções serão realmente eficazes, face aos seus custos e manuseio. Adquirir equipamentos com características desnecessárias poderá ser um risco demasiado grande, podendo nunca vir a ser recuperado. Em muitos casos deve-se também avaliar se esse equipamento pode servir para projectos futuros para a empresa (D. & M., 2012).

2.1.2.1. Fresadoras CNC

As fresadoras CNC são uma versão evoluída de uma fresadora convencional. A sua evolução deve-se principalmente à capacidade de controlar os movimentos da máquina em vários eixos, de uma forma pré-programada. Esta evolução acaba por ser mais significativa que nos tornos, pois permite executar mais pormenores sem recorrer ao manuseio dos sistemas de eixos por parte do operador. Por exemplo, um torno convencional permite tornear uma peça por completo, através do movimento da ferramenta com um determinado avanço controlado pela máquina. No caso da fresadora, um simples cubo necessitava que o operador preparasse várias vezes a máquina nos diferentes eixos. Também é importante referir que nas máquinas convencionais, as características de velocidade, nomeadamente rotação e avanço, era bastante limitada. Hoje em dia, as fresadoras CNC já estão dotadas de velocidades de trabalho bastante elevadas (exemplo: DMG MORI SEIKI ULTRASONIC 30 linear – 40.000 rpm (DMG MORI SEIKI, 2014)).



Figura 16: Exemplo de uma fresadora de cinco eixos DMG MORI SEIKI ULTRASONIC 30 linear (DMG MORI SEIKI, 2014)

Na actualidade, existem vários tipos de fresadoras CNC. A sua variabilidade é determinada pela capacidade de operar em vários eixos com diferentes tipos de fixação.

Os principais tipos de fresadoras são os seguintes:

Fresadoras verticais de três eixos – são o modelo mais simples e mais comum. Este tipo de fresadoras permite maquinar peças com movimentos em três eixos diferentes, normalmente denominados de X, Y e Z (Figura 17).

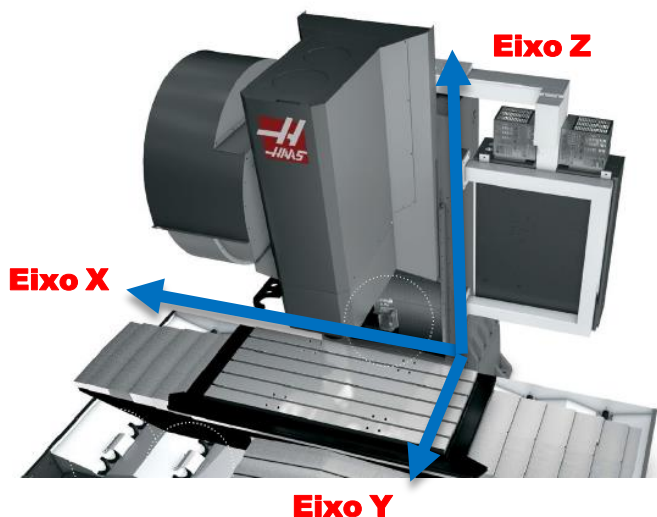


Figura 17: Exemplificação dos eixos de uma fresadora CNC mais comum (Haas Automation, Inc., 2013)

A movimentação destes eixos pode ser desempenhada pela mesa em conjunto com a cabeça de fresagem, e em alguns casos a mesa é fixa e a árvore é que se movimenta nos diferentes eixos. Tem a capacidade de fazer operações até três eixos contínuos (os três eixos trabalham em simultâneo). O eixo de rotação da cabeça de fresagem é perpendicular à base da mesa de trabalho.

São máquinas versáteis que permitem maquinar vários tipos de pormenores. No entanto, perdem vantagem em relação a outros modelos quando se pretende maquinar em várias faces, pois obriga a recorrer a vários apertos. Esta desvantagem pesa mais quando se pretende fabricar peças em médias/grandes quantidades, pois mais apertos tornam a execução da peça mais demorada. É importante referir também que ao recorrer a múltiplos apertos para maquinar uma determinada peça, diminui a precisão da mesma, pois ao modificar a posição da peça existe sempre risco de provocar desvios em relação a pormenores já executados.

O custo de investimento deste equipamento é mais baixo em relação a outros modelos, dependendo da dimensão da área de trabalho útil. É o tipo de máquina mais económica quando se trata do fabrico de peças simples que possam ser executadas em dois apertos. São de preparação mais fácil, e para peças simples é possível programar directamente no controlador da máquina de uma forma expedita.

Fresadoras horizontais de três ou quatro eixos – são máquinas com características semelhantes às fresadoras verticais de três eixos. A principal diferença está relacionada com a posição da cabeça de fresagem. O eixo de rotação da mesma está posicionado horizontalmente face à base da mesa de trabalho (Figura 18). São máquinas úteis para fazer maquinagem nas faces laterais de uma determinada peça. Além destas vantagens, a máquina pode ter um eixo de rotação da mesa, que permite rodar a mesma em torno do eixo Y.

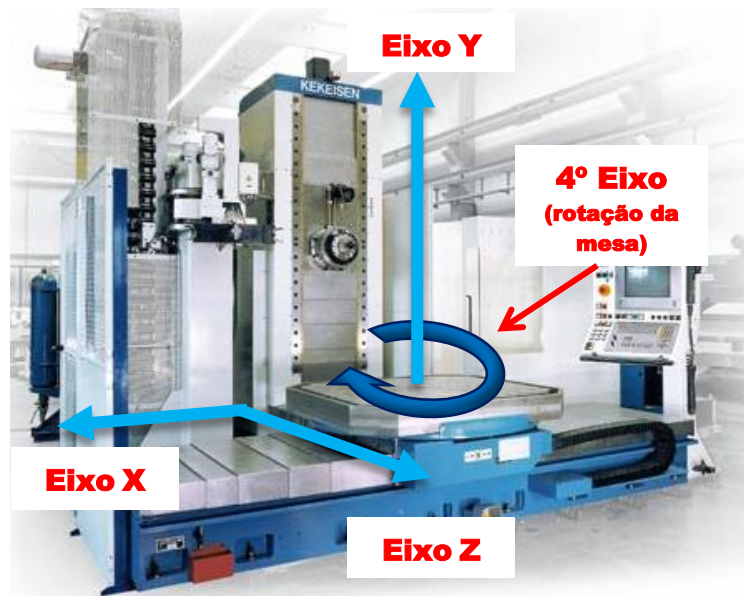


Figura 18: Exemplificação dos eixos de uma fresadora horizontal (Co.KG, 2009/2015)

Muitas vezes, existem peças cuja dimensão ou geometria não permitem ser convenientemente posicionadas para que a face a maquinar fique perpendicular ao eixo de rotação da árvore numa fresadora vertical mais comum (Figura 19).



Figura 19: Exemplo de uma peça que necessita de maquinagem lateral (Haas Automation, Inc., 2013)

É comum ver este tipo de máquinas aplicadas em várias indústrias. Um exemplo é a indústria dos moldes, pois são componentes/equipamentos de grandes dimensões que requerem maquinagem nas faces laterais em relação ao topo da peça (furações, cavidades, entre outros),

e nas fresadoras verticais é difícil de realizar as mesmas, devido principalmente à fixação. Em algumas situações, o uso desta máquina diminuiu com o aparecimento da tecnologia das fresadoras com cinco eixos. No entanto, quando se trata de peças com dimensões consideráveis, as fresadoras horizontais são o tipo de máquina mais indicado. Actualmente, as máquinas deste tipo disponíveis no mercado possuem três eixos habituais (X, Y e Z), mas a maioria possui também mais um quarto eixo rotativo, que confere à máquina capacidade de rodar a mesa de trabalho. Isto permite maquinar várias faces de uma peça com operações onde necessite que o eixo de rotação da ferramenta se encontre perpendicular à face a maquinar (Figura 20).

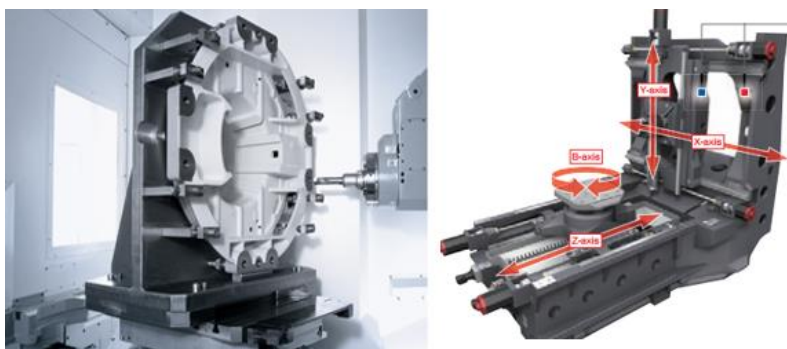


Figura 20: Exemplificação da estrutura de uma fresadora horizontal com quatro eixos (DMG MORI SEIKI, 2014)

Neste tipo de fresadoras, é possível também acoplar um sistema de alimentação de peças por intermédio de múltiplas torres de fixação (Figura 21):

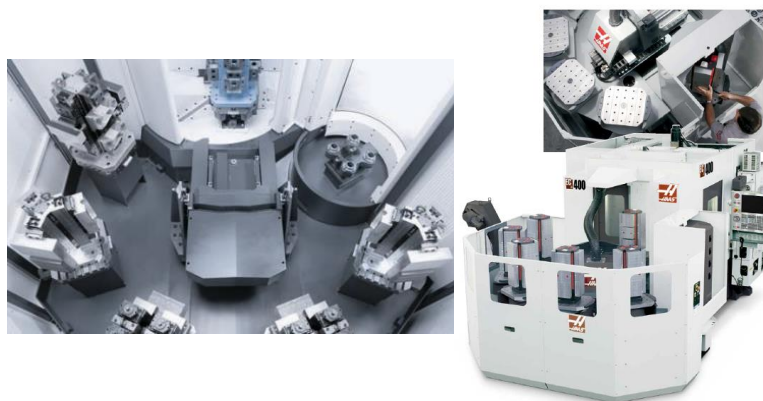


Figura 21: Fresadoras CNC horizontais de quatro eixos com sistema de alimentação por torres (DMG MORI SEIKI, 2014) (Haas Automation, Inc, 2014)

Resumindo, fresadoras horizontais são máquinas indicadas para peças que exijam maquinagem em faces laterais e que necessitem de uma boa base de fixação, ou para maquinagem de grandes quantidades. Este tipo de equipamentos é recorrentemente adquirido como equipamento de apoio ou para maquinagem de peças em grande quantidade.

Comparativamente a modelos de fresadoras verticais de três eixos, o seu custo é mais elevado devido ao seu tipo de construção, pois é mais complexo e normalmente são máquinas com uma dimensão superior. Por isso, a sua escolha deve ser sempre bem ponderada.

A sua preparação é mais demorada tanto para peças de grande dimensão, como para produção em grandes quantidades. Quando se trata de peças de dimensão considerável, o correto posicionamento das peças é complexo e exige um grande cuidado, bem como experiência do operador. No caso de grandes quantidades, o sistema de preparação é demorado, pois devido à quantidade de apertos utilizados, é preciso mais tempo para os preparar. Mesmo que seja em pequena quantidade, a preparação dos sistemas de torres é mais demorado. A própria programação também necessita de um maior cuidado, devido aos movimentos que a máquina realiza. Existe um maior risco de colisões com peças ou ferramentas.

Fresadoras verticais de cinco eixos – É um dos tipos de fresadoras mais recente e mais procurado actualmente. Devido à sua capacidade de operar em diferentes eixos, permite maquinar num único aperto até cinco faces. Por exemplo, uma peça que necessite de furação em cinco faces, poderia ser necessário seis apertos numa fresadora de três eixos mais comum deverá ser acrescentado a esta capacidade o rigor dimensional da maquinagem, que é superior, porque a menor necessidade de recorrer a diferentes apertos, evita possíveis erros de posicionamento (Figura 22).

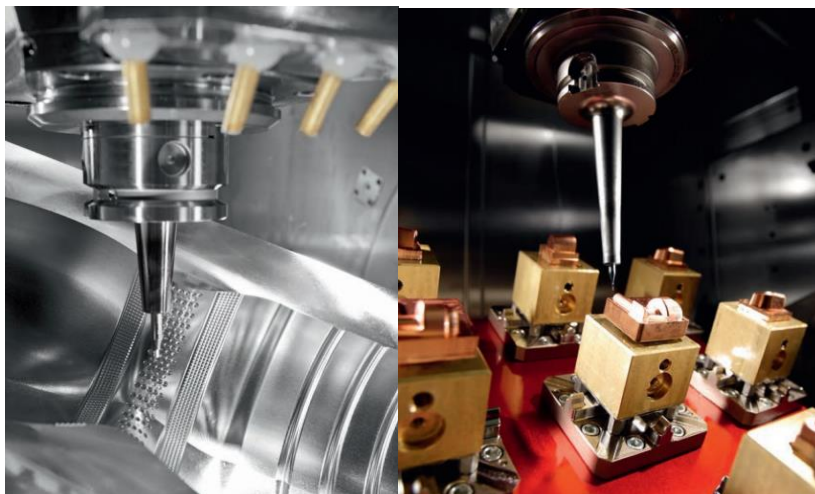


Figura 22: Pormenor lateral de uma peça maquinada com recurso a posicionamento por cinco eixos (Hermle Maschinenbau GmbH, 2014)

Os tipos de construção que permitem a maquinagem em cinco eixos podem diferir muito. Alguns fabricantes optam por um tipo de construção que dá a maioria dos graus de liberdade

de movimentação à cabeça de fresagem (Figura 23 – A), outros optam por dar essa liberdade à mesa de trabalho (Figura 23 – B). Em alguns sistemas é combinado (Figura 23 – C).



Figura 23: Diferentes tipos de fresadoras CNC de cinco eixos (rotação da árvore e rotação da mesa) (DMG MORI SEIKI, 2014) (Hermle Maschinenbau GmbH, 2014) (DMG MORI SEIKI, 2014)

Neste tipo de máquinas também é possível otimizar a produções em grandes séries. Existem sistemas de paletização ou alimentação peça a peça robotizada. São máquinas bastante versáteis e precisas. No entanto, o seu custo torna-se bastante mais elevado face a outros tipos de fresadoras CNC. A sua construção é bastante mais complexa, e requer componentes com elevada tecnologia. Isto torna o equipamento bastante mais caro, e quando se pretende um equipamento com capacidade de operar em cursos elevados nos seus vários eixos, pode atingir valores bastante elevados.

A sua preparação é também mais demorada e complexa. Exige um cuidado redobrado devido às possíveis colisões, que são mais propícias a acontecer que noutros tipos de máquinas. Quando se trabalha com rotação, seja da mesa de trabalho ou a própria árvore da máquina (dependendo do tipo de construção da máquina), as colisões não são tão perceptíveis.

Actualmente, existem sistemas de simulação que atenuam estas colisões, mas acaba por ser mais um custo associado a este tipo de máquina.

Tendo em conta todas as tecnologias e condicionantes associados a este tipo de máquina, a aquisição deve ter em vista peças com necessidade de várias operações de fresagem, e que exijam rigor dimensional e geométrico. Quando não se trata de peças com este nível, a fabricação acaba por encarecer bastante, o que leva a que outras máquinas mais simples (três eixos) sejam mais competitivas (Tschätsch, 2007) (D. & M., 2012)

2.1.2.2. Furadoras CNC

A furadora CNC trata-se de uma máquina que tem como objectivo principal, a execução de furação, roscagem e mandrilagem. Existem vários tipos de peças onde apenas é necessário fazer este tipo de operações. Para desempenhar esta função, a furadora CNC não necessita de uma estrutura tão robusta e complexa como uma fresadora CNC.

Este tipo de máquinas é muitas vezes associado à execução de etapas complementares no processo de fabrico de uma determinada peça. Existem diversas áreas onde é recorrente produzir peças em médias/grandes séries (Exemplo: Fundição, injeção, extrusão, estampagem, entre outros) que, posteriormente necessitam de operações simples, nomeadamente furações em pequena ou grande quantidade (Figura 24).



Figura 24: Exemplo de uma Furadora CNC a operar numa viga estrutural (HACO, 2011)

Visto que possuem uma estrutura mais simples, a velocidade de operação acaba por ser mais elevada, o que é uma grande vantagem. A sua preparação também é mais simples, pois normalmente opera em X e Y, depois só varia na posição do eixo Z, mas em alguns casos permite trabalhar em dois ou três eixos contínuos (dependendo das características da máquina). Actualmente existem alguns casos com capacidade para trabalhar em cinco eixos.

No entanto, o curso em alguns desses eixos (principalmente aqueles que permitem a rotação) é bastante limitado (Figura 25).



Figura 25: Exemplo de uma Furadora CNC a executar operações com a árvore inclinada (HACO Mubea Systems, 2013)

Quando se trata de executar operações de fresagem, a rentabilidade é reduzida, visto que não se pode otimizar parâmetros de maquinagem pois a máquina tem limitações a nível construtivo, as quais não permitem esforços elevados, ou levariam ao desgaste acentuado, ou mesmo perda total do equipamento. Normalmente, as operações de fresagem limitam-se a gravações ou fresagem de pormenores que não exijam esforços de corte elevados (Figura 26).



Figura 26: Aplicação de uma furadora CNC para gravação de placas de circuitos eléctricos (DIGIMAC)

Existem vários tipos de furadoras CNC, que se adequam a diferentes tipos de peças. As suas principais diferenças estão relacionadas com os sistemas de fixação e alimentação de peças. Existem máquinas com elevados cursos de trabalho que são adequados à maquinagem de peças longas (perfis, vigas, entre outros). Outros são adequados a peças mais pequenas, provenientes de processos de fabrico em grande quantidade (fundição, injeção, entre outros) (Figura 27).



Figura 27: Exemplos de furadoras CNC com diferentes tipos de aperto e diferentes áreas de trabalho (HACO, 2011) (Kennedy, 2011)

Resumindo, este tipo de máquinas é vocacionada para a execução de pormenores simples em peças que normalmente são fabricadas em grande quantidade. Sendo mais simples, permite desenvolver equipamentos com áreas de trabalho maiores, de uma forma económica face às fresadoras CNC mais comuns. A sua aplicação em áreas mais específicas acaba por ser desvantajosa, pois estas são limitadas, quando se pretende elaborar pormenores fresados com alguma exigência.

A sua aplicação tem sido reduzida devido ao desenvolvimento das fresadoras CNC, as quais se tornaram mais económicas e mais simples de operar, passando a ser uma escolha mais eficaz e versátil. A vantagem principal das furadoras mais comuns deixa de ser o seu real valor (custo mais baixo). Actualmente, as furadoras CNC têm presença na indústria de construção de equipamentos ou edifícios de grande porte com base em construção soldada, ou em produções de larga escala.

2.1.3. Principais tipos de fixação de ferramentas

Para alojar as ferramentas de corte nos diferentes tipos de equipamentos CNC, é necessária a utilização de componentes de fixação. Existem diversos tipos, que diferem em função da máquina onde serão utilizados e função do tipo de ferramenta e operação a executar. Se se olhar para a estrutura e tipo de operações desempenhados por uma fresadora CNC, verifica-se que estas podem exigir diferentes sistemas. Seguidamente, esses sistemas serão descritos em função da máquina para o qual eles são adequados.

2.1.3.1 Principais tipos de fixação de ferramentas para fresadoras CNC

Para as fresadoras, os sistemas actuais baseiam-se em cones de fixação. No entanto existem diversos tipos de cones em função do tipo de ferramenta a fixar e acabamento final pretendido. O cone é um equipamento que possui uma geometria capaz de se alojar na árvore da máquina de uma forma precisa, permitindo a sua rotação. A geometria mais comum é a mostrada na Figura 28.

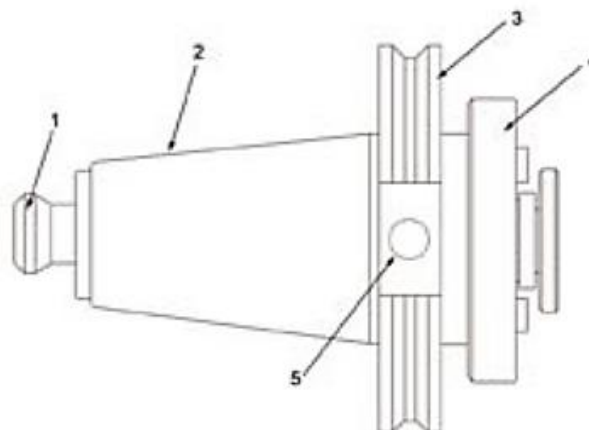


Figura 28: Estrutura principal de um cone de fixação de ferramentas para fresadora (Dormer Tools, 2005)

A sua constituição é a seguinte:

1. Pino de tracção;
2. Haste cónica;
3. Flange;

4. Adaptador;
5. Abertura oposta.

É um componente bastante importante que deve desempenhar a sua função com a melhor qualidade, de modo a que não afecte o rendimento da máquina, e não tenha comportamento inesperado durante o seu funcionamento, ou provoquem desvios aos objectivos definidos para o acabamento final de uma peça. Para isso, é essencial que garanta a maior concentricidade possível em relação ao eixo da máquina e da ferramenta, permita a melhor fixação possível e que seja calibrado para que evite oscilações, as quais prejudicarão o funcionamento e desempenho da máquina. Existem vários tipos, com diferentes formas em cada uma das zonas mais importantes. Seguidamente, serão descritas as diferentes partes do cone (Dormer Tools, 2005).

Pino de tração

O pino de tração é o componente que permite a máquina fixar o cone, ao permitir que uma pinça mecânica puxe o mesmo para o interior da árvore da máquina. É um componente que pode ser fixo ao cone por intermédio de uma rosca, ou faz mesmo parte do cone. Existem vários tipos de pinos de tração. O pino a utilizar deve ter em conta as características da máquina/fornecedor (Figura 29) (Dormer Tools, 2005).

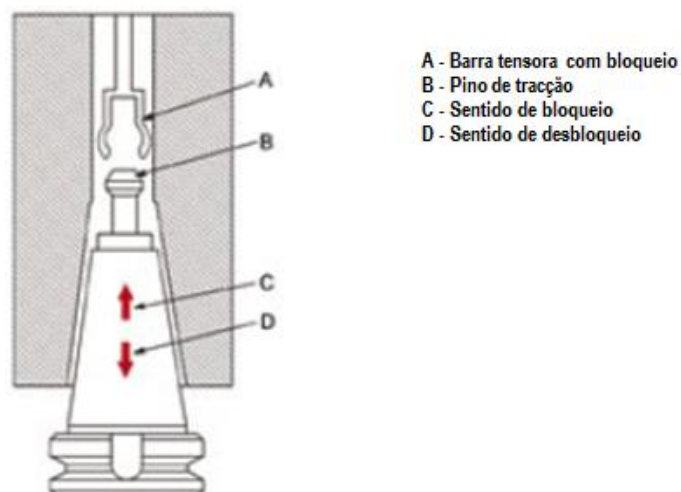


Figura 29: Exemplificação do sistema de funcionamento do pino de tração (Dormer Tools, 2005)

Cone

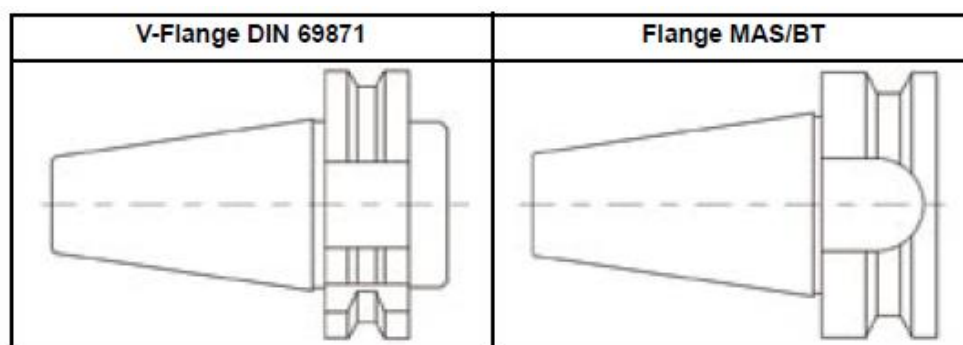
O cone é a parte deste acessório que garante a concentricidade em relação ao eixo da máquina. Este pode ter diferentes ângulos. Os ângulos normalizados são:

- 60° para máquinas de grande dimensão;
- 50° para máquinas de média dimensão;
- 40° para máquinas de pequena dimensão;
- 30° para máquinas de muito pequena dimensão (Dormer Tools, 2005).

Flange

Em relação à flange, este é o elemento que permite o bloqueio da rotação do cone com a árvore da máquina, e o fixa à mesma com o auxílio do pino de tracção. Existem dois tipos de flanges nomeadamente: flange tipo V e flange tipo BT (Tabela 2):

Tabela 2: Tipo de flanges de fixação para cones de fresadoras (Dormer Tools, 2005)



As flanges BT são o sistema mais utilizado em centros de maquinagem Europeus e Japoneses. (Dormer Tools, 2005).

Sistemas de fixação

Existem quatro tipos de fixação de ferramenta distintos. Todos eles têm sistemas de aperto da ferramenta diferentes entre si, que se destinam a fixar diferentes tipos de ferramentas, melhorar o rendimento, qualidade de corte ou robustez de fixação.

Os quatro sistemas estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3: Sistemas de fixação de ferramenta mais comuns (Dormer Tools, 2005)

Sistema de fixação DIN 6388 e DIN 6499	
	<p>É o sistema conhecido por aperto por pinças, onde é colocada uma pinça com rasgos, que por intermédio de aperto, se ajusta à ferramenta e fixa a mesma.</p> 
Sistema de fixação Hidráulico	
	<p>Neste sistema, existe um reservatório de óleo que ao ser apertado por um parafuso alojado na parte lateral do cone, pressiona o óleo, o que provoca uma pressão equilibrada e distribuída</p>
Sistema de fixação por aperto térmico	
	<p>É um sistema onde o alojamento tem um \emptyset com uma tolerância negativa em relação ao \emptyset da ferramenta. Para tal, este sistema necessita de um aquecimento que provoque a dilatação do encaixe e permita a entrada da ferramenta. Posteriormente, ao contrair com o abaixamento da temperatura, o encaixe comprime contra a ferramenta e fixa a mesma.</p>
Sistema de fixação Weldon (DIN 1835 B) e Whistle Notch (DIN 1835 E)	
	<p>É um sistema onde a fixação é realizada por intermédio de um parafuso alojado radialmente que fixa ao ser pressionado contra um entalhe existente na lateral da ferramenta.</p>

Na Tabela 4 é feita uma comparação entre as principais características dos diferentes tipos de fixação.

Tabela 4: Tabela comparativa entre os diferentes sistemas de fixação (Dormer Tools, 2005)

	Fixação DIN 6388 e DIN 6499 (pinças)	Fixação Weldon (DIN 1835 B) e Whistle Notch (DIN 1835 E)	Fixação hidráulica	Fixação por aperto térmico
Tipo de operações mais adequadas	Fresagem Roscaçgem Furação Mandrilagem	Fresagem Roscaçgem Furação Mandrilagem	Fresagem Roscaçgem Furação Mandrilagem	Fresagem Furação Mandrilagem
Concentricidade	± 0,025 mm	± 0,010 mm	± 0,005 mm	± 0,004 mm
Rigidez	Boa	Muito boa	Razoável	Excelente
Desequilíbrios	Existem diferentes tipos de pinças em relação à concentricidade	A geometria assimétrica cria desequilíbrio, porém são fabricados de forma que possam ser calibrados	A geometria assimétrica cria desequilíbrio, porém são fabricados de forma que possam ser calibrados	É o melhor – Sem parafusos ou outras características assimétricas, é o sistema mais equilibrado
Vibração	Sem vantagens	Sem vantagens	O fluido hidráulico pode amortecer parte das vibrações	Sem vantagens
Facilidade de uso	Baixa (precisão dependente do operador)	Boa	Melhor (a precisão é consistente, mas o mecanismo de fixação é facilmente danificado)	Elevada (operadores com pouca habilidade podem utilizá-lo eficientemente)
Custo	Normal	Normal	Mais caro	Custo do cone normal, mas o equipamento de aquecimento é dispendioso

A definição do tipo de cone a utilizar deve ter vários pontos em conta. Devido aos diferentes tipos de ferramentas que existem e diferentes modos de utilização e aplicação, deve-se optar pelo cone mais adequado à fixação dos diferentes tipos de ferramenta. Os cones mais comuns e mais utilizados acabam por ser o sistema de pinças ou *Weldon/Whistle Notch* devido à sua versatilidade e por serem os sistemas mais antigos. No entanto a precisão associada a estes




sistemas é mais baixa relativamente ao de aperto hidráulico e térmico. Por isso, o tipo de precisão que será considerada na maquinagem é um factor de decisão também importante. O custo acaba por ser um factor importante, mas como se trata de componentes de longa duração, muitas das vezes é preferível adquirir um equipamento que garanta melhor desempenho (Dormer Tools, 2005).







2.1.4. Ferramentas para maquinagem por arranque de apara

Na actualidade, existe uma quantidade enorme de diferentes tipos de ferramentas. Para além dos modelos mais comuns (exemplo: fresas de topo), os maiores fabricantes apresentam soluções cada vez mais inovadoras que possibilitam o aumento do rendimento durante os diferentes tipos de maquinagem.

Os modelos mais comuns associados às operações de fresagem são (Tabela 5):

Tabela 5: Ferramentas mais comuns para operações de fresagem (Machine Mart, 2014) (SGS, 2015) (Sandvik Coromant, 2015) (Logismarket, 2014) (Fullerton Tools Company, inc., 2014) (HANNA, Soluções Integradas, 2014)

Fresa de topo		
Principais operações:	Fresagem periférica (contorno) Fresagem facial (facejamento) Fresagem de topo (mergulho) Furação*	
	* Não aconselhável/dependente das características técnicas da ferramenta/desgaste elevado	
Fresa de ponta esférica		
Principais operações:	Fresagem periférica (contorno) Abertura de canais com formato redondo Maquinagem em eixos contínuos. Fresagem de topo (mergulho)	
Fresa de desbaste		
Principais operações:	Fresagem periférica (contorno) Fresagem facial (facejamento) Fresagem de topo (mergulho)	

Fresas "T"					
Principais operações:	Abertura de canais laterais Sangramento Fresagem periférica (contorno)				
	Outras ferramentas				
Fresas de chanfro	Fresas "Rabo de peixe"	Brocas de Ponto	Brocas	Mandris	
					
Chanfros Pontear Caixas cónicas Gravação	Chanfros (ângulo positivo ou negativo) Rasgo com inclinação interna	Pontear furos para guiar brocas durante a furação	Furação	Acabamento de furações tolerânciadas	

Este tipo de ferramentas, com estratégias combinadas entre si, permite a execução de diversas geometrias. Para um uso geral, estes são os tipos de ferramenta mais usados. Contudo, existem diversas variantes ou combinações destas ferramentas que permitem uma melhor optimização da maquinagem. A definição correcta das operações de maquinagem é dos pontos mais essenciais na escolha da melhor estratégia para maquinar uma determinada peça.

2.1.4.1 Principais tipos de materiais utilizados nas ferramentas

Dentro destes tipos de ferramentas, existem também diversos tipos de materiais e revestimentos. As ferramentas sofrem elevados esforços mecânicos e fenómenos de desgaste durante as operações de maquinagem. Normalmente, melhores materiais e revestimentos devem aumentar a performance da ferramenta e a sua durabilidade, no entanto podem aumentar drasticamente o custo de produção.

Os materiais base mais utilizados actualmente são:

- Aço rápido (HSS – *High Speed Steel*);
- Metal Duro ou carbonetos cementados (HM – *Hard Metal*);
- Cerâmicos;
- Ferramentas diamantadas.

Aço rápido (HSS)

O aço rápido é um aço de média liga que apresenta um desempenho bom para alguns tipos de maquinagem. Apresenta características de dureza, tenacidade e resistência ao desgaste compatíveis com os diversos tipos de operações mais utilizadas na maquinagem. Normalmente possuem elementos de liga que melhoram as suas características mecânicas. Os mais comuns são:

- **Aço rápido ao Vanádio** – É uma composição à base de vanádio que oferece excelente dureza e resistência ao desgaste, além de um bom desempenho. Isto torna-o especialmente adequado para a utilização em aplicações de roscagem.
- **Aço rápido ao Cobalto** – Este aço rápido contém cobalto para aumentar a dureza a quente. A composição deste material é uma boa combinação de tenacidade e dureza. Tem boa maquinabilidade e boa resistência ao desgaste, o que o torna aplicável para brocas, machos, fresas e mandris.
- **Aço Rápido obtido por sinterização** – Tem uma estrutura granular mais fina e mais consistente que o aço rápido ao Cobalto, resultando num produto mais tenaz. A durabilidade e resistência ao desgaste da ferramenta é normalmente mais elevada, apresentando uma resistência de aresta e rigidez superiores. É utilizado principalmente para fresas e machos.
- **Aço rápido ao Crómio** – O aço ao Crómio é um aço para ferramentas no qual o elemento de liga principal é o Crómio. É utilizado somente para a fabricação de machos e caçonetes. Este aço tem propriedades inferiores de dureza a quente quando comparado com os aços rápidos. Adequado para aplicações de roscagem manual (Dormer Tools, 2005) (Sandvik Coromant, 2010).

Metal Duro (HM)

O metal duro é um material que é produzido através do processo de sinterização. É constituído por um composto de carboneto metálico com um material ligante. As substâncias base deste metal são óxidos de tungsténio, titânio e tântalo. A matéria-prima principal normalmente é carboneto de tungsténio (WC). Este elemento contribui principalmente para a dureza do material. Este carboneto é complementado por outros carbonetos como:

- Carboneto de tântalo (TaC);
- Carboneto de titânio (TiC);
- Carboneto de nióbio (NbC).

Como elemento ligante é utilizado o cobalto (Co). A mistura destes componentes é conformada posteriormente em moldes e, em seguida, sinterizados a 1300-1600 °C (Dormer Tools, 2005) (Sandvik Coromant, 2010).

Cerâmicas

O componente principal e diferenciador da estrutura destas ferramentas é o óxido de alumínio (Al_2O_3). Normalmente este óxido pode-se encontrar sinterizado com outros óxidos ou carbonetos metálicos. Os principais grupos são:

- Óxidos de alumínio puro (Al_2O_3) com baixo teor de liga de outros óxidos metálicos;
- Óxidos de alumínio puro (Al_2O_3) com alto teor de liga de outros óxidos ou carbonetos metálicos;

As ferramentas cerâmicas são muito duras e resistentes ao desgaste. No entanto, são muito frágeis e sensíveis à fractura. Devido à sua grande resistência ao desgaste, as ferramentas cerâmicas podem suportar altas velocidades de corte. Devido a esta característica, são utilizadas principalmente para operações de acabamento fino de superfícies.

No entanto, a sua baixa resistência limita a sua gama de aplicações. Ferramentas cerâmicas são utilizadas em maquinagem de materiais que produzam apara de tamanho reduzido, tais como ferro fundido cinzento ou aços de alta resistência (Tschätsch, 2007) (Dormer Tools, 2005) (Sandvik Coromant, 2010).

Ferramentas diamantadas

O Diamante é o material encontrado no estado puro, com maior dureza conhecida. A sua constituição é composta apenas por carbono. Devido à sua grande dureza, o diamante é muito frágil e, portanto, muito sensível ao impacto e calor. Estas características, para alguns dos casos, torna a sua utilização como a melhor escolha. São predominantemente utilizadas para obter peças de acabamento fino com altas velocidades de corte.

Uma das suas desvantagens é pouca compatibilidade com materiais ferrosos, nomeadamente aços. Isto deve-se à possível ligação ou formação de compostos com os átomos de carbono e ferro, desagregando a estrutura do diamante. Devido aos esforços de corte proporcionarem a geração de energia e elevação da temperatura, existe uma elevada probabilidade de estes materiais se ligarem, agravando o desgaste da ferramenta, e consequentemente, um mau acabamento da peça a ser produzida.

Normalmente, o diamante é aplicado em pequenas porções junto à aresta de corte. O corpo da ferramenta tanto pode ser de aço rápido como metal duro. Nos casos mais recentes, o diamante é sintetizado a altas pressões e temperaturas, directamente no corpo principal da ferramenta (Tschätsch, 2007) (Dormer Tools, 2005) (Sandvik Coromant, 2010).

2.1.4.2 Principais tipos de revestimentos e tratamentos

Além do material principal da ferramenta, é possível adicionar um revestimento ou um tratamento que melhore determinadas características superficiais das ferramentas. Os principais são:

- **Revenido a vapor** – O revenido a vapor é um revestimento à base de óxido de ferro (Fe₃O₄) que proporciona uma superfície de elevada aderência que ajuda a reter o fluido de corte e evita a adesão do material a maquinar, reduzindo a probabilidade do aparecimento do fenómeno de dupla aresta. Este tratamento pode ser aplicado em qualquer ferramenta rectificadora, porém é mais eficiente em brocas e machos (Dormer Tools, 2005) (Sandvik Coromant, 2010).
- **Nitruração** – A nitruração é um processo utilizado para aumentar a dureza e a resistência ao desgaste da superfície de uma ferramenta. Neste caso, é aplicado um revestimento de nitreto de ferro (FeN). É particularmente adequado para machos utilizados em materiais abrasivos, tais como ferro fundido, baquelite, entre outros. Pode ser aplicado quando for

desejável aumentar a dureza e resistência ao desgaste (Dormer Tools, 2005) (Sandvik Coromant, 2010).

- **Crômio Duro** – O crômio duro, sob condições específicas, aumenta significativamente a dureza da superfície, atingindo valores de até 68 HRC. É especialmente adequado quando da roscagem de aços ligados, aços ao carbono, cobre, latão, entre outros. O principal componente deste revestimento é o crômio (Dormer Tools, 2005) (Sandvik Coromant, 2010).
- **Nitreto de Titânio** – O Nitreto de Titânio (TiN) é um revestimento cerâmico dourado, aplicado através da deposição física de vapor (PVD). A elevada dureza combinada com propriedades de baixo atrito, proporciona à ferramenta uma vida consideravelmente mais longa, ou melhor desempenho no corte em comparação com as ferramentas que não tenham sido revestidas. Este revestimento é utilizado principalmente para brocas e machos (Dormer Tools, 2005) (Sandvik Coromant, 2010).
- **Carbonitreto de Titânio** – O Carbonitreto de Titânio (TiCN) é um revestimento cerâmico aplicado através da tecnologia de revestimento PVD. O TiCN é mais duro que o TiN e tem um coeficiente de atrito mais baixo. A sua dureza e tenacidade, em combinação com a boa resistência ao desgaste, faz com que encontre a aplicação principal no campo da fresagem, aprimorando o desempenho das fresas (Dormer Tools, 2005) (Sandvik Coromant, 2010).
- **Carboneto de Titânio** – O TiCN é um revestimento de camadas múltiplas aplicado através da tecnologia de revestimento PVD, que apresenta elevada tenacidade e estabilidade contra a oxidação. Estas propriedades tornam este revestimento ideal para velocidades e avanços maiores, ao mesmo tempo que melhora a vida útil da ferramenta (Dormer Tools, 2005) (Sandvik Coromant, 2010).
- **Nitreto de Titânio e Alumínio** – Neste revestimento (TiAlN), o elevado teor de alumínio proporciona uma combinação de elevada resistência à temperatura, dureza e tenacidade. Este revestimento é ideal para fresas que operam sem fluido refrigerante e na fresagem de materiais de elevada dureza (Dormer Tools, 2005) (Sandvik Coromant, 2010).
- **Nitreto de Crômio** – O CrN é um excelente revestimento para ligas de alumínio, ligas de cobre e aços de baixa liga. O CrN também pode ser utilizado como uma alternativa para as ligas de titânio e níquel. Este revestimento tem uma baixa tendência para o aparecimento do fenômeno de dupla aresta (Dormer Tools, 2005) (Sandvik Coromant, 2010).

- **Nitreto de alumínio e crómio** – é um revestimento utilizado principalmente para fresas. A resistência ao calor e à oxidação do revestimento são excelentes. Quando as aplicações em maquinagem significam elevadas tensões mecânicas e térmicas, estas características resultam numa resistência ao desgaste muito elevada (Dormer Tools, 2005) (Sandvik Coromant, 2010).
- **Nitreto de Zircónio (ZrN)** – É um revestimento cerâmico aplicado através da tecnologia de PVD. Exibe uma combinação de propriedades, tais como uma elevada temperatura de oxidação e baixo coeficiente de atrito, tornando-o atractivo na roscagem de alumínio e ligas de alumínio (Dormer Tools, 2005) (Sandvik Coromant, 2010).
- **Revestimento Diamantado** – é um revestimento de diamante amorfo com coeficiente de atrito extremamente baixo e elevada dureza. Este revestimento foi desenvolvido especificamente para roscagem de ligas de alumínio com baixo teor em Silício, e na furação de aços inoxidáveis (Dormer Tools, 2005) (Sandvik Coromant, 2010).
- **Diamante** – Um revestimento de diamante policristalino é especialmente indicado para as exigências de desempenho, no processamento de grafite e materiais não ferrosos. As propriedades da estrutura cristalina melhoram dramaticamente a resistência ao desgaste e a dureza. Este revestimento é utilizado somente para ferramentas de metal duro e especialmente para fresas (Dormer Tools, 2005) (Sandvik Coromant, 2010).

Tendo em conta os diferentes tipos de ferramentas, materiais e revestimentos, pode-se concluir que as opções de escolha são bastante alargadas, complicando por vezes a definição da melhor escolha para determinada aplicação.

Existem vários pontos a ter em conta, mas de uma forma geral, a maioria está relacionada directa ou indirectamente com o custo final da peça. O acabamento ou rigor da peça é muito importante, mas na actualidade praticamente a maioria das ferramentas disponíveis permite, de uma maneira ou outra, garantir o rigor e acabamento. Por isso, é importante ponderar e analisar a aplicação das mesmas. A melhor ferramenta dotada do melhor revestimento, muitas vezes pode não compensar, seja por não ser a mais adequada ao material, bem como ser uma escolha demasiado cara para uma aplicação onde outro tipo de ferramenta mais económica garante o mesmo desempenho a baixo custo. Como foi referido anteriormente, diferentes materiais, revestimentos e tratamentos, têm diferentes aplicações específicas, onde se pode retirar o melhor desempenho dos mesmos. É essencial estudar os materiais a trabalhar e o rendimento esperado. O gráfico da Figura 30 demonstra a relação usual do tempo de vida para uma ferramenta de corte com o incremento da velocidade.



Figura 30: Gráfico da evolução do tempo de vida de ferramenta com o incremento da velocidade de corte (Tschätsch, 2007)

Como se pode verificar, o tempo de vida da ferramenta diminui com o aumento da velocidade de corte. Embora este gráfico seja elucidativo, na prática não indica quantitativamente o valor a utilizar. Para isso, através de diferentes parâmetros como capacidade da máquina e da ferramenta, é possível avaliar mais concretamente os valores, e otimizar os parâmetros para a função final pretendida (Lei de Taylor).

O desenho deste tipo de gráficos também engloba os custos inerentes à operação da máquina e custos da ferramenta. O resultado é o observado no gráfico apresentado na Figura 31.

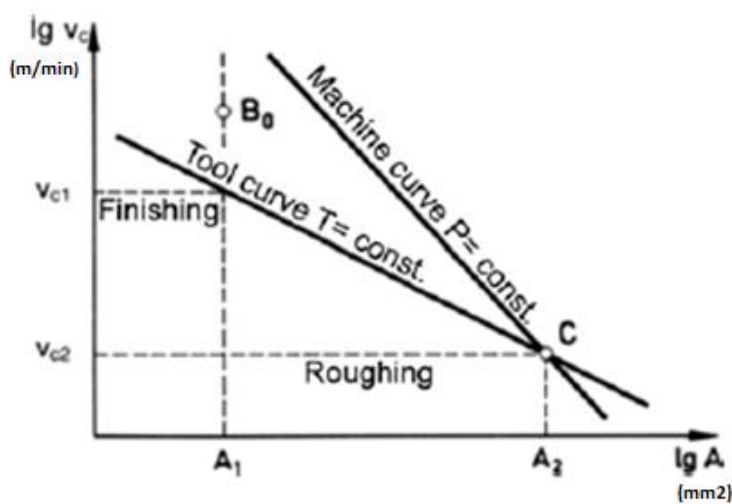


Figura 31: Gráfico exemplo de parametrização da velocidade de corte ótima, em função da ferramenta e máquina (Tschätsch, 2007)

Neste gráfico, é possível obter valores de velocidade de corte ideal, em função do tipo de operação a fazer, capacidade da máquina e quantidade de material a remover. O ponto C caracteriza os parâmetros com os quais a máquina e a ferramenta podem obter os resultados

mais favoráveis. Em função da posição no gráfico, permite saber qual a evolução do tempo de vida útil da ferramenta:

- Acima da linha *Tool life curve*, a ferramenta é submetida a esforços excessivos e vida útil é reduzida;
- Abaixo da linha *Tool life curve* a vida útil da ferramenta não é totalmente utilizada;
- Acima da linha *Machine curve* a máquina encontra-se em esforço;
- Abaixo da linha *Machine curve* a potência da máquina não é rentabilizada.

Do ponto de vista prático, este gráfico bem definido, permite afinar as operações de maquinagem para o custo óptimo. Quando se tira o melhor rendimento da máquina *versus* ferramenta, os custos globais da operação (preparação, tempo de maquinagem, tempo de troca/ afinação de ferramentas) serão os mais baixos. Muitas vezes o aumento da velocidade de corte permite a redução do tempo de execução, mas acaba por ser uma redução de custos falsa. Neste caso, o rendimento da ferramenta fica drasticamente reduzido, o que leva a uma maior necessidade de troca da ferramenta, seja para afinação ou para troca definitiva da mesma. Ou seja, no final o custo pode ser igual, ou até superior. Este exemplo serve para um caso extremo, quando se ajustam valores de velocidade de corte para o máximo. Mas com o gráfico, é possível estudar valores altos de velocidade de corte, para os quais os custos de troca de ferramenta são compensados pela rapidez na produção de peças maquinadas. Em alguns tipos de indústria, o tempo de execução é bastante importante para uma melhor gestão da produção, quando se trabalha com prazos de entrega apertados e forte concorrência. Este gráfico permite também estudar a melhor ferramenta, mas contudo, o este estudo acaba por ser mais moroso pois necessita de uma análise mais cuidada, e utilização de um maior número de parâmetros a avaliar (Tschätsch, 2007).

2.1.5. Estratégias de maquinagem

A estratégia de maquinagem é a etapa de preparação, definição e organização das diversas operações e ferramentas necessárias para fabricar os vários pormenores presentes num determinado produto a ser maquinado. Esta etapa acaba por ser o passo mais importante e influenciador no resultado final do produto e também no seu valor final.

Para definir a estratégia de maquinagem, primeiramente é importante verificar os seguintes pontos:

- Produto final pretendido;
- Qual o material a trabalhar;
- Rigor e acabamento pretendido;
- Número de peças a maquinar;
- Prazos de entrega;
- Ferramentas existentes;
- Capacidade da máquina;
- Custos de fabrico.

Tendo em conta os tópicos discutidos ao longo da revisão bibliográfica, todos eles mostram as diversas opções existentes para fabricar uma determinada peça. Resumidamente, existem opções que oferecem elevada qualidade e desempenho, e outras que não permitem chegar a esses resultados. Por outro lado, as opções de elevada qualidade e desempenho acarretam um custo superior. No entanto, a forma como se irá fabricar a peça também irá influenciar o resultado final. Tomemos como exemplo a seguinte peça, onde o material seria Alumínio AW5083-H111 e a quantidade a fabricar seria 100 unidades (Figura 32):

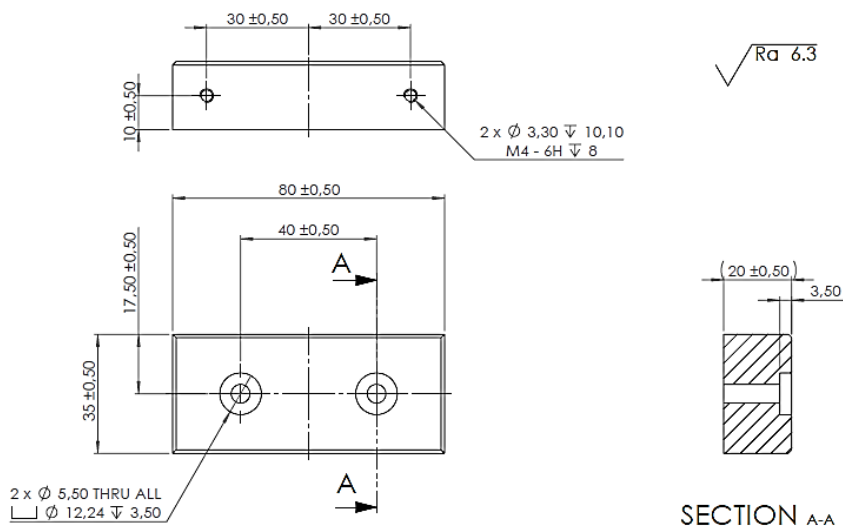


Figura 32: Exemplo de uma peça maquinada

Como se pode verificar, trata-se de uma peça simples, com dois furos providos de caixa. A nível de rigor dimensional as tolerâncias não são rigorosas (± 0.5 mm) e o acabamento exigido é de Ra 6.3 μm . Com base nestes dados, é possível definir quais as ferramentas necessárias, qual o tipo de máquina a utilizar e quais as operações necessárias para executar os diversos pormenores da peça. Para executar esta peça, poder-se-ia recorrer a uma fresadora CNC vertical de três eixos (exemplo na Figura 33).



Figura 33: Fresadora vertical de três eixos HAAS MINIMILL2 (Haas Automation Inc, 2014)

As operações necessárias seriam fresagem periférica com uma fresa de topo, furação para executar os furos de $\varnothing 5.5$ mm, fresagem de topo para executar as caixas de $\varnothing 12.24$ mm e uma operação com uma fresa de chanfro para fazer o chanfro exterior e a limpeza dos restantes pormenores. De seguida, seria feito um aperto para remover o material excedente do primeiro aperto. Posteriormente, seria feito um aperto para executar a furação lateral M4 com a correspondente furação e posterior roscagem (Figura 34). O material necessário poderia ser um bloco com $85 \times 40 \times 25$ mm³ por peça (2,5 mm por banda). Para isso, e devido à liga em questão, o material base deveria ser chapa de 25 mm de espessura.

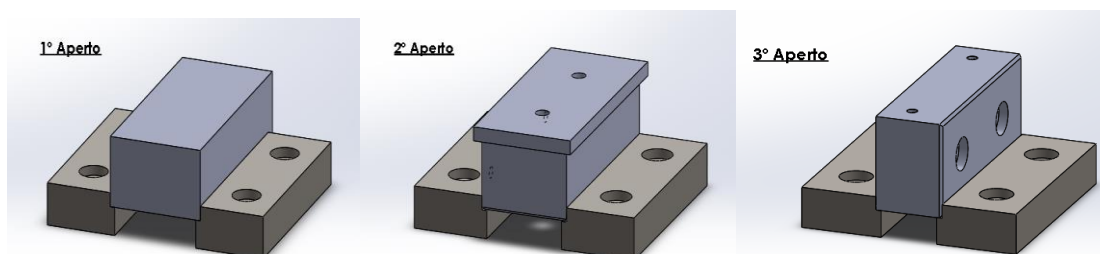


Figura 34: Exemplificação dos três apertos necessários para execução da peça

Os parâmetros serão definidos em função das ferramentas e do material. As ferramentas seriam de HSS (Tabela 6).

Tabela 6: Exemplo de ferramentas HSS

Fresa de Topo	Fresa de chanfro	Brocas

Para a quantidade de peças em questão, esta estratégia seria suficiente, e o seu custo não seria elevado, tendo em conta os equipamentos/ferramentas necessárias.

Mas se a quantidade passasse para 5000 unidades, esta estratégia poderia não ser a melhor. Neste caso, o custo e o prazo de entrega poderão ser determinantes na definição da estratégia de maquinagem. Assim, é importante ter em conta os equipamentos/ferramentas envolvidos, mas na maioria dos casos, para que se reduza essencialmente o tempo de produção da peça e torná-la mais económica. Como foi referido ao longo da bibliografia, deve-se ponderar bem a escolha destes equipamentos/ferramentas. Analisando a peça novamente, existem pontos que poderão ser otimizados. Para reduzir o custo, é essencial simplificar as operações de maquinagem e, se possível, reduzir o número de operações e tempo para executar as mesmas. Posto isto, e tendo em conta as várias opções de ferramenta disponibilizadas pelos diversos fornecedores, seria possível otimizar a estratégia de maquinagem da seguinte forma:

- Utilizar ferramentas de HM;
- Utilizar brocas escalonadas para executar a furação com caixa;
- Utilizar fresa de roscar.

As ferramentas de HM, como já foram referidas no subcapítulo 2.1.3 – Principais tipos de materiais utilizados nas ferramentas, permitem uma maior rentabilidade devido às suas características que permitem a sua utilização com parâmetros de corte mais ambiciosos relativamente às de HSS. Isto traduz-se num tempo de produção mais reduzido (maiores velocidades de corte e incrementos, menor tempo para concluir a operação) e numa durabilidade superior da ferramenta. A broca escalonada permitiria reduzir as duas operações necessárias para executar o furo com caixa, para apenas uma operação, e também reduziria o número de trocas de ferramentas. A fresa de roscar permitia também executar a furação roscada numa execução mais otimizada (a ferramenta permite efectuar o furo, rosca por interpolação e possível chanfro de limpeza).

Estas simples alterações na estratégia de maquinagem, iriam reduzir significativamente o custo de produção devido à redução de tempos de maquinagem, troca de ferramentas, entre outros. A definição do material necessário também poderia ser revista, principalmente no que toca à redução do material excedente. No entanto, a redução em demasia obriga posteriormente a um maior rigor na colocação do material bruto, para que o zero peça seja bem posicionado.

Contudo, ainda seria possível otimizar através da escolha de um equipamento mais adaptado à produção de séries mais elevadas. Uma das escolhas poderia passar por um equipamento com sistema de troca de peças automática. Isto permite reduzir os tempos de paragem para alimentação de peças, bem como a remoção das peças concluídas. Além disso, permite

também otimizar as trocas de ferramentas (a mesma ferramenta poderá executar a mesma operação em várias peças antes de trocar para a próxima operação). Uma das escolhas possíveis seria uma máquina semelhante à representada na Figura 35:



Figura 35: Fresadora horizontal EC-400 PP com sistema de paletes automática (Haas Automation, Inc, 2014)

A máquina em questão torna possível utilizar a rotação da paleta onde são fixas as peças, o que permite trabalhar lateralmente a peça. Assim, no mesmo aperto é possível executar todos os pormenores da peça (Figura 36).

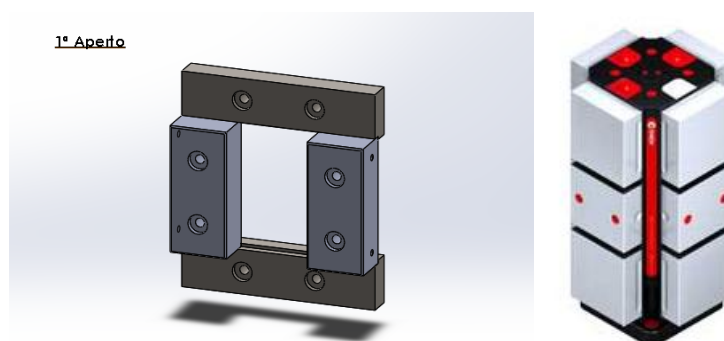


Figura 36: Exemplo do primeiro aperto para execução da peça exemplo (5000 unidades) (Chick Workholding Solutions, 2009)

É claro que esta escolha de equipamento, como já foi referido no subcapítulo 2.1.2 – A importância dos equipamentos de maquinagem no custeio das peças, deverá ter em conta possíveis trabalhos futuros pois o seu custo de aquisição será bastante superior ao do equipamento referido anteriormente (Figura 33), ou seja, € 211,995.00 face aos € 32,995.00 anteriormente referidos (Haas Automation, Inc, 2014).

Resumindo, para chegar à estratégia de maquinagem mais correcta, de uma forma global, deve-se seguir os seguintes passos (Figura 37):

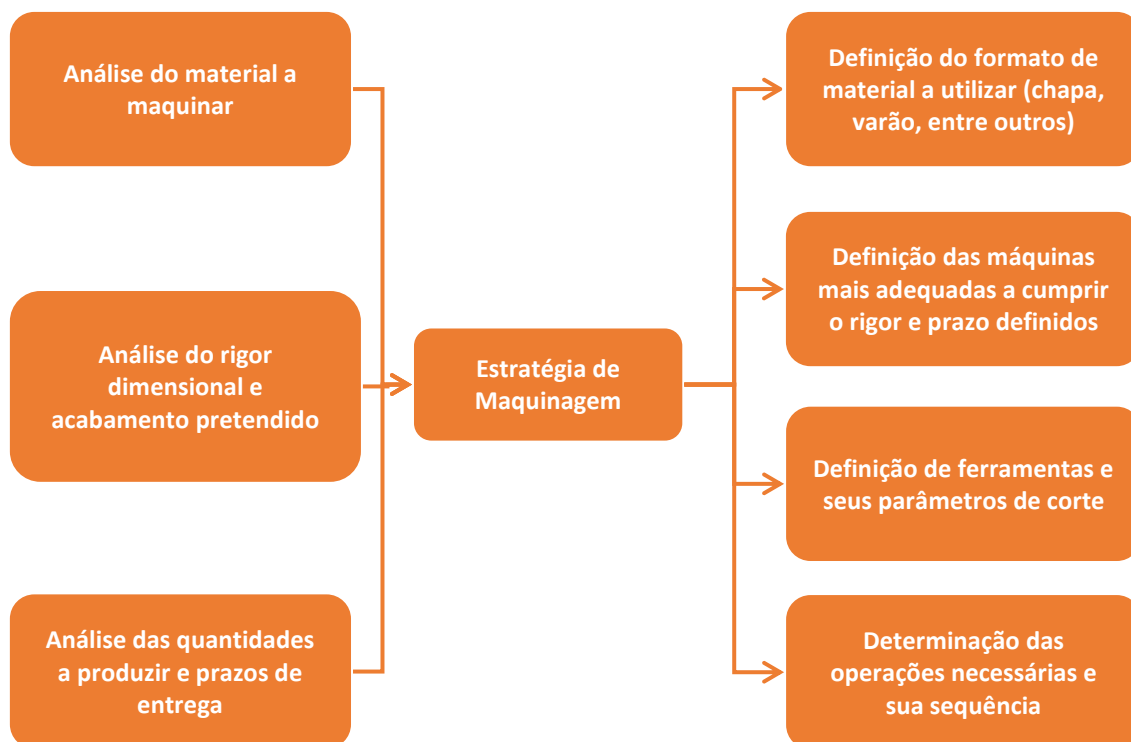


Figura 37: Principais passos para definir estratégia de maquinagem

Ponderando correctamente estes pontos, é possível planear uma estratégia de maquinagem coerente, e que se adapte aos requisitos para a peça final. A definição da estratégia de maquinagem acaba por ser algo semelhante a um processo de selecção de materiais: dentro dos principais requisitos, deve-se determinar quais são os mais importantes para que se possa chegar à melhor solução. Se não forem correctamente definidos, no final poder-se-á chegar a um produto excessivamente caro, ou a um produto que não cumpra os parâmetros de qualidade exigidos inicialmente.

2.1.6. Precisão e qualidade superficial

A maquinagem é um processo de fabrico ao qual se recorre em muitos casos devido ao rigor dimensional, geométrico e acabamento superficial que o processo garante. Embora seja um dos processos com maior rigor, não é possível garantir a 100% as diversas características dimensionais que definem uma determinada peça. Existe sempre um erro associado, seja ao processo de fabrico, às ferramentas associadas, ao material, ou a outros.

Quando se desenvolve um projecto, é importante determinar qual o rigor necessário a nível dimensional, geométrico e acabamento superficial, para que a peça que será maquinada cumpra os requisitos determinados para o desempenho correcto da sua função. Estas características são bastante importantes para que, ao fabricar a peça, seja tido em conta esse rigor, e que, se possível, se garanta o mesmo.

Actualmente existem algumas normas de padronização de tolerâncias gerais a aplicar no processo de maquinagem. A mais comum é a norma internacional ISO 2768, a qual apresenta as seguintes características principais (Tabela 7, Tabela 8, Tabela 9, Tabela 10 e Tabela 11):

Tabela 7: ISO 2768 – Tolerâncias lineares (Morais, 2007)

Tolerâncias ISO 2768 (mm)								
Tolerâncias lineares								
Grau de Precisão	0,5 a 3	3 a 6	6 a 30	30 a 120	120 a 400	400 a 1000	1000 a 2000	2000 a 4000
f (fino)	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,1$	$\pm 0,15$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	-
m (médio)	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,15$	$\pm 0,8$	$\pm 1,2$	± 2
C (grosseiro)	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$	$\pm 1,2$	$\pm 2,0$	$\pm 3,0$	± 4
Raios e chanfros				Desvios angulares				
Grau de Precisão	0,5 a 3	3 a 6	6	< 10	10 a 50	50 a 120	120 a 400	> 400
Fino ou médio	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	± 1	$\pm 1^\circ$	$\pm 30'$	$\pm 20'$	$\pm 10'$	$\pm 5'$
Grosseiro	$\pm 0,4$	$\pm 0,1$	± 2	$\pm 1^\circ 30'$	$\pm 1^\circ$	$\pm 30'$	$\pm 15'$	$\pm 10'$

Tabela 8: ISO 2768 – Tolerâncias geométricas para Perpendicularidade (Morais, 2007)


Tolerância para perpendicularidade para faixas de dimensões nominais para o lado menor (mm)				
Classe	$x \leq 100$	$100 x \leq 300$	$300 x \leq 1000$	$1000x \leq 3000$
H	0,2	0,3	0,4	0,5
K	0,4	0,6	0,8	1
L	0,6	1	1,5	2

Tabela 9: ISO 2768 – Tolerâncias geométricas para Simetria (Morais, 2007)


Tolerância para simetria para faixas dos comprimentos nominais (mm)				
Classe	$x \leq 100$	$100 x \leq 300$	$300 x \leq 1000$	$1000x \leq 3000$
H	0,5			
K	0,6		0,8	1
L	0,6	1	1,5	2

Tabela 10: ISO 2768 – Tolerâncias geométricas para Rectitude e planeza (Morais, 2007)



Tolerância para rectitude e planeza para faixas de dimensões nominais (mm)						
Classe	$x \leq 10$	$10 x \leq 30$	$30 x \leq 100$	$100 x \leq 300$	$300 x \leq 1000$	$1000x \leq 3000$
H	0,02	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4
K	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
L	0,1	0,2	0,4	0,8	1,2	1,6

Tabela 11: ISO 2768 – Tolerâncias geométricas para batimento circular (Morais, 2007)

Tolerância para batimento circular (mm)		
Classe	Tolerância	
H	0,02	
K	0,05	
L	0,1	

Estas são as principais características para dimensões e geometrias. No entanto, existem outros tipos de tolerâncias que podem ser aplicadas em pormenores que requerem um cuidado redobrado, pois poderão ser pontos importantes de acoplamento com outros componentes, pontos de referência, ou mesmo responsáveis pelo desempenho de determinada acção ou movimento. Normalmente, para estas situações recorre-se à norma ISO 286 – Sistema ISO de ajustamentos. Esta norma determina quais as tolerâncias a utilizar nos componentes que se vão interligar numa determinada aplicação (Morais, 2007).

De uma forma geral, a determinação do tipo de ajustamento é feita tendo em conta os seguintes tipos de ajustamento:

- Ajustamento com folga – caso onde é necessário que o furo ou cavidade tenha uma dimensão sempre superior à dimensão do componente que se irá alojar dentro dele.
- Ajustamento com aperto – caso onde o furo/cavidade têm a sua dimensão real menor do que a do componente que se irá alojar dentro dele. Neste caso, a folga entre os componentes será teoricamente nula;
- Ajustamento incerto ou com transição – Caso onde o furo/cavidade tem um campo de tolerância simultaneamente positivo e negativo. Nestes casos a folga existente entre os componentes será reduzida. É o tipo de ajustamento intermédio entre folga e ajustamento com aperto (Morais, 2007).

O principal facto a ter em conta para determinar qual o tipo de ajustamento a utilizar é o tipo de montagem que se pretende, em função do funcionamento desejado (acoplamentos não desmontáveis, acoplamentos que irão suportar esforços, entre outros). Algumas das tolerâncias mais utilizadas poderá encontrar-se no livro *Desenho Técnico Básico* de Simões Morais (Morais, 2007).

Além destas tolerâncias, outro parâmetro muito importante a ter em conta é o acabamento. Normalmente, o acabamento das superfícies pode ser avaliado em função do aspecto físico-químico ou geométrico. No caso do aspecto físico-químico, são avaliadas as características da camada superficial da peça (composição química, dureza, entre outros). No aspecto geométrico são avaliados os desvios macrogeométricos (desvios de forma e de ondulação) e microgeométricos (rugosidade). Neste caso, o parâmetro a ter mais em conta no que respeita à maquinagem é o aspecto geométrico, o qual será devidamente desenvolvido, nomeadamente os desvios microgeométricos. Tal como nas medidas nominais das peças, não é possível obter uma superfície totalmente perfeita. No final da maquinagem de uma superfície, existirá sempre um conjunto de pequeníssimas irregularidades que tornam as superfícies imperfeitas. A este conjunto de irregularidades dá-se o nome de rugosidade. Geralmente, o parâmetro que caracteriza esta rugosidade é o desvio aritmético do perfil (Ra) da superfície em relação à linha central (linha que divide o perfil de modo a que a soma das áreas dos picos seja igual a soma das áreas do lado vales – Figura 38) (Morais, 2007) (Magalhães, 2011).

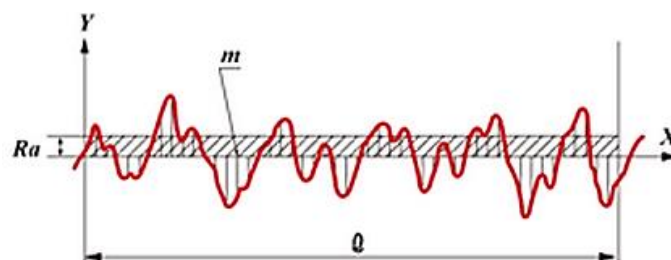


Figura 38: Ra – Rugosidade média aritmética do perfil da superfície (Mitsubishi Materials Corporation, 2015)

A unidade para avaliar este parâmetro é o μm (micrómetro). Os valores normalmente utilizados são os apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Rugosidades utilizadas segundo o tipo de aplicação (Morais, 2007)

FUNÇÕES		Superfícies sem contacto	Superfícies s/ ou c/ contacto fixo	Superf. para contacto de pequena velocidade Centragem	Superfícies para contacto com movimento de grande velocidade. Estanhquidade								
RUGOSIDADE		em bruto	superfícies maquinadas:										
acabamento de superfície símbolos antigos													
desvio médio aritmético	Ra μm	50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025
profundidade média	Rz μm	160	80	40	16	10	6,3	3,15	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1
classes	N \rightarrow	N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1

Embora muitas vezes este parâmetro não seja devidamente considerado, a rugosidade pode influenciar bastante o funcionamento da peça quando esta é aplicada em situações de contacto directo com outras peças. A rugosidade é uma característica que influencia bastante o contacto mecânico. Quando esta é demasiado grosseira, pode provocar o aumento do atrito no momento de contacto, no qual por sua vez, faz aumentar o efeito da fricção. O aumento de atrito irá provocar o aparecimento de fenómenos de desgaste, os quais aceleram a degradação das peças, o que não é desejável.

Todos estes pontos que foram referidos, são dos mais importantes a ter em conta na análise técnica de uma peça quando se pretende verificar se a estratégia de maquinagem é a mais correcta. Como se pode ver nas várias tabelas e figuras apresentadas, existem determinadas tolerâncias e acabamentos que são de elevado rigor. Geralmente, para garantir maior rigor, é necessário recorrer a melhores equipamentos/ferramentas, bem como ao estudo dos parâmetros mais adequados para que tal rigor seja cumprido. Normalmente, esses parâmetros (velocidades de corte, incrementos, rotações, entre outros) decrescem, na maior parte dos casos, com a finalidade de evitar desvios em relação ao acabamento pretendido.

Por exemplo, um furo vazado de $\varnothing 12$ mm pode servir para colocar um parafuso M10 com folga para ajustar a melhor posição, ou para passar um veio calibrado com uma folga reduzida. Esta diferença de aplicação, obriga a recorrer a estratégias de maquinagem diferentes. Na primeira situação, a utilização de uma broca serviria perfeitamente para executar o furo numa operação, garantido uma variação dimensional de alguns décimos de mm. No entanto, para a segunda aplicação, esta variação não seria aceitável. Neste segundo caso, a tolerância dimensional, geométrica e o acabamento do interior do furo são pormenores a ter em conta. Para que o veio ($\varnothing 12 - 0.011/0$ mm) seja alojado com uma folga reduzida, poder-se-ia considerar uma tolerância de $+ 0,016/+ 0,027$ mm (F6), um acabamento de $Ra 1.6 \mu\text{m}$. Para cumprir esta tolerância, poder-se-ia considerar uma furação simples, e posteriormente a passagem de um mandril de precisão compatível com a tolerância especificada. Como se pode ver, isto obrigaria a um conjunto de operações mais demorado que no primeiro caso.

Este caso mostra como o rigor pode influenciar no número de operações. Mas existem outras situações em que se pode utilizar o mesmo número de operações, mas em que é necessário usar parâmetros mais apertados ou equipamentos mais precisos.

Por exemplo, no caso de um veio que seja para uma aplicação simples, onde o rigor não seja muito apertado, ao maquinar o mesmo, para rentabilizar o tempo de produção, pode-se optar por valores de avanço mais elevados (por exemplo: 0.25 mm/revolução). Para dar o acabamento da peça, será considerada uma pastilha de corte com raio 0.4 mm.

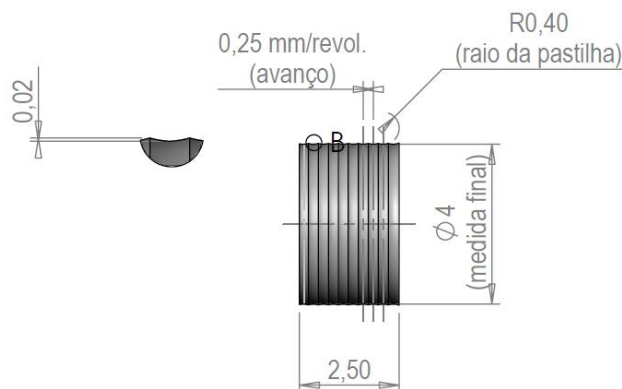


Figura 39: Exemplificação do acabamento com um avanço de 0,25 mm/revolução

Mas, por mais que seja pequeno o raio existente na pastilha de corte, esta deixará sempre uma parcela de material a retirar. Neste caso, fica até 0.02 mm de material, o que provocará o aparecimento de uma rugosidade elevada (Figura 39). Quanto maior o avanço, mais espaçado ficará o canal resultante do corte da pastilha, maior será a rugosidade. Assim, será menor a probabilidade de que na rotação seguinte, a pastilha de corte passe na zona já cortada, que por sua vez não irá eliminar a zona mais alta do canal. Logo, para eliminar parte desse canal, será necessário usar um avanço mais reduzido. Ao reduzir o avanço, a ferramenta fará o dobro das rotações em volta da peça.

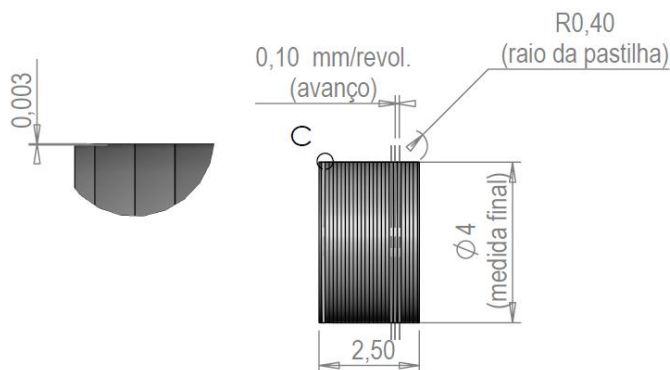


Figura 40: Exemplificação do acabamento com um avanço de 0,10 mm/revolução

Como se pode ver na Figura 40, ao reduzir o avanço para 0,1 mm/revolução, o material que não é removido, reduz significativamente (0,003 mm) o que provocará o aparecimento de uma rugosidade bastante mais reduzida.

Nestes dois exemplos descritos, o rigor é influenciado principalmente pelo tipo de ferramenta e parâmetros utilizados. Outros tipos de rigor (principalmente rigor geométrico) também são influenciados pelas características do equipamento utilizado. Embora a tecnologia CNC seja bastante precisa e tenha evoluído bastante, existem sempre erros associados à mecânica e electrónica da máquina. Actualmente, as máquinas possuem componentes e *softwares* que permitem a compensação de desvios pré-determinados, os quais permitem reduzir os mesmos. Normalmente este tipo de componentes aumenta o custo da máquina e nem todos minimizam os defeitos como seria esperado. Quanto mais eficazes forem estes sistemas, maior será o custo da máquina. Quando se pretende efectuar movimentos da máquina em avanços rápidos, estes componentes poderão não compensar devidamente os erros devido ao seu atraso na antecipação e compensação do movimento/coordenada seguinte. Por isso, quando é necessário rigor dimensional e geométrico, é importante que os parâmetros sejam bem seleccionados e que não se utilizem parâmetros de corte demasiado elevados, para que estes erros não sejam demasiado evidentes no final da operação de maquinagem. Esses parâmetros deverão ter em conta o rigor pretendido, bem como as capacidades da máquina utilizada.

Além destas questões relacionadas com o tempo de maquinagem, existe outro tipo de custo que muitas vezes não é devidamente considerado – controlo dimensional. Para que todos os parâmetros sejam cumpridos, é importante verificar ao longo das diferentes etapas de maquinagem se os parâmetros definidos na estratégia cumprem a sua finalidade. Se o rigor for apertado, menor margem existirá para os desvios inerentes às máquinas/ferramentas/operador. Quando se trata de uma maquinagem sem rigor, os possíveis desgastes de ferramenta, desvios da máquina ou mesmo do operador, podem ser insuficientes para ultrapassar os limites estabelecidos, mas no caso de o rigor ser apertado, um pequeno desgaste da ferramenta pode fazer com que esses limites sejam ultrapassados. Logo, neste tipo de maquinagens, deveremos contemplar mais parâmetros para controlo, tanto dos parâmetros como dos equipamentos/ferramentas intervenientes. Também é importante referir que os próprios equipamentos de controlo se tornam mais dispendiosos consoante o rigor a controlar.

Resumidamente, tendo em conta os exemplos referenciados, assim como os tipos de tolerâncias dimensionais, geométricas e acabamentos que se podem encontrar em peças maquinadas, quanto maior for o rigor, mais influenciará o tempo de maquinagem, que por sua

vez aumentará o seu custo. É sempre importante verificar se tal rigor é compatível com os equipamentos/ferramentas disponíveis. Por outro lado, competirá ao projectista especificar as tolerâncias apertadas, onde é estritamente necessário, para simplificar a maquinagem, e reduzir o custo das peças (Morais, 2007).

2.2. Custeio industrial: Breve introdução

No mundo industrial actual, devido à competitividade existente entre as diversas indústrias espalhadas pelo mundo, é sempre importante apresentar o melhor produto pelo melhor preço. Para isso, é importante que haja um controlo de custos dos diversos departamentos existentes numa determinada empresa.

Ao longo dos tempos, as empresas foram evoluindo internamente para aumentar a sua qualidade, disponibilidade e na procura de novos mercados. Para isso, a organização das empresas foi estruturada em vários sectores responsáveis por determinadas áreas. O número de sectores pode variar de empresa para empresa, consoante a gestão da mesma. Todos estes sectores são responsáveis directa ou indirectamente pelos resultados, mas também representam, com maior ou menor peso, uma parte dos custos globais da empresa.

Para que uma empresa seja saudável e possa evoluir, é sempre necessário que o produto vendido compense os gastos internos e permita ganhos. Caso não seja assim, existe sempre o risco de que a empresa não consiga suportar os seus próprios custos, limitando a possibilidade de crescimento ou mesmo viabilidade da mesma.

A análise dos custos permite determinar qual o preço de venda do seu produto/serviço, avaliar a saúde da empresa e localizar principais fontes de despesa, dando assim os dados necessários para que a gestão possa controlar ou trabalhar na procura do melhoramento da empresa, de forma a reduzir custos e produzir de forma mais competitiva.

2.2.1. Custo relativo aos recursos humanos

Para que a empresa finalize o seu produto ou serviço, são necessários equipamentos e colaboradores para tralharem nos equipamentos e realizar outros tipos de tarefas nos diversos sectores da empresa. Os custos relativos aos salários dos colaboradores representam, na maioria dos casos, uma parcela bastante significativa dos custos globais. Como foi referido no tópico anterior, todos os sectores contam para a determinação do custo de produção de um determinado produto ou serviço, e em todos os sectores existirão colaboradores.

Quando se pretende determinar um custo de produto ou serviço, é bastante importante avaliar o peso salarial dos colaboradores que intervêm directamente, mas também aqueles que não o façam directamente, ou seja, todos os outros colaboradores que desempenham funções não produtivas na empresa.

Contudo, quando se trata do custo salarial, é importante também ter em conta outras despesas que estão associadas. Além do próprio salário, a empresa tem a seu cargo outras

responsabilidades em conformidade com a lei, assim como higiene e segurança do trabalho impostas. É de sua responsabilidade:

- Pagamento do seguro de trabalho que proteja o colaborador e a própria empresa em caso de algum acidente de trabalho;
- Fornecer serviços de saúde mínimos em conformidade com as leis existentes;
- Pagamento de taxas e impostos de acordo com as leis fiscais, com base no salário base do colaborador;
- Pagamento dos respectivos subsídios (subsídio de férias, subsídio de natal, de alimentação, entre outros);
- Garantir os equipamentos de segurança necessários (fardamento, calçado de segurança, entre outros que sejam requeridos pelas normas de higiene e segurança do trabalho).

Estas responsabilidades têm um peso importante na despesa mensal com cada colaborador. Além destes custos, podem existir outras situações que promovam o seu crescimento. Quando a empresa necessita de responder a prazos de entrega mais curtos, poderá ser necessário um reforço de horas de trabalho para cumprir os prazos estipulados. Isto leva a que, na maioria das vezes, seja necessário recorrer a horas extras. Nestes casos, é necessário ter em conta que as horas extras terão que ser pagas, e estas terão um custo acrescido em conformidade com as leis de cada país. Embora a empresa consiga aumentar a produção, há que verificar se os custos adicionais são suportáveis ou estavam contemplados na determinação do preço de venda do produto ou serviço.

Estes são os custos principais associados aos recursos humanos de cada empresa. No entanto, é sempre importante que a empresa proporcione boas condições de trabalho e que mantenha os índices de motivação em alta, para que a empresa tenha a melhor rentabilidade dos seus colaboradores. Em algumas empresas existem políticas internas de motivação dos seus colaboradores. Quando a empresa pretende que os seus colaboradores dêem o seu melhor e ajudem a empresa a evoluir, poderá existir uma política de premiação. São despesas adicionais, mas que normalmente permitem motivação extra aos seus colaboradores e que com isso, haja uma maior rentabilidade, empenho e maior ligação com a empresa, a qual poderá também levar ao aparecimento de novas ideias que ajudarão a empresa a evoluir.

2.2.2. Custo relativo à amortização dos equipamentos

Devido à progressão constante das diversas tecnologias existentes, e à consequente desvalorização dos equipamentos, existem algumas políticas para incentivo à constante evolução das empresas. Para tal, existem algumas regras fiscais que beneficiam as empresas para que possam atenuar a desvalorização de alguns dos seus activos. A nível fiscal, esta desvalorização pode ser considerada um custo para a empresa, logo, estes custos serão dedutíveis aos lucros tributáveis. Isto é uma vantagem bastante importante para a estratégia de gestão económica e empresarial da empresa.

Embora seja uma política com o objectivo de criação de uma reserva financeira para aquisição de equipamentos de substituição no futuro, esta política permite também atenuar os custos de amortização de capitais necessários para aquisição dos equipamentos atuais.

Para aplicação destas regras é necessário determinar alguns pontos. A principal base é o tempo de vida útil do equipamento. Este tempo ou período, para efeitos fiscais, é o período durante o qual se deprecia ou amortiza totalmente o valor do equipamento, excluído, quando for o caso disso, o respectivo valor residual. Este período é determinado através de uma percentagem especificada na tabela de taxas específicas, descrita no Decreto Regulamentar nº 25/2009 de 14 de Novembro, publicado em Diário da República, 1ª série — Nº 178 — 14 de Setembro de 2009. Nesta tabela deve-se enquadrar o equipamento nos diversos tipos de áreas de negócio, e respectivo tipo de máquina. Essa percentagem será o valor máximo a amortizar em cada ano até perfazer os 100% do valor considerado. Isto permite também saber qual o período de amortização. Este método é o mais utilizado, e ao qual se dá o nome de cotas constantes, onde a depreciação do equipamento é constante ao longo do período de vida útil. Em alguns casos específicos podem-se aplicar outros métodos referenciados no decreto regulamentar 25/2009 (método de cotas decrescentes ou o método de amortização por duodécimos) mas tais métodos são mais complexos e poderão necessitar de aprovações por parte da Direcção Geral dos Impostos. Estes valores de amortização, também são, normalmente, os valores utilizados para determinação do custo/hora da respectiva máquina (Pública, 2009)

2.2.3. Custos com a energia

A energia é um recurso vital, que está praticamente associado a qualquer processo produtivo. Contudo, o seu consumo deve ser ponderado e constantemente controlado, pois normalmente, qualquer que seja a fonte de energia, tem custos de transformação ou obtenção. Estes custos são parte importante a ter em conta na gestão de custos pois, podem também ter um peso significativo nos custos globais.

Observando qualquer empresa, poderemos encontrar consumos de energia associados:

- A equipamentos/ferramentas utilizadas (maquinas, impressoras, computadores, entre outros);
- À movimentação (transportes internos ou externos, entrega de produtos, visitas a clientes, entre outros);
- Iluminação.

Como se pode ver, a energia é um recurso muito importante para qualquer empresa, mas é sempre preciso uma boa gestão da mesma para que esta não atinja custos avultados. Por isso é importante avaliar todos os consumos de energia detalhadamente, qual é o custo que este representa em cada sector, e em cada posto de trabalho. Estes dados são importantes para que seja possível alocar ao custo de produção ou serviço a devida parcela de custos de energia.

A energia é um custo que as empresas pretendem reduzir cada vez mais, seja pelo seu valor, mas também pelos danos que este consumo tem sobre o meio ambiente. Embora os equipamentos actuais sejam mais eficientes, a sua evolução leva a que os equipamentos disponíveis possuam mais recursos (mais eixos de movimentação, alimentadores de peças, extractores de apara, tecnologias eléctricas como sensores, câmaras, entre outros), os quais, maioritariamente dependem de uma fonte de energia. Isto leva a que o consumo energético aumente consideravelmente. Sendo assim, o custo de energia tende a aumentar a sua importância no que toca ao custeio industrial. Por isso, ao adquirir novos equipamentos ou ferramentas, além de avaliar o desempenho e qualidade do equipamento, é preponderante avaliar o impacto energético que este teria nos custos de energia da empresa. Existem também políticas fiscais de incentivo à redução do consumo ou procura de fontes de energia renováveis (Silva, 2011) (Diário da República, 2013) (Amador, 2010).

2.2.4. Custos com a manutenção

Todas as empresas possuem equipamentos ou ferramentas essenciais ao funcionamento da mesma. Mas estes equipamentos/ferramentas estão sujeitos a um processo de deterioração. Para que esta deterioração seja controlada, é importante que os equipamentos/ferramentas sejam mantidos em boas condições de funcionamento. Para que isto seja possível, é importante realizar determinadas acções como limpeza, substituição de componentes, calibrações, mudanças de óleo, entre outras. A este conjunto de acções dá-se o nome de manutenção.

A manutenção é uma tarefa muito importante que garante o bom desempenho dos equipamentos/ferramentas de cada empresa. Caso estas não garantam o bom funcionamento, as empresas correm sérios riscos de registar prejuízos, pois não conseguirão obter os resultados esperados.

As vantagens económicas de uma boa manutenção são ponto essencial a ter em conta na gestão de qualquer empresa. Contudo, esta apresenta custos importante a ter em conta. Para as empresas garantirem uma boa manutenção, precisam de considerar as seguintes despesas:

- Componentes de substituição;
- Equipamento para desempenhar as tarefas de manutenção (ferramentas de controlo, ferramentas para montar/desmontar equipamentos, entre outros);
- Paragens pré-programadas da produção, para que as tarefas de manutenção sejam realizadas.

Alem destes pontos, é necessário ter colaboradores qualificados para desempenhar a manutenção. Dependendo da gestão da empresa, é possível ter nos quadros internos da empresa, colaboradores dedicados à manutenção, ou adquirir este tipo de serviços através de empresas especializadas na área da manutenção. Esta escolha deve ter por base o que é mais vantajoso para a empresa, em função dos equipamentos e tipo de manutenção que sejam necessários. Para que a manutenção e as suas despesas tenham um menor impacto nas despesas da empresa, deve haver uma correcta gestão. Uma boa gestão da manutenção leva a que haja:

- Menores custos directos – menores paragens para intervenções em avarias não esperadas;

- Menor imobilizado em peças de reserva – definição correcta da quantidade de componentes de substituição a ter em *stock*, comprando só quando for necessário;
- Economia de energia – melhor rendimento dos equipamentos devido ao seu bom funcionamento;
- Enriquecimento da empresa – os conhecimentos adquiridos ao longo dos anos sobre o funcionamento dos vários equipamentos/ferramentas serão registados e padronizados de forma a tornar a manutenção mais simples e menos dependente;
- Intangíveis – quebras de produção, qualidade, prazos de entrega, acidentes de trabalho, insatisfação ou perda do cliente, serão evitados com maior eficácia.

Resumindo, A manutenção é um custo que pode atingir valores consideráveis, logo é importante ter em conta na gestão de custos das empresas. No entanto, não deve ser olhada apenas como uma despesa a eliminar, pois esta na realidade significa ganhos para a empresa. É uma tarefa que nunca deve ser desconsiderada (Cabral, 2006).

2.2.5. Custos gerais de fabrico

Como já foi referido, as empresas são divididas em vários sectores. No entanto, nem todos são responsáveis directos pelo fabrico de um produto ou serviço. A maioria destes sectores desempenha funções importantes na empresa, que tanto garantem serviços internos como externos. Normalmente, esses sectores podem ser os seguintes:

- Gestões de recursos humanos – desempenham funções relacionadas com os colaboradores. Gerem os pagamentos de salários, planeiam as férias dos colaboradores, contratação de novos colaboradores, entre outras tarefas. Também é responsável pela criação de boas condições de trabalho a todos os colaboradores;
- Departamento financeiro – trata de assuntos principalmente relacionadas com questões financeiras como pagamentos, gestão de contas, gestão de riscos financeiros, pagamento de empréstimos, gestão dos pagamentos dos clientes, contabilidade da empresa, entre outros assuntos. É um sector importante para garantir uma boa imagem da empresa perante investidores, fornecedores e clientes;

- Departamento de compras – este departamento é responsável pela gestão de compras de todos os produtos necessários à empresa. É um departamento importante para que se procure sempre a melhor compra. Podem tratar da compra da matéria-prima, ou serviços externos que a empresa possa necessitar;
- Departamento comercial – é um sector que normalmente faz a ligação entre o cliente e a empresa. É um departamento importante para que se mantenha um bom relacionamento com o cliente, procurando sempre que este esteja satisfeito com os produtos ou serviços adquiridos. Também é o departamento responsável pela procura de novos clientes.
- Departamento de marketing – é o sector responsável pela imagem da empresa. Muitas vezes este sector está associado ao departamento comercial. Nele são geridas questões relacionadas com publicidade, catálogos, *websites*, para que a imagem da empresa chegue mais facilmente aos possíveis clientes, dê-lhes a informação necessária e que esta cativa a sua atenção. Este sector acaba por ser uma ferramenta bastante útil para o departamento comercial;
- Departamento técnico – é o sector onde todas as questões técnicas relacionadas com o produto ou serviço são desenvolvidas. É um sector que pode trabalhar em conjunto com a produção, de forma a garantir resposta a questões técnicas, desenvolvimento de novas formas de produção, desenvolvimento e melhoramento do produto ou serviço, entre outros. Também pode ser um departamento importante para auxílio em questões técnicas dos clientes;
- Departamento de planeamento – é o sector responsável pelo planeamento e programação da produção. Neste sector procura-se rentabilizar a produção da empresa, bem como gerir prazos de entrega;
- Departamento da qualidade – é o sector responsável por garantir os níveis de qualidade exigidos nos produtos ou serviços da empresa. Este sector é responsável pela criação de manuais, procedimentos, instruções e também pela definição dos equipamentos e parâmetros necessários para o controlo necessário da qualidade. É de

sua responsabilidade analisar todas as causas de má qualidade que possam surgir, procurando soluções para estas em conjunto com outros departamentos (departamento técnico e departamento de planeamento). A qualidade também é um forte argumento para outros departamentos (comercial e marketing);

- Departamento logístico – é o sector que faz a gestão do armazenamento das matérias-primas, produtos acabados, gestão de saídas e entradas de produtos, transporte dos produtos a nível interno da empresa ou para o exterior (por exemplo, envio do produto para os clientes). Este sector é também responsável pela gestão de *stocks* da empresa. Normalmente, esta última tarefa pode ser desempenhada em conjunto com o departamento de planeamento;
- Departamento informático – é o sector que faz a gestão de todo o *software* e *hardware* existente na empresa. Procura resolver todos os problemas informáticos que possam existir, garantir que todo o *software* funcione correctamente, não cometa erros que possam ser prejudiciais ao funcionamento da empresa, mas também procura novas soluções para otimizar os processos informáticos já existentes.
- Departamento de limpeza – é o sector responsável pela limpeza dos vários espaços e equipamentos existentes na empresa. A limpeza é uma tarefa importante para manutenção de todo o espaço físico da empresa, mas também para a criação de uma boa imagem da empresa perante o olhar dos clientes;
- Departamento de segurança – é o sector responsável pela garantia da segurança da empresa. Este serviço pode ser desempenhado por sistemas e colaboradores internos, ou por empresas especializadas na área.

As estruturas das empresas não possuem obrigatoriamente todos estes sectores. Algumas das tarefas destes sectores, podem ser geridas em simultâneo por um único sector. Tudo isto depende da dimensão da empresa e se o sector incumbido dessas tarefas apresenta capacidade para as desempenhar. Mas, mesmo sendo uma estrutura mais reduzida, a maioria destes sectores são bastante importantes para o correcto funcionamento da empresa. No entanto, estes sectores têm um peso bastante significativo nas despesas. São sectores não

produtivos, mas que necessitam de colaboradores qualificados e diversas ferramentas de trabalho (computadores, *softwares*, entre outros). A sua criação dentro da estrutura das empresas deve ser bem ponderada para que não crie despesas desnecessárias, pois estas iriam aumentar os custos da empresa desnecessariamente, aumentando o custo global de produção da empresa e encarecendo o seu produto ou serviço (Pillet, 2005) (Nogueira, 2010).

2.3. Prática do custeio industrial na maquinagem: resumo

De uma forma geral, nos vários tópicos descritos anteriormente, pode-se concluir que numa empresa da área da maquinagem existem vários pontos que irão influenciar o custo de produção de peças maquinadas. Os pontos que poderão influenciar o custo de maquinagem são:

- Equipamentos;
- Ferramentas e suas fixações;
- Tipo de estratégias de maquinagem;
- Nível de precisão a garantir;
- Estrutura da empresa.

Estes pontos são os mais importantes, e por isso é importante que as escolhas que estejam associadas a eles sejam bem ponderadas. Actualmente, existem bastantes soluções para este tipo de processo de fabrico. Contudo, a definição incorrecta destes pontos referidos poderá levar ao fracasso. Deve-se sempre olhar ao que os actuais ou futuros clientes possam pretender para o seu produto. Todos os clientes procuram a melhor solução e a melhor relação qualidade/custo. Não se deve cair no erro de adoptar um tipo de produção com elevada qualidade, quando o tipo de produção habitual não exige essa qualidade. Como já foi referido, o aumento da qualidade aumenta drasticamente os custos de produção, desde os equipamentos necessários, ao tipo de estratégia que tem de ser definida. Isso irá prejudicar a razão qualidade/custo, que poderá não ser compatível com o que o cliente pretende. Ao invés, também não será benéfico pois, embora seja um custo mais reduzido, o nível de qualidade não será o pretendido. No caso de a empresa pretender trabalhar com qualidade alta ou baixa, é importante que esta faça uma análise correcta do produto a fabricar, para que não caia no erro de exceder ou não atingir os parâmetros de qualidade pretendidos. A análise da estratégia de maquinagem torna-se ainda mais importante nestes casos. Deve-se analisar

sempre a posição da empresa no mercado actual e procurar não ter as melhores soluções, mas sim as mais adequadas para essa posição.

Outro ponto importante é a evolução constante desta área. Como foi referido, cada vez mais a tecnologia CNC apresenta novas soluções, mais capazes e mais inovadoras. Um acompanhamento destas evoluções é sempre importante para que se inove na empresa, de forma a melhorar os seus processos, aumentando a sua rentabilidade e consequente redução de custos. Isto irá aumentar a sua competitividade face a outras empresas da mesma área. Caso não seja realizada, existe grande probabilidade de perder cota de mercado face aos seus concorrentes.

3. Desenvolvimento

3.1. Objectivos do trabalho

Um dos primeiros passos, e dos mais importantes na TECNOLANEMA, é a orçamentação de peças maquinadas, no qual se insere este estudo. Esta etapa é bastante importante para a TECNOLANEMA, quando a maioria das peças maquinadas necessitam de um orçamento antes da sua execução. Na TECNOLANEMA, a etapa de orçamentação não é apenas um processo de determinação do valor da peça.

Basicamente, a forma como é processado o orçamento, permite saber qual o valor da peça, mas também preparar a execução da peça em caso de encomenda, e antecipar pontos que possam bloquear o seu fabrico e idealizar todo o processo para que, no final, se obtenha o produto esperado pelo cliente. Contudo, a análise cuidada das peças requer bastante dedicação de tempo, o qual pode não ser suficiente para corresponder a todos os pedidos de cotação solicitados diariamente à TECNOLANEMA. Este era um problema existente no início deste desenvolvimento, ao qual era necessária uma resposta eficaz.

Olhando de uma forma geral para as peças maquinadas, pode-se verificar que as principais operações são práticas repetitivas (contorno, facejamentos, furos, entre outros) e apenas se adaptam aos materiais e formatos das peças. As definições das ferramentas a utilizar são determinadas com base nos pormenores a maquinar e sua dimensão. Os parâmetros são seleccionados com base na ferramenta utilizada, material e pormenor a maquinar.

Com base nesta conclusão e na estratégia de orçamentação utilizada na TECNOLANEMA, ponderou-se a execução de um estudo para idealizar uma aplicação informática que fosse capaz de executar um orçamento com base em alguns dados pré-determinados. O objectivo será, no final, obter uma estimativa dos tempos necessários para a execução de uma determinada peça, em função da sua geometria e material, e conseqüente cálculo do custo de fabrico da mesma. Este desenvolvimento deve permitir que a sua utilização seja simples, e que qualquer pessoa com conhecimentos básicos de desenho técnico e noção das principais operações de maquinagem consiga interpretar a peça a orçamentar e extrapolar os dados necessários para esta aplicação.

A base de cálculo deverá usar os parâmetros utilizados pelo departamento CAD/CAM para que haja uma correcta ligação entre o orçamento e os tempos reais de fabrico. Além dos parâmetros, a aplicação deverá também definir correctamente quais os centros de trabalho necessários e mais adequados ao fabrico da peça com base nas dimensões e tipo de maquinagem necessária para uma determinada peça.

No final, deverá garantir também um maior rigor na estimativa de tempos, evitando desvios entre peças similares, garantindo uma maior uniformidade nos orçamentos.

Uma das premissas importantes a ter em conta em todos os desenvolvimentos é garantir que o *software* não obtenha resultados que possam ser inferiores aos custos reais de fabrico da peça. Por isso, o resultado final, nomeadamente os custos de maquinagem pois são os mais valiosos e mais sujeitos a variação, deverá garantir que fique sempre acima do valor real. No entanto essa diferença não deverá ser abusiva.

Olhando para os pressupostos desta aplicação, o tempo necessário para orçamentar determinadas peças será bastante reduzido, sem perder informações necessárias para o processamento das várias etapas de fabrico posteriores. Isto também aumentará a capacidade de resposta da TECNOLANEMA aos seus clientes, dando um maior número de propostas num período de espera mais reduzido, melhorando a sua satisfação o que é um factor bastante importante para a política de qualidade do Grupo LANEMA. Directamente relacionado com este melhoramento aumentará a probabilidade de obtenção de maior número de encomendas por parte dos clientes pois o número de propostas irá aumentar.

3.2. Caracterização da empresa

A empresa Representações LANEMA, Lda. é uma sociedade por cotas constituída em 1978, na qual a actividade inicial se baseava na comercialização de diversos produtos de apoio à indústria.

Em 1992 houve a aquisição da empresa por parte da actual gerência, a qual iniciou um processo evolutivo até aos dias de hoje. Este processo teve como base inicial, a modernização, dinamização e introdução de novos produtos, o que levou a aumentar a sua resposta à necessidade de vários tipos de empresas, nomeadamente na área da indústria de fabrico de máquinas, disponibilizando vários tipos de componentes normalizados (rolamentos, vedantes, casquilhos *Selfoil*, entre outros).

Em 1995 houve a introdução de uma nova gama de produtos como Transmissões Mecânicas, Bronze, Alumínio e Plásticos de Engenharia.

Ao longo dos anos, a busca constante pela evolução, permitiu expandir as suas áreas de negócio, bem como a melhoria contínua dos seus processos internos. Essa expansão permitiu aumentar o número de produtos normalizados comercializados, e alargar as suas áreas de negócios para a área de alumínios e plásticos técnicos, corte e processos de maquinagem. A evolução dos seus processos internos, teve como base a adaptação às novas tecnologias, nomeadamente na aplicação de sistemas informáticos, tanto na área administrativa como na gestão dos próprios produtos, que, permitiu um maior rigor, controlo, e reposta rápida e correta às necessidades dos seus clientes.

Em 2000 iniciou-se a construção das actuais instalações com uma área de 10.000 m² sediadas na zona industrial de Ovar, as quais permitiram albergar toda esta expansão da empresa. No ano 2003 concluiu-se a construção das actuais instalações.

No ano de 2004 dá-se a criação do departamento de maquinagem de alta velocidade nas novas instalações da empresa – TECNOLAMENA. Foram aumentadas as capacidades de corte com a aquisição de equipamentos para tal tarefa. Este salto qualitativo despertou o interesse de grandes grupos empresariais de prestígio mundial, tais como: FAG, INA, Chiaravalli, Quadrant EPP, Ames, Alcan, entre outros, aumentando ainda mais o leque de produtos acabados e matéria-prima disponíveis.

Em 2005 deu-se o processo de aquisição da empresa portuguesa de alumínios e plásticos SUNEMETAL, aumentando a sua projecção nacional e internacional.

Em 2008 o grupo obteve a certificação ISO 9001/2008, incrementando a sua credibilidade no mercado.

Em 2010 foram adquiridos os activos em Madrid e Barcelona da empresa SERTU, a qual era reconhecida na área dos plásticos e alumínios de alta tecnologia. Esta muda o nome para "LANEMA DE ALUMINIOS Y PLÁSTICOS, S.L.", constituindo um reforço da presença em Espanha.

Igualmente em 2010 houve uma aquisição de novos espaços junto às instalações actuais. Isto permitiu aumentar a área de trabalho em 20.000 m². Isto permitiu a organização do departamento de maquinagem num espaço próprio, permitindo uma maior expansão. Com este passo, o departamento TECNOLANEMA ganha maior importância na empresa.

Em 2011 houve uma mudança da estrutura da empresa, passando a denominar-se Grupo LANEMA. A Representações LANEMA, Lda. passa a denominar-se LANEMA - INVESTIMENTOS E GESTÃO. Esta divisão tem como objectivo a compra e venda de bens imóveis e gestão de participações sociais. Desta cisão nasceu também a sociedade POLYLANEMA, Lda. Todos os negócios de compra e venda de produtos, assim como a sua fabricação, são agora tratados pela POLY LANEMA, Lda. Actualmente, o grupo LANEMA encontra-se dividido nas seguintes empresas/departamentos (Figura 41) (TECNOLANEMA, 2014) (POLYLANEMA, 2014):

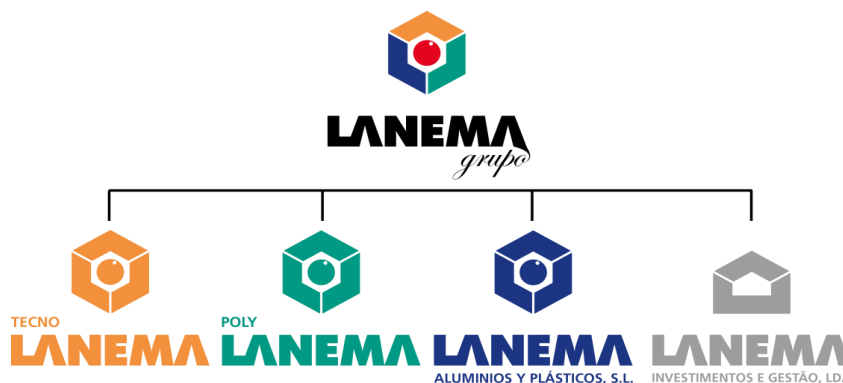


Figura 41: Grupo LANEMA

A TECNOLANEMA é o departamento responsável pelo estudo e concepção de Soluções de Engenharia. A sua especialidade é a fabricação CNC de peças em Plástico de Engenharia e Alumínio Técnico, para a qual conta com uma equipa multidisciplinar especializada e com os meios técnicos mais evoluídos ao nível de *software* e equipamentos de última geração. A estrutura base da TECNOLANEMA está dividida em 5 principais departamentos (Figura 42):

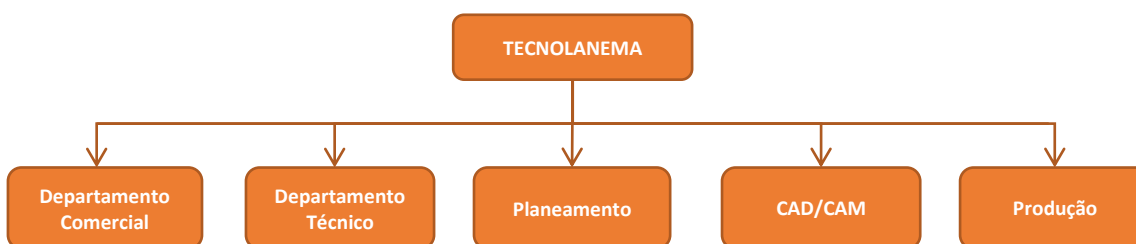


Figura 42: Estrutura base do departamento TECNOLANEMA

Estes departamentos são responsáveis por várias tarefas do quotidiano da TECNOLANEMA. As suas principais tarefas são as seguintes (Figura 43):

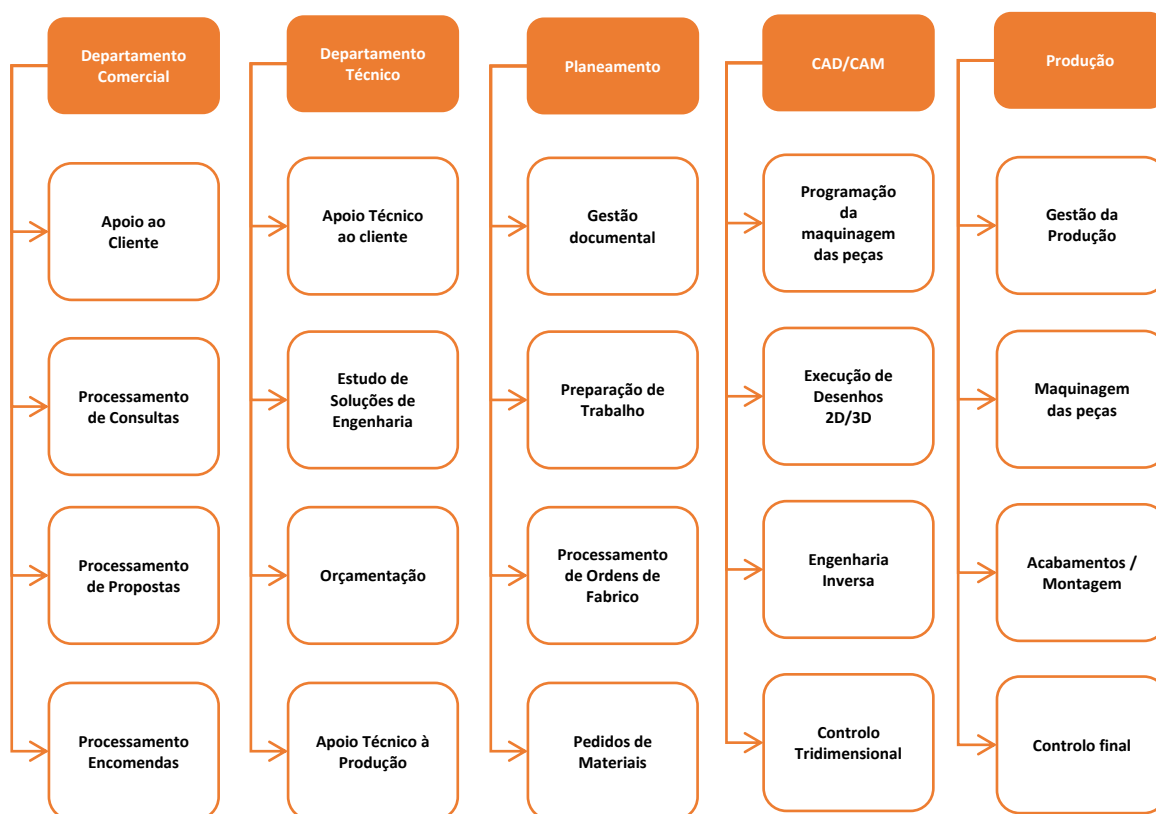


Figura 43: Tarefas principais dos departamentos da TECNOLANEMA

Sendo o seu principal foco maquinagem de peças em materiais comercializados pela POLYLANEMA, principalmente Alumínios e Plásticos técnicos, a TECNOLANEMA está equipada com vários tipos de máquinas CNC de última geração e outros equipamentos auxiliares. O seu parque de máquinas evoluiu ao longo do tempo, apresentando na actualidade as seguintes opções:

- Quatro centros de fresagem CNC de três eixos:
 - Volumetria de trabalho até 1620x810x760 mm³;
 - Sistemas acoplamento com quarto e quinto eixo;
- Seis centros de fresagem CNC de pórtico com aperto por vácuo:
 - Volumetria de trabalho até 4000x2100x275 mm³;
 - Sistema de quarto eixo que permite executar peças em revolução (Exemplo: sem-fim).

- Dois centros de fresagem CNC horizontal de quatro eixos:
 - Volumetria de trabalho até 1000x450x550 mm³;
 - Sistema de alimentação de peças automático por intermédio de paletes.
- três centros de fresagem CNC de cinco eixos:
 - Volumetria de trabalho até 800x650x550 mm³;
 - Possibilidade de executar peças em estratégias de 5 eixos contínuos.
- Três centros de Torneamento CNC de dois eixos:
 - Diâmetro máximo sobre guias de 760 mm;
 - Equipados com ferramentas motorizadas radiais e axiais;
 - Sistemas de contraponto;
 - Sistemas de alimentação de materiais automáticos.
- Um centro de torneamento CNC com árvore dupla e eixo Y:
 - Diâmetro máximo sobre guias de Ø526 mm;
 - Equipado com ferramentas radiais e axiais.
- Outros equipamentos:
 - Uma molduradora para execução de perfis;
 - Sistema de medição de ferramentas electrónico;
 - Equipamentos de roscagem automática;
 - Fresadora convencional;
 - Torno convencional;
 - Escateladora;
 - Jacto de areia (TECNOLANEMA, 2014).



Figura 44: Espaço de produção da TECNOLANEMA

Devido às exigências do mercado, a TECNOLANEMA dispõe de vários equipamentos de controlo dimensional e tridimensional para um controlo durante e no final de execução das diversas peças produzidas nas suas instalações. Estes equipamentos são muito importantes para os critérios de qualidade que necessitam de ser cumpridos e verificados para indústrias onde o rigor na qualidade é superior (Figura 45).



Figura 45: Equipamentos de controlo dimensional e tridimensional

Para garantir tempos de preparação mais rápidos, maior disponibilidade de ferramentas e soluções diversas para pormenores maquinados complexos, a TECNOLANEMA dispõe de um armazém vertical com diversas ferramentas pré-montadas, bem como um sistema de medição de ferramentas que garante uma maior precisão durante a execução de peças maquinadas (Figura 46).



Figura 46: Sistema de medição e armazém de ferramentas

A sua equipa de colaboradores tem também ao seu dispor vários *softwares* de apoio, os quais são essenciais para o funcionamento correcto de todos os departamentos. Os principais *softwares* são:

- CAMWORKS;
- HSM EDITOR;
- 3D PALLET MANAGER;
- SCROLLWORKS;

- VERICUT;
- CALYPSO MAN GEOMETRY;
- GEOMAGIC QUALIFY;
- PHC *Enterprise*;
- PHC *Manufacturer*;
- PDM (EPDM).

Como se pode ver, a TECNOLANEMA possui diversas soluções de última geração. Com estas soluções é possível executar peças com elevado rigor para o mercado nacional e internacional. Actualmente, a TECNOLANEMA produz diversas peças em alumínio ou plásticos técnicos para os seus diversos clientes, normalmente em pequenas ou pequenas/médias séries. O seu foco não se encontra em peças simples produzidas em quantidades enormes, mas sim em peças para diversas indústrias, peças de substituição em tarefas de manutenção, substituição de materiais por alternativas de alumínio ou plástico técnico que melhorem a performance da peça, entre outros. Isto permite dar um apoio importante às empresas que necessitem de soluções fiáveis, precisas e de qualidade, que muitas vezes possuem prazos de entrega bastante apertados.

Para isso, a TECNOLANEMA necessita de uma estrutura bastante versátil, e que consiga dar resposta a todos os pedidos feitos pelos seus diversos clientes. No entanto, sendo uma empresa certificada, é importante que todos os dados sejam tratados e registados devidamente, com o auxílio dos programas disponíveis, como é o caso dos *softwares* PHC e PDM.

Estes dados são uma ferramenta bastante importante para o bom funcionamento na TECNOLANEMA. Todas as peças que sejam alvo de orçamentação ou fabricadas, obedecem a um criterioso registo informático, desde os dados necessários para a orçamentação, aos próprios desenhos e programas CNC necessários para o seu fabrico. Isto permite que sempre que haja um pedido de cotação ou mesmo encomenda de uma determinada peça, seja possível verificar se a peça está a ser fabricada dentro dos valores inicialmente estipulados no orçamento, qual o tempo de execução, como foi fabricada, verificar se o cliente apresenta novas alterações, e dispõe também do programa CNC necessário para o seu fabrico. Estes pontos são bastante importantes para a TECNOLANEMA, mas também apresentam uma maior segurança e confiança para os seus clientes, pois sabem que podem contar com uma elevada

fiabilidade na reprodução das peças que já fabricou, e que poderá voltar a fabricar no futuro. (TECNOLANEMA, 2014) (POLYLANEMA, 2014).

3.2.1 Orçamentação

Como já foi referido no subcapítulo 3.1 Objectivo do Trabalho, o departamento de orçamentação desempenha um papel fundamental no funcionamento da TECNOLANEMA.

Qualquer pedido de cotação feito à TECNOLANEMA é devidamente analisado e processado de forma a dar a melhor proposta ao cliente que a solicita, mas também devidamente preparada para que, em caso de encomenda, todos os dados estejam preparados para que cumpra os requisitos exigidos pelo cliente, e para que seja fabricada dentro do orçamento estipulado.

Sendo assim, esta preparação é desempenhada, geralmente, pelo orçamentista. Numa primeira fase, o orçamentista necessita de avaliar os seguintes pontos:

- Análise técnica da peça e sua exequibilidade:
 - Verificar tolerâncias dimensionais, geométricas e acabamento. Verificar se as máquinas disponíveis e o material permitem que seja possível cumprir tal rigor;
 - Interpretar a aplicação da peça e filtrar possíveis erros de projecto (por exemplo, falta de tolerâncias em pormenores importantes);
 - Verificar, de uma forma geral, se as máquinas disponíveis são capazes de fabricar a peça;
 - Verificar se existem pormenores não exequíveis, e definir quais as alterações necessárias para propor ao cliente.

- Formato e quantidade de material a consumir:
 - Verificar qual o material exigido;
 - Verificar qual o formato de material disponível mais adequado para o fabrico;
 - Caso não exista um formato compatível, definir quais as alternativas mais viáveis.

Após a análise destes pontos, caso as dúvidas sejam importantes para definir o processo de fabrico e estimar o orçamento, poderá ser feito um contacto com o cliente para esclarecimento de dúvidas que surjam na análise técnica, ou serão indicados juntamente com a proposta.

Em seguida, os pontos a trabalhar estão mais relacionados com o fabrico e determinação do custo da peça:

- Definição de uma estratégia de fabrico e quais os passos mais importantes a cumprir:
 - Quais são as máquinas mais adequadas e número de apertos necessários;
 - Definir como será apertada a peça durante a sua execução, e avaliar se é necessário algum tipo de gabarito para melhor fixação da peça.
 - Quais são os pormenores a maquinar e como serão maquinados;
 - Definir a sequência de operações a seguir.

- Verificação de ferramentas necessárias:
 - Verificar quais as ferramentas mais adequadas ao fabrico da peça;
 - Verificar se estas estão disponíveis na TECNOLANEMA;
 - Caso não exista alguma ferramenta na TECNOLANEMA, procurar junto dos fornecedores qual a melhor solução, o seu preço e prazo de entrega;
 - Quais os parâmetros habituais para essas ferramentas, em função do material a maquinar.

- Estimativa de tempos de fabrico:
 - Estimar quais os tempos de preparação (desenho, programação CAM, preparação da máquina);
 - Quais os tempos necessários em cada aperto para executar a peça, em função da estratégia e ferramentas definidas;
 - Quais os tempos, se necessário, para etapas complementares (acabamentos, limpeza, entre outros).

Concluindo estes pontos, é da responsabilidade do orçamentista organizá-los e prepará-los para que o departamento comercial possa definir a proposta ao cliente. A maior parte será registada numa gama operatória no *Software PHC Manufactor*. Nesta gama operatória são descritas quais as etapas de fabrico, consumos de materiais, qual a estratégia definida e descrição de como será feita a peça (como é apertada, sequência de operações, entre outros), e finalmente, os tempos de fabrico. Posteriormente, esta gama operatória é importada para outro *software* que é o *PHC Enterprise*. Este usará os tempos de fabrico estimados para calcular o custo de fabrico da peça, com base no custo hora de cada máquina ou sector.

Estes dados serão pontos importantes para que seja feita a proposta ao cliente, mas também fica já correctamente definido para que, em caso de encomenda, o planeamento tenha a informação necessária para proceder à emissão da ordem de fabrico. A ordem de fabrico será responsável por descrever a estratégia definida, bem como informações importantes para que os outros sectores da TECNOLANEMA sigam o que foi definido.

Em caso de encomenda da peça orçamentada, durante o seu fabrico, todos os consumos de materiais e tempos de fabrico reais serão devidamente registados informaticamente, que no final serão comparados com o que foi estipulado no orçamento, verificando se a peça foi produzida dentro dos valores estipulados, ou se houve algum desvio, provocando um possível prejuízo. Esta informação é vital para a empresa, pois permite controlar os custos de fabrico, identificar pontos a intervir para rentabilizar o próprio fabrico, ou mesmo verificar se existe margem para negociação de preços com os clientes em futuras encomendas.

3.3. Padronização de factores directamente ligados à maquinagem

Os avanços na tecnologia CNC e nas ferramentas disponíveis para o processo de maquinagem, permitem que seja possível fabricar peças maquinadas com diferentes estratégias. No entanto, é importante que haja rigor na definição das mesmas, para que as peças sejam, sempre que possível, fabricadas da forma mais correcta e económica.

Quando uma empresa dedicada à área de maquinagem possui vários colaboradores responsáveis pelo fabrico de peças maquinadas, torna-se algo complicado que estes trabalhem em sintonia, e que recorram ao mesmo tipo de estratégias e ferramentas. Por isso, é importante que haja uma padronização na escolha dos processos de maquinagem bem como escolha das ferramentas e seus parâmetros, para que todos estes colaboradores trabalhem da

mesma forma, sempre que possível. Isto permite que o próprio orçamentista possa estimar os tempos de fabrico em concordância com os processos internos, sem que corra risco de que haja uma escolha de uma estratégia de maquinagem menos vantajosa, que poderá colocar em risco o orçamento estimado. Uma simples troca de ferramenta pode aumentar consideravelmente o tempo de fabrico.

Esta padronização é uma tarefa complexa, pois torna-se complicado de englobar todas as possíveis situações. No entanto, a maioria das estratégias são repetidas em todas as peças, ajustando-se apenas às dimensões, geometria ou materiais, que podem diferir de peça para peça. Por exemplo, um furo roscado num determinado material, deverá utilizar uma broca com um diâmetro específico, um macho correspondente ao tipo de rosca, com os parâmetros de maquinagem mais adequados ao material. Se todos os colaboradores trabalharem com critérios iguais, no final, o resultado será idêntico em todas as situações e o seu tempo de fabrico também será similar. Esta padronização também permitirá uma análise mais rápida e correcta do fabrico da cada peça.

Esta padronização é uma ferramenta bastante importante para este caso de estudo. Permitirá que seja possível estimar tempos de fabrico para uma determinada peça, em função dos *inputs* que forem dados sobre a peça, permitindo seleccionar estratégia, ferramentas e parâmetros mais adequados e em concordância com os que serão utilizados no seu fabrico.

3.3.1. Influência da geometria da peça

A geometria da peça é um dos parâmetro mais importantes para definir qual o tipo de máquina a utilizar no fabrico da peça. Sabendo quais os tipos de máquinas existentes na TECNOLANEMA, é importante identificar os pontos fortes das mesmas, para ser possível seleccionar a máquina ideal para o fabrico da peça. Na TECNOLANEMA é possível separar as máquinas disponíveis em 3 grupos principais (Figura 47):

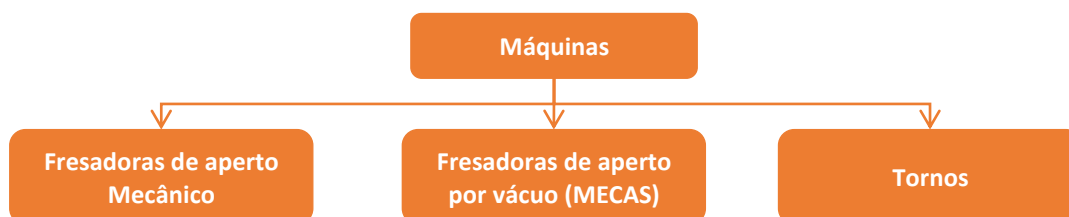


Figura 47: Principais tipos de máquinas disponíveis na TECNOLANEMA

Fresadoras de aperto mecânico

As fresadoras de aperto mecânico são do tipo vertical ou horizontal, e possuem entre 3 a 5 eixos. Para fixar as peças possuem prensas mecânicas (Figura 47 e Figura 48).

Normalmente são indicadas para executar peças em pequenas/médias dimensões, e tendo em conta os processos utilizados na TECNOLANEMA, devem possuir uma espessura superior a 5 mm, ponto importante para a sua fixação em apertos secundários, para remoção do material excedente. As peças a trabalhar nestas máquinas devem possuir faces paralelas ou o seu formato exterior possa ser um cilindro regular. É um ponto importante para a fixação correcta da peça, tendo em conta as prensas utilizadas.

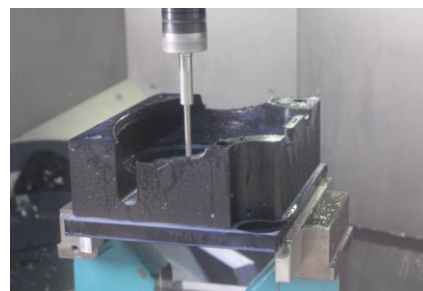


Figura 48: Exemplo de peças maquinadas em fresadoras de aperto mecânico (TECNOLANEMA 10-11-2011/18-03-2013)

Fresadoras de aperto por vácuo (MECAS)

São fresadoras com mesa de trabalho grande. Existem vários pontos que promovem a fixação das peças por vácuo. São indicadas para peças que sejam de grandes dimensões ou de espessuras finas

Também são importantes para peças com formatos exteriores complexos não regulares (Figura 49), os quais não permitem a fixação com sistemas de aperto mecânico (exemplo: curvas). Nestes casos, o aperto por vácuo torna-se bastante útil. Esta vantagem só é possível no caso de as peças possuírem superfícies planas e com alguma área, para que permita a sucção da mesma. Caso contrário, existe o risco da peça perder o vácuo, soltando-se.

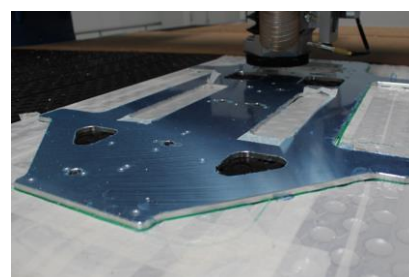


Figura 49: Exemplo de peças maquinadas nas MECAS (TECNOLANEMA 04-04-2013)

Resumindo:

Fresadoras

Peças que se assemelhem a cubos, paralelepípedos, e outras formas similares (Figura 50), com pequenas ou médias dimensões (até 1550x610x350 mm³);

Possuem pormenores a maquinar em várias faces;

Devem possuir faces regulares que permitam trabalhar as peças nos vários apertos que são necessárias para a sua execução.

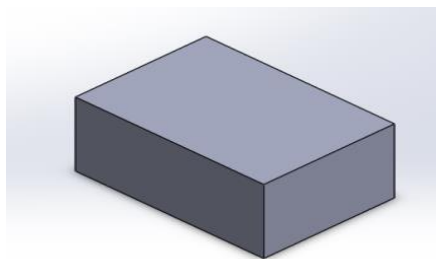


Figura 50: Exemplo simplificado do tipo de geometria a trabalhar nas fresadoras de aperto mecânico

MECA

Tudo o que se assemelhe a chapas, régua ou curvas, com formato exterior regular ou complexo, até 3000x2000x140 mm³ de dimensão (Figura 51). Devem ser trabalhadas a partir de material em formato de chapa;

Só deve ter pormenores a maquinar nas faces de topo. Pormenores laterais terão que recorrer às fresadoras (verticais ou horizontais);

Furações vazadas poderão necessitar de operações de finalização em máquinas auxiliares (Exemplo: roscagem).

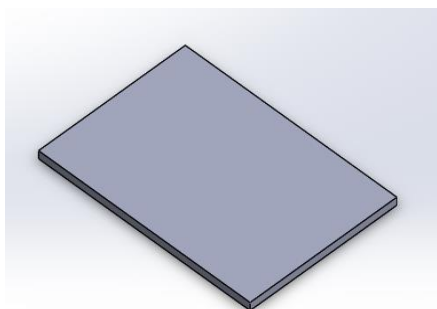


Figura 51: Exemplo simplificado do tipo de geometria a trabalhar nas MECAS

Tendo em conta estas formas generalistas, é possível, olhando à peça a analisar, determinar qual o tipo de máquina a utilizar. É importante referir que o formato não tem que ser exactamente igual à forma apresentada, o importante é que permita o seu aperto conforme as condições apresentadas. Casos que não se enquadrem nestas condições, deverão ser analisados de forma a determinar qual o melhor tipo de máquina a utilizar (estudo de cursos necessários, verificar possíveis colisões, sistemas de aperto, entre outros).

3.3.2. Número de fixações

O número de fixações a utilizar é normalmente determinado pelos pormenores a maquinar em cada face. Quando se estuda uma peça, é importante verificar, ou neste caso, imaginar como a máquina faz o acesso da ferramenta a esse pormenor. Normalmente, é necessário que o eixo da ferramenta em rotação esteja perpendicular à face a trabalhar.

Nos seguintes subcapítulos serão descritos os métodos para determinar o número de apertos. É importante focar que estas serão as estratégias mais habituais. Em casos particulares, ou grandes séries, é importante avaliar correctamente o caso, e procurar usar combinações de máquinas que aumentem a rentabilidade da execução da peça.

3.3.2.1. Número de fixações para fresadoras de aperto mecânico ou MECAS

Considerando exemplo da Figura 52, a peça tem 3 cavidades em faces diferentes.

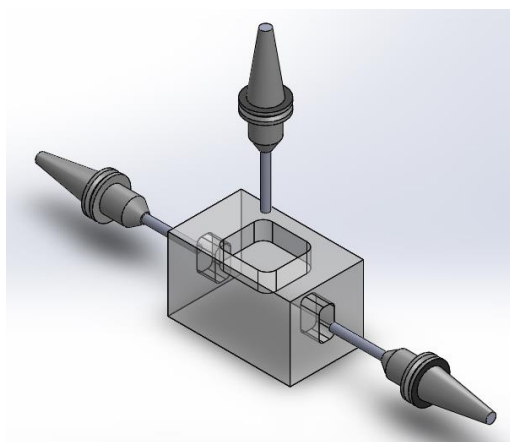


Figura 52: Caso exemplo de acesso de ferramenta

Para maquinar tais cavidades, é necessário o acesso de uma fresa de topo a essas cavidades. Se se tratar de um fresadora de cinco eixos, as rotações do quarto e quinto eixo podem permitir esse acesso, dependendo de como será fixa a peça.

Caso se trate de uma fresadora vertical de três eixos, esse acesso é possível à cavidade da face de topo, mas não será possíveis às laterais, pois o eixo de rotação da ferramenta teria que mudar a sua orientação. Tendo em conta este ponto, é necessário recorrer a outros apertos,

para que se possa posicionar a peça de forma que o eixo de rotação da ferramenta fique perpendicular à face a trabalhar. Este é o princípio base para determinar o número de apertos a definir na estratégia de maquinagem para fresadoras.

É importante referir que na TECNOLAMENA, quando se maquina uma peça nas fresadoras de aperto mecânico, ao avaliar o material necessário para fabricar a peça, se considera sempre mais 3 ou 5 mm na espessura (dependendo do tamanho da peça, 3 mm são usados apenas em casos especiais), de forma a permitir que se possa fixar a peça e maquinar por completo as cinco faces (no caso de uma peça similar a cubos ou paralelepípedos) logo no primeiro aperto (Figura 53). Por isso, é sempre necessário um aperto posterior para que esse material excedente seja removido. Embora consuma mais material, essa diferença no custo da peça será compensada no tempo de execução da peça (por exemplo, para um bloco simples seria necessário rectificar primeiro todas as faces, e, posteriormente, então maquinava-se os pormenores da peça).

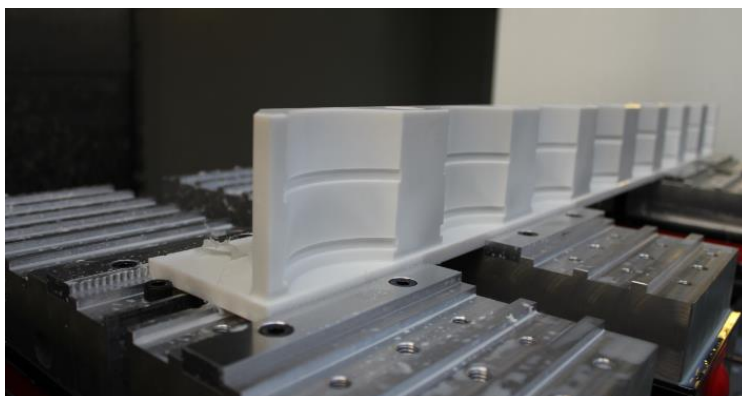


Figura 53: Exemplo de uma peça maquinada com mais 5 mm de espessura para fixação no primeiro aperto (TECNOLANEMA 25-01-2012)

Esta regra é aplicada no caso das fresadoras de aperto mecânico, mas não é aplicada nas MECAS, pois nestas máquinas o aperto é feito por vácuo. Nas MECAS, caso o rigor da peça não exija ou haja permissão do cliente, a espessura da peça não é facejada, permitindo reduzir o consumo de material e tempo de maquinagem.

Para definir se a peça é fabricada numa fresadora de três ou cinco eixos, a escolha deve ponderar alguns pontos importantes. Como foi referido no subcapítulo 2.1.2.1. Fresadoras CNC, as fresadoras de cinco eixos apresentam bastantes vantagens, mas normalmente têm um custo de produção mais elevado, pelos diversos motivos apresentados neste subcapítulo.

Na TECNOLANEMA usam-se os seguintes argumentos para optar pelas fresadoras de cinco eixos:

- **Complexidade da peça** – caso apresente formatos que necessitem de operações com trajetórias de ferramenta complexas que as fresadoras de três eixos não consigam produzir, ou necessitem de recorrer a operações de três eixos contínuos, a peça deverá ser maquinada neste tipo de fresadoras (exemplo: uma face inclinada – a máquina é capaz de reposicionar a peça de forma a que a inclinação seja feita por uma operação de faceamento);
- **Rigor geométrico e dimensional** – como foi referido no subcapítulo 2.1.2.1. Fresadoras CNC, a mudança de posição da peça entre apertos aumenta a probabilidade de ocorrerem erros de posicionamento da peça, provocando desvios entre os diferentes pormenores maquilados. Comparando com o erro humano, estas máquinas apresentam um erro muito reduzido, permitindo assim um maior rigor na execução das peças. Sendo casos de peças que tenham rigor dimensional ou geométrico entre os diferentes pormenores a maquinar em diferentes faces, é preferível recorrer a este tipo de máquinas, ao invés de utilizar vários apertos que poderão provocar o aparecimento de erros;
- **Número de apertos necessários** – sempre que seja necessário mais do que três apertos para executar todos os pormenores da peça numa fresadora de três eixos, recorre-se a este tipo de máquinas, de forma a reduzir o número de preparações e tornar a peça mais rápida de produzir. Caso os apertos sejam complexos, a peça poderá ser feita também nestas máquinas (por exemplo, se contemplar as anteriores condições).

Estes são os pontos para definir o número de apertos tanto para as fresadoras de aperto mecânico como para as MECAS. Inerente a estes apertos, é preciso ter em conta:

- Novo programa CAM – é necessário gerar novo código CNC para que os diversos pormenores a maquinar em cada aperto, sejam realizadas;
- Preparação de máquina – É sempre necessário preparar a máquina, seja para troca ou ajuste dos mordentes, troca de ferramentas, colocação de batentes, entre outros.

É também importante verificar se a máquina escolhida possui capacidade para executar a peça. Deve ser sempre avaliada a sua precisão, cursos máximos e número máximo de ferramentas que é capaz de alojar.

3.3.3. Parâmetros de fabricação

Os parâmetros de fabricação são dados importantes tanto para a maquinagem, como também para o orçamento. Com estes dados é possível estimar os tempos da maior parte das operações de maquinagem. A determinação desses parâmetros, normalmente é definida pelo tipo de material a trabalhar e pelo tipo de ferramenta a utilizar.

Na TECNOLANEMA, os materiais maquinados são principalmente plásticos e alumínio técnicos. Em casos excepcionais poderão ser maquinados outros materiais, mas não entram para este estudo. Dentro destas duas famílias de materiais, pode-se encontrar vários tipos de materiais com características diferentes. No entanto, o seu comportamento ao ser maquinado, em alguns casos é semelhante, o que permite agrupar estes materiais em cinco grupos (Figura 54):

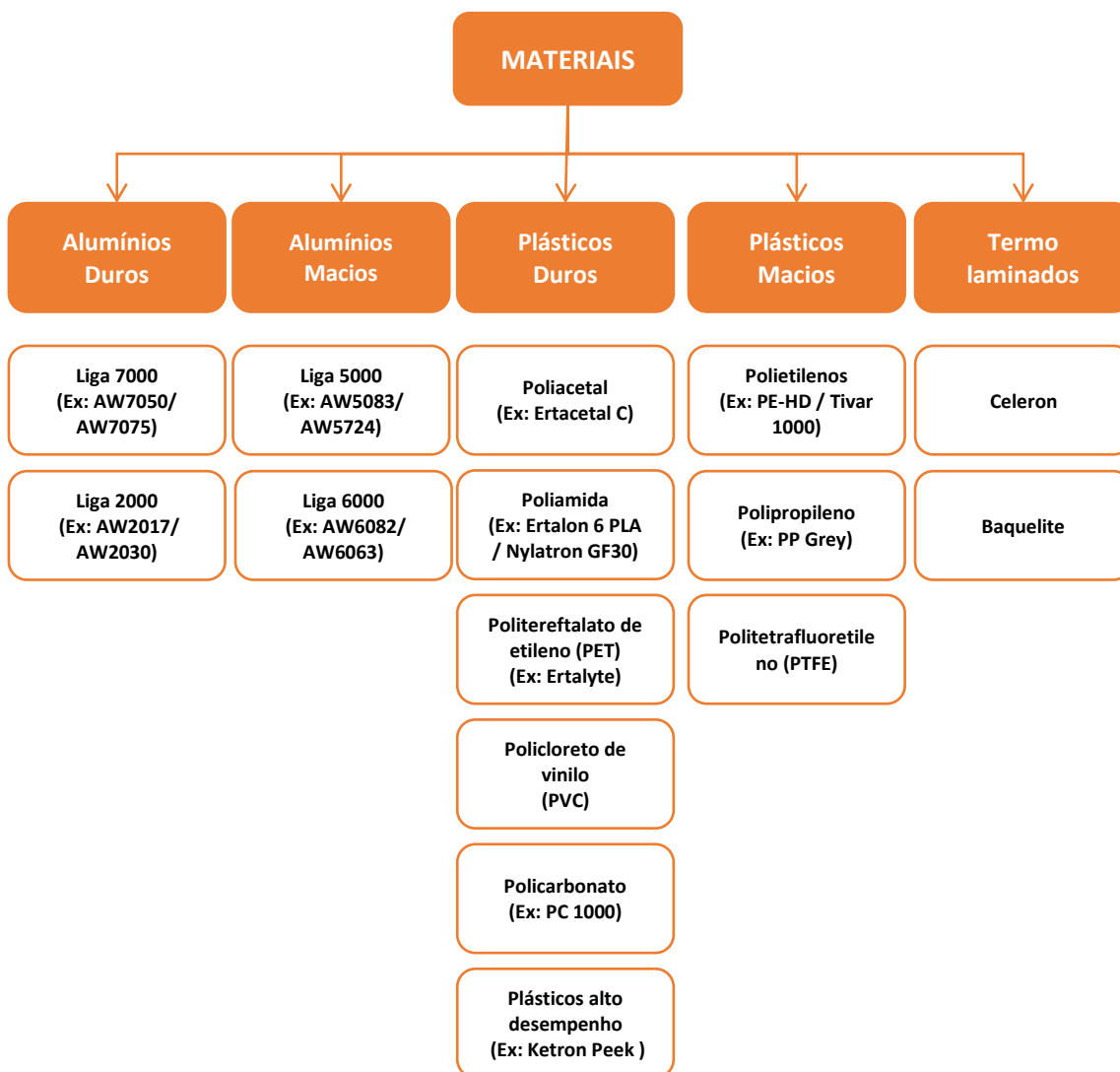


Figura 54: Principais tipologias de materiais maquinados pela TECNOLANEMA

De uma forma geral, os parâmetros mais importantes e influenciados pelo tipo de material são:

- Velocidade de avanço (mm/min);
- Incremento axial ou em profundidade (mm);
- Incremento radial ou lateral (mm);
- Rotação (rpm);
- Avanço por rotação (mm/rotação).

Numa comparação generalista, os plásticos permitem parâmetros de maquinagem melhores, pois a sua resistência ao corte é inferior. Para termolaminados, são geralmente considerados os mesmos valores dos alumínio macios. No entanto, algumas estratégias de maquinagem podem ser revistas, devido principalmente à elevada probabilidade de estes materiais quebrarem ao serem maquinados.

Em termos dos valores reais utilizados pela TECNOLANEMA, não serão referenciados neste trabalho tendo em conta a protecção dos mesmos. A determinação destes valores foi efectuada com base nos valores tipicamente apresentados pelos diversos fornecedores, e com base no conhecimento adquirido ao longo dos anos, fruto das várias experiências executadas.

Em termos de orçamentação para operações de fresagem, os parâmetros mais importantes para a determinação dos tempos de maquinagem são:

- Velocidade de avanço – permite saber quanto tempo demora uma determinada fresa a percorrer uma distância;
- Incremento axial ou em profundidade – determina qual a capacidade da ferramenta remover uma quantidade em profundidade. Quanto maior for o valor, menor será o número de passagens para retirar o material necessário;
- Incremento radial ou lateral – é um parâmetro idêntico ao anterior, no entanto determina a capacidade de remover uma quantidade de material lateralmente.

Em termos de velocidade de avanço, a diferença entre os valores utilizados em plásticos duros e macios não diferem muito. No entanto, a diferença para entre plásticos e alumínio, é considerável.

Tomando por base o valor teórico mais elevado pertencente aos plásticos macios, o seguinte (Figura 55) demonstra a diferença entre os quatro tipos de materiais:

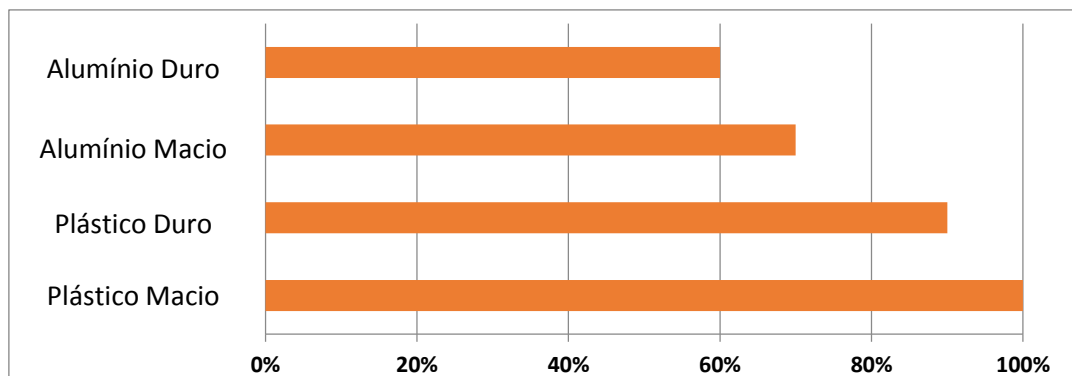


Figura 55: Gráfico de diferença percentual entre os valores padrão de velocidades de avanço usados nos diferentes tipos de materiais

Em relação aos incrementos axiais, a sua estimativa tem por base um valor percentual em função do diâmetro da ferramenta. Da mesma forma que os valores de avanço, os plásticos macios permitem valores de incrementos mais altos. Tendo em conta os valores máximos utilizados, as diferenças percentuais são apresentadas no gráfico da Figura 56.

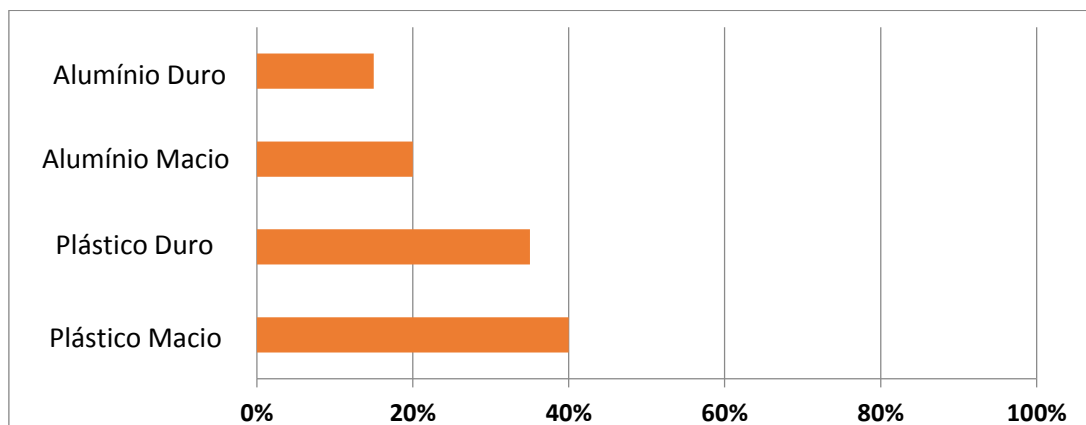


Figura 56: Gráfico de diferença percentual entre os valores típicos de incremento axial usados nos diferentes tipos de materiais

Este tipo de incremento está directamente relacionado com o radial. O incremento axial é reduzido em função do aumento do incremento radial. Este valor é estimado da mesma forma que o axial, no entanto, o seu valor varia mais, em função do tipo de operação que realiza (pode atingir 100% do valor do diâmetro da ferramenta). Os valores tipicamente utilizados são iguais para todos os materiais. Para maior simplificação na determinação dos incrementos axiais, os valores são classificados em três patamares diferentes, que são determinados com base no valor percentual do incremento radial:

- Primeiro patamar: até 20% do diâmetro – é utilizado em estratégias de contorno, onde não é necessário remover muito material. Permite usar os valores mais elevados de incremento axial;
- Segundo patamar: superior a 20% e até 45% do diâmetro – é utilizado em estratégias de contorno onde é necessário remover algum material. Também é utilizado em cavidades ou rasgos. Permite usar os valores intermédios de incremento axial;
- Terceiro patamar: superior a 45% e até 100% do diâmetro – é utilizado em operações de desbaste de cavidades ou rasgos. Os valores de incremento axial são os mais baixos.

É importante também referir que o comprimento total da ferramenta influencia estes parâmetros. No caso de utilizar ferramentas bastante longas, os incrementos axiais são bastante reduzidos. A velocidade de avanço também será reduzida.

Em relação aos parâmetros de furação, os mais importantes são a rotação e o avanço por revolução. No caso das rotações, os valores utilizados são baseados nos parâmetros indicados pelos fornecedores e nos limites das máquinas, sofrendo pequenos ajustes no caso dos plásticos, onde não existe tanta diferenciação entre os diversos tipos existentes. Em relação ao avanço por revolução, os valores utilizados são idênticos entre os dois tipos de alumínio, passando-se o mesmo entre os dois tipos de plástico.

Neste momento, todos os dados das ferramentas disponíveis na TECNOLANEMA, nomeadamente as que estão associadas a operações realizadas em fresadoras, estão devidamente detalhadas numa base de dados, onde estão associados os valores dos diversos parâmetros a utilizar em cada tipo de material. Estes dados são igualmente utilizados pelo departamento de orçamentação para que possa determinar os tempos de maquinagem dos diferentes pormenores existentes em cada peça.

A definição das ferramentas a utilizar é geralmente determinada com base nas dimensões dos pormenores a maquinar. Olhando para o caso das fresas de topo, que é o caso mais solicitado, a sua escolha deve sempre que possível recorrer a fresas de maior diâmetro, pois são mais robustas e permitem usar parâmetros de maquinagem mais rentáveis. No entanto, esta escolha nem sempre é possível, pois tais pormenores podem possuir limitações (raios, larguras de rasgos, profundidades, entre outros). Para determinar a ferramenta, são analisados alguns pontos importantes. O exemplo seguinte pretende explicar o processo mais comum (Figura 57).

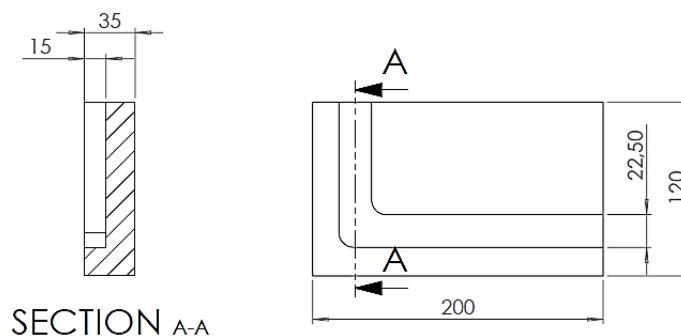


Figura 57: Exemplo de uma peça maquinada por operações de fresagem

Neste caso, olhando ao tipo de peça e seguindo os subcapítulos anteriores, considerando que a quantidade seria 10 unidades e seria fabricada em AW5083-H111 (Alumínio), esta peça poderia ser fabricada numa fresadora de aperto mecânico, e seria executado em dois apertos. O pormenor que salta mais à vista é o rasgo. Neste caso a escolha da ferramenta seria feita com base na largura do rasgo. Nestes casos, faz-se o seguinte cálculo:

$$\emptyset_{ferramenta} = 0.67 \times L_{maquinar} \quad (1)$$

Onde:

- $\emptyset_{ferramenta}$ é o diâmetro da ferramenta selecionada (mm);
- $L_{maquinar}$ é a medida menor do pormenor a maquinar (mm).

Este cálculo é utilizado tanto para rasgos, como para cavidades quadrangulares, rectangulares ou circulares. Sendo assim, sabendo que a largura do rasgo é 22,5 mm, o valor calculado seria de 15,075 que será arredondado por excesso para o valor do diâmetro da ferramenta mais próxima deste valor. Sabendo os diâmetros típicos das fresas de topo (1,2,3,4,5,6,8,10,12,16 e 20 mm) e fazendo uma aproximação por defeito, o valor mais próximo a utilizar seria a diâmetro de 12 mm. Neste caso das cavidades, o valor de avanço seria o considerado o tipicamente usado para o material em questão. Em relação ao incremento radial, nestes tipos de pormenores, o valor usado é tipicamente 40%. Em função deste valor, também é determinado o valor do incremento axial. Para o caso do contorno, as fresas mais utilizadas são de \emptyset 12, 16 e 20 mm. A fresa de diâmetro 12 mm é a mais utilizada, desde que a espessura da peça não ultrapasse os 40 mm. Para espessuras superiores podem ser utilizados fresas de diâmetro 16 ou 20 mm. Neste caso seria considerada a fresa de \emptyset 12 mm. Para seleccionar o incremento radial, considerando que o material excedente por face a remover normalmente não ultrapassa os 20% do diâmetro da ferramenta (Exemplo: 20% da fresa de diâmetro 12 mm = 2,4 mm), o tipo de valor de incremento axial selecionado seria o no primeiro patamar. Esta é a forma mais comum de como determinar os parâmetros e ferramentas. No caso de outras

ferramentas, como fresas “T”, ou outro tipo de fresas, a análise é algo semelhante. No entanto, nestes casos a escolha é determinada em função das dimensões do pormenor a maquinar, pois normalmente, são os factores mais limitativos. Os parâmetros são determinados com base nas indicações dos fornecedores.

3.4. Conjugação de factores ligados à produção da peça

Como foi descrito nos subcapítulos anteriores, todas os pedidos de cotação obedecem a uma criteriosa análise por parte do departamento comercial e técnico. A forma como a peça é analisada antes do seu fabrico, permite que haja uma correcta avaliação da mesma, e preparar os vários cenários possíveis, inclusive, a preparação dos pontos mais importante para que em caso de encomenda, esteja tudo preparado para que o departamento de Planeamento e Produção possam seguir com o fabrico da peça, em conformidade com o que foi estipulado e orçamentado inicialmente. Só assim será possível efectuar a correcta ligação entre os diversos departamentos da TECNOLANEMA. De uma forma resumida, a Figura 58 descreve os principais passos a realizar no processamento dos pedidos de cotação solicitados à TECNOLANEMA.

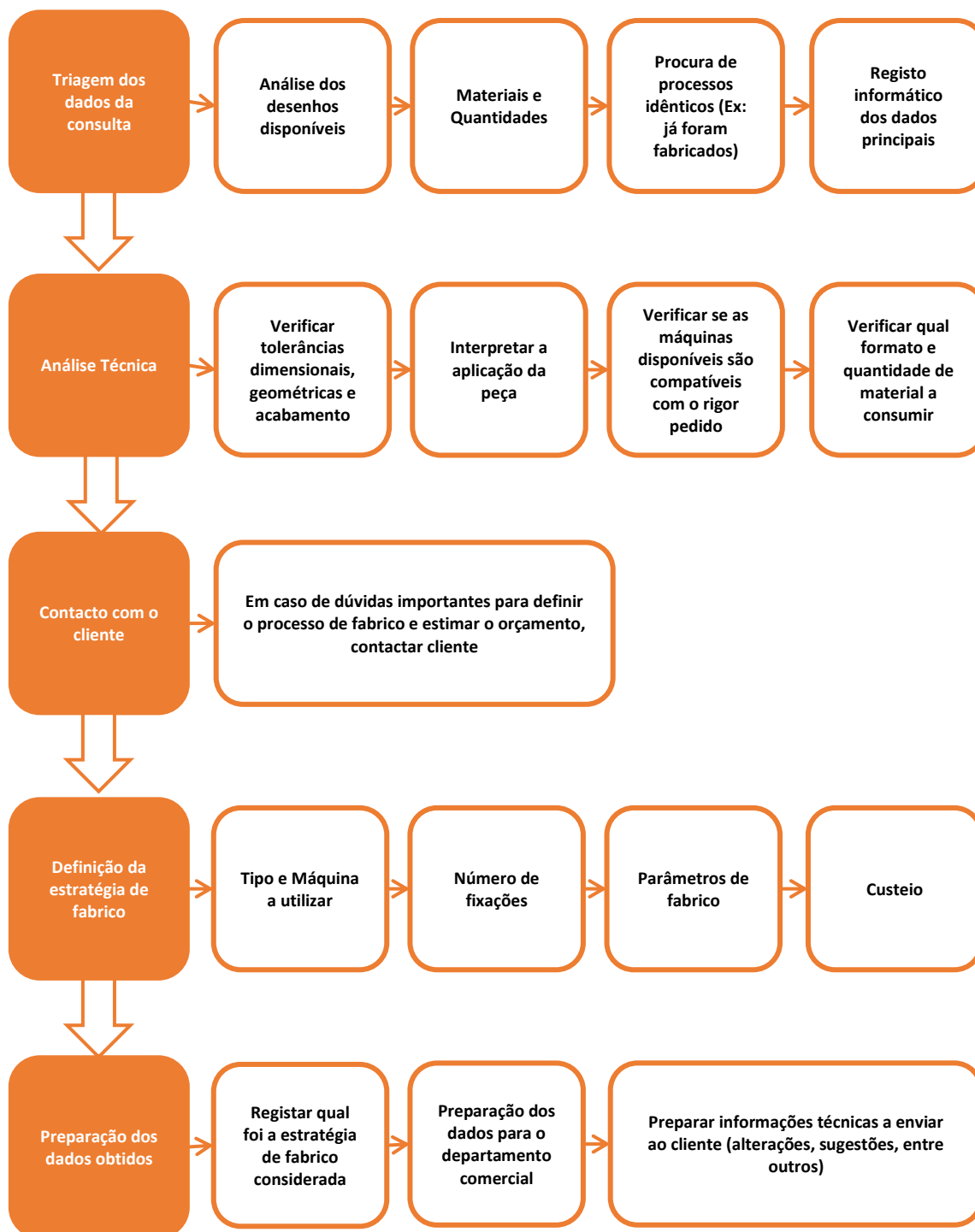


Figura 58: Etapas a seguir no processamento de pedidos de cotação de peças maquinadas

Dentro da etapa Definição da estratégia de fabrico, que é a etapa mais importante e que define o processo de fabrico da peça, foi descrita detalhadamente no Subcapítulo 3.3 – Padronização de factores directamente ligados à maquinagem. Esta etapa, de uma forma resumida, segue os seguintes passos (Figura 59).

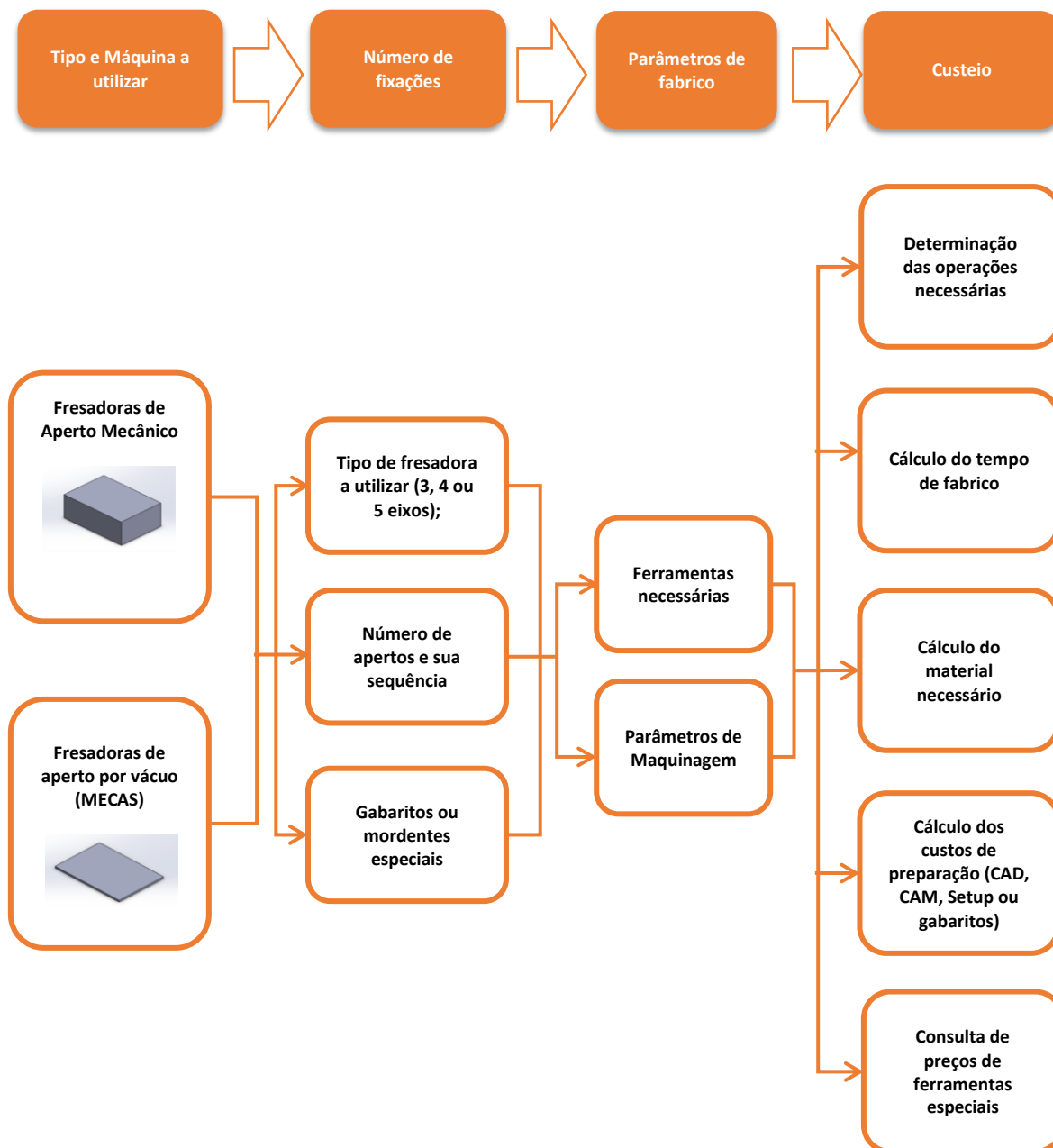


Figura 59: Etapas mais importantes a seguir na etapa *Definição da estratégia de fabrico*

Estas etapas são bastante importantes, pois permite que, na maioria dos casos, a peça seja analisada de uma forma mais equilibrada, e permite maior sincronização entre os diversos departamentos, garantido que todos estes trabalhem de uma forma idêntica, com os limites impostos pelas diversas parametrizações. Se os departamentos de planeamento, CAD/CAM e produção seguirem o mesmo procedimento, ao fabricar as diversas peças que produzem diariamente, os parâmetros seguidos serão os mesmos, reduzindo a probabilidade de existirem dúvidas ou mesmos desvios em relação ao orçamento e ao que o cliente solicita.

É importante referir que estes são os parâmetros mais habituais onde a maioria das peças fabricadas na TECNOLANEMA se enquadram. Nem todas as peças são possíveis de enquadrar

nestes parâmetros, bem como nem todas as estratégias são possíveis de parametrizar. A parametrização deve ser simples e fácil de interpretar para a maioria dos casos, para que seja acessível à maioria dos colaboradores da TECNOLANEMA, sem que lhes exija conhecimentos aprofundados. Para casos onde as peças necessitem de estratégias diferentes ou mais complexas, seja pelo seu formato, quantidade ou outros pontos que possam colocar a peça fora da parametrização definida, cabe ao orçamentista/departamento técnico procurar outras soluções que sejam mais adequadas em concordância com os outros departamentos.

No entanto, devido aos pormenores envolvidos e passos a cumprir, mas que são importantes e não devem ser eliminados, é essencial para a TECNOLANEMA procurar ferramentas que permitam simplificar passos repetitivos, e que permitam ao orçamentista/departamento técnico dedicar-se aos casos mais complexos, bem como analisar outros pontos importantes, ajuda aos diversos clientes em questões técnicas, melhoramentos no produto, ou mesmo formas de redução de custos de produção.

Posto isto, este trabalho irá procurar simplificar passos dentro das parametrizações definidas, mas que sejam intuitivos e fáceis de processar.

3.5. Pressupostos para a criação de uma aplicação informática de orçamentação

Como já foi referido em alguns capítulos anteriores, a orçamentação desempenha uma função bastante importante na TECNOLANEMA. Mas, devido à necessidade de cumprir diversos passos importantes descritos ao longo do capítulo 3. Desenvolvimento, o processamento do orçamento torna-se moroso, o que não é desejável, já que pode provocar atrasos nas repostas às cotações solicitadas pelos diversos clientes, levando à sua insatisfação ou, mesmo a quebra de relações comerciais.

Sabendo do risco que estas questões poderiam provocar no funcionamento da TECNOLANEMA, a gestão da empresa propôs que houvesse uma procura por alternativas ou soluções para estas problemáticas, a fim de reduzir tempos desnecessários, e aumentar a produtividade e fiabilidade do departamento de orçamentação.

Analisando as etapas mais importantes a cumprir (Subcapítulo 3.4. Conjugação de factores ligados à produção da peça), concluiu-se que algumas delas poderiam ser optimizadas. De uma forma resumida, temos o seguinte procedimento (Figura 60):

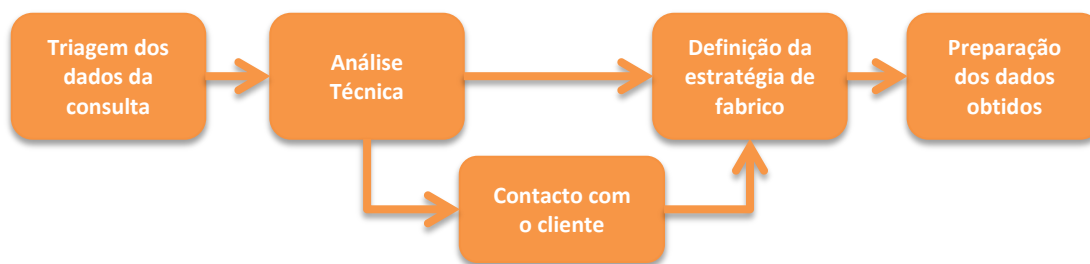


Figura 60: Etapas a seguir no processamento de pedidos de cotação (resumido)

As primeiras etapas necessitam de interpretação por parte dos colaboradores responsáveis por tais tarefas. Após várias análises dos pedidos de cotação solicitados na TECNOLANEMA, conclui-se não era viável parametrizar todos os casos e seguir um processo totalmente definido. Esta conclusão teve por base os seguintes pontos:

- Existem diversas tipologias de peças em diferentes quantidades e materiais que podem seguir diferentes estratégias;
- A análise técnica necessita de uma correcta avaliação e interpretação da peça, a fim de determinar qual a estratégia mais indicada para cumprir os requisitos essenciais no produto final.

Combinando estas duas desvantagens, haveria um enorme risco de não se obter a melhor opção a propor ao cliente. Provavelmente, levaria a que as respostas dadas às diversas consultas fossem pouco competitivas face à concorrência, o que iria colocar a TECNOLANEMA numa posição não desejável, correndo o risco de perder esses mesmos clientes. Tendo em conta estes pontos, a procura por soluções para esta problemática deveria incidir em casos ou etapas que pudessem ser repetitivas. Analisando as restantes etapas, principalmente a definição da estratégia de fabrico, verificou-se que alguns dos passos incluídos nessa etapa, são morosos, mas acabam por ser repetitivos. De qualquer forma, os primeiros passos dessa etapa necessitam de uma interpretação como nos casos anteriormente descritos. No entanto, neste caso, após estar correctamente definida a estratégia de maquinagem, os restantes passos acabam por ser repetitivos, nomeadamente a determinação dos tempos de maquinagem, pois seguem determinados parâmetros pré-definidos e enumerados no subcapítulo 3.3. Padronização de factores directamente ligados à maquinagem. Sendo assim, o processo de determinação de tempos de maquinagem seriam o alvo deste estudo. Tendo em conta esta conclusão, houve uma procura de soluções credíveis para esta problemática, mas que se adequassem aos métodos de trabalho tanto da TECNOLANEMA, como dos seus principais clientes.

Inicialmente, houve alguns estudos para procurar definir tipologias de peças, para que, quando houvesse uma consulta de uma determinada peça, e cumpridas todas as etapas precedentes ao cálculo dos tempos de maquinaria, haveria um enquadramento dessa mesma peça num determinado tipo, e seriam determinados os tempos de maquinaria por comparação. No entanto, esta solução só resolveria uma pequena parcela das peças consultadas, devido aos seguintes motivos:

- Existe uma enorme quantidade de formatos ou tipos de peças;
- A maioria das peças pertence a projectos únicos ou feitos à medida, as quais podem não se enquadrar nas tipologias pré-definidas;
- Peças novas poderiam ter pequenas diferenças em relação ao tipo definido, que poderia aumentar ou diminuir o seu custo de produção. Isto poderia induzir incorrectamente o valor de venda, que não seria verdadeiramente correcto.

Também foi avaliado outro método que passava por estipular o preço de fabrico da peça com base no preço do material. Este método é utilizado por algumas empresas do ramo, e apresenta alguma lógica, pois acaba por estar relacionado com o tempo de maquinaria. Quanto maior a quantidade de material a retirar, maior será o tempo de maquinaria. Mas em todo o caso, apresenta algumas desvantagens importantes que não podem ser desconsideradas:

- Os tipos de materiais utilizados na TECNOLANEMA variam muito o seu preço, podendo custar abaixo de uma dezena de euros (plásticos de uso corrente, ou alumínio), ou custar várias centenas (plásticos de alta performance). Este factor iria influenciar bastante o preço final;
- Os diferentes tipos de materiais permitem a utilização de parâmetros de maquinaria bastante diferentes. Materiais menos resistentes permitem uma maquinaria mais rápida;
- Este método não avalia a complexidade das peças. Para peças mais simples acaba por ser adequado, para peças que recorram a estratégias mais complexas poderá criar desvios elevados em relação ao preço real.

Embora sejam desvantagens importantes a considerar, as suas vantagens, bem optimizadas, poderiam ser uma boa ferramenta. Vendo as vantagens de cada método, pode-se concluir que estas poderiam, combinadas entre si, solucionar as desvantagens de ambos. Este foi o

princípio de todo o desenvolvimento descrito no presente trabalho. No entanto, ao longo do desenvolvimento houve outras conclusões obtidas, que levaram a considerar também outras opções que melhorassem o resultado final. Todo esse estudo será descrito no subcapítulo 3.6. *Aplicação informática desenvolvida.*

Para permitir um desenvolvimento por etapas, e que permitisse a realização de testes para determinar se o caminho seguido seria o mais correcto, optou-se por realizar o desenvolvimento de duas aplicações. Cada uma dessas aplicações seria dedicada a uma tipologia de máquina:

- Fresadoras de aperto mecânico;
- Fresadoras de aperto por vácuo (MECAS);

Além de resolver a questão da morosidade dos orçamentos, este desenvolvimento também pretende que houvesse uma uniformização dos custos calculados, permitindo uma reposta aos diversos pedidos de cotação, de uma forma uniforme e mais equilibrada.

Nem sempre os tempos são estimados da mesma forma. O orçamentista pode considerar parâmetros diferentes em cotações para peças similares. Uniformizando os diversos parâmetros utilizados para orçamentar, e simplificando a sua escolha em função do tipo de operações a recorrer para maquinar uma determinada peça, irá permitir que no final a maioria das peças sejam orçamentadas da mesma forma, que esta seja sempre a forma mais indicada.

3.6. Aplicação informática desenvolvida

3.6.1. Aplicação para fresadoras de aperto mecânico

Como foi indicado no subcapítulo anterior, o primeiro desenvolvimento teve por base a tipologia de máquinas fresadoras de aperto mecânico, bem como as duas primeiras análises sobre métodos possíveis para parametrizar a orçamentação.

Olhando ao método de determinação do valor da peça baseado no valor do material, como foi referido, poderá levar a valores incorrectos, devido à variação de preços do material, e outras razões. Mas, se for utilizado uma forma de cálculo que se baseie no volume, poderá ser mais correcto.

Como se pode ver no subcapítulo 3.3. Padronização de factores directamente ligados à maquinagem, os parâmetros utilizados na maquinagem podem diferenciar bastante entre si, logo, é importante que a aplicação possa diferenciar, por exemplo, plásticos macios de alumínio duros, pois uma peça maquinada no primeiro tipo de material, irá apresentar tempos de maquinagem inferiores ao do segundo tipo de material.

Sabendo destas duas questões bastante importantes, houve um desenvolvimento da aplicação para que esta permitisse calcular tempos de maquinagem com base nas medidas de uma determinada peça, e no material utilizado. Para isso, foi desenvolvida uma forma de cálculo, que iria estimar os tempos de maquinagem de uma peça simples, recorrendo aos parâmetros mais adequados aos materiais utilizados, e em função do número de apertos necessários. Esta fórmula, permitia determinar um valor de maquinagem da peça, fazendo uma relação directa com o seu volume.

De qualquer forma, esta fórmula não permite diferenciar a complexidade de diferentes peças. Para isso, foi estabelecida uma lista de níveis, nos quais estavam definidos alguns pontos a observar nas diversas peças. Seleccionado o nível apropriado, o valor calculado com o primeiro desenvolvimento, seria incrementado, permitindo atribuir um valor à peça superior, em função da sua complexidade.

O princípio de funcionamento seria o seguinte (Figura 61):

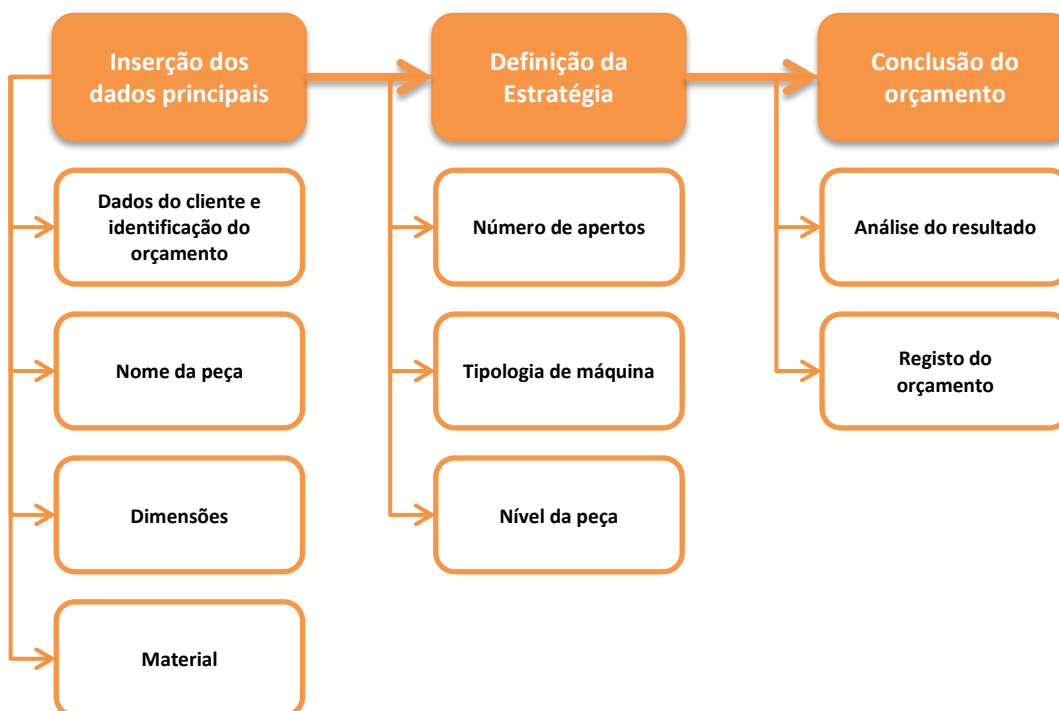


Figura 61: Princípio de funcionamento da aplicação de orçamentação de peças para fresadoras de aperto mecânico

Como objectivo secundário teríamos um desenvolvimento de uma aplicação que fosse simples e intuitiva de utilizar com vista a que outros colaboradores conseguissem utilizar esta aplicação sem que houvesse riscos de estimar um orçamento para uma peça abaixo do valor correcto. Por isso, é importante que esta seja simples, com poucos dados a fornecer, e que não necessite de uma inserção de dados complexa.

3.6.1.1. Cálculos de tempo de maquinagem dos principais tipos de operações para fresadoras de aperto mecânico

Para estimar os tempos de maquinagem dos principais tipos de operações, é essencial saber quais as trajectórias que a ferramenta necessita de percorrer até concluir a operação, bem como os parâmetros que utiliza. Em termos de cálculo de tempos de maquinagem, voltando a lembrar, os principais parâmetros a ter em conta são os seguintes:

- Velocidade de avanço (mm/minuto)
- Avanço por rotação (mm/rotação)
- Incremento axial ou em profundidade (mm);
- Incremento radial ou lateral (mm);
- Rotação (rotações/minuto).

Para seleccionar as ferramentas mais indicadas e seus parâmetros, segue-se os seguintes pontos:

- Tipo de material a utilizar;
- Tipo de operação a realizar;
- Dimensões a maquinar.

O material é um dado preponderante para as estimativas dos tempos de maquinagem. Todos os materiais e suas variantes (chapa, barra, varão, entre outros) trabalhadas na TECNOLANEMA estão descritos numa listagem. Nessa mesma listagem, associado a cada

variante de um material específico, encontram-se vários dados que serão importantes para o cálculo dos tempos de maquinagem, pesos, preços entre outros.

DESIGNAÇÃO:	Stock (05-02-15)	PV1	FAMÍLIA	DENSIDADE	ESPESSURA COMPENSADA:	DIAMETRO COMPENSADO:	Ø EXT. TUBO:	ESP. PAREDE DO TUBO:	TOLERÂNCIA DE FABRICA:
ERTALON 6 PLA PLATE 10 MM 1220X3050 NATURAL	257,905	- €	PLÁSTICO DURO	1,15	11,68				+0,5/+2,5
ERTALON 6 PLA PLATE 12 MM 1220X3050 NATURAL	140,295	- €	PLÁSTICO DURO	1,15	13,86				+0,5/+2,5
ERTALON 6 PLA PLATE 15 MM 1220X2440 NATURAL	0	- €	PLÁSTICO DURO	1,15	17,40				+0,5/+2,5
ERTALON 6 PLA PLATE 16 MM 1220X3050 NATURAL	203,555	- €	PLÁSTICO DURO	1,15	17,96				+0,5/+2,5
ERTALON 6 PLA PLATE 20 MM 1220X3050 NATURAL	326,349	- €	PLÁSTICO DURO	1,15	22,07				+0,5/+2,5
ERTALON 6 PLA PLATE 25 MM 1220X3050 NATURAL	268,285	- €	PLÁSTICO DURO	1,15	27,20				+0,5/+2,5
ERTALON 6 PLA PLATE 30 MM 1220X3050 NATURAL	175,126	- €	PLÁSTICO DURO	1,15	32,74				+0,5/+3,0
ERTALON 6 PLA PLATE 35 MM 1220X3050 NATURAL	1280,085	- €	PLÁSTICO DURO	1,15	37,88				+0,5/+3,0
ERTALON 6 PLA PLATE 40 MM 1220X3050 NATURAL	269,038	- €	PLÁSTICO DURO	1,15	43,02				+0,5/+3,0
ERTALON 6 PLA PLATE 45 MM 1220X3050 NATURAL	142,813	- €	PLÁSTICO DURO	1,15	48,14				+0,5/+3,0
ERTALON 6 PLA PLATE 50 MM 1220X3050 NATURAL	477,935	- €	PLÁSTICO DURO	1,15	53,28				+0,5/+3,0

Figura 62: Exemplo de uma parte da listagem dos materiais maquinados na TECNOLANEMA

No que toca a tipo de operações mais utilizadas neste tipo de máquinas, as que serão tidas em conta neste desenvolvimento serão as seguintes:

- Fresagem periférica;
- Fresagem facial (facejamento);
- Fresagem de topo;
- Furação;
- Roscagem ou mandrilamento.

Para a fresagem periférica, os parâmetros a ter em conta são a velocidade de avanço e o incremento axial. Neste caso, o incremento radial não é importante, devido à forma como o material é cortado. Normalmente, não é cortado com uma sobreespessura que obrigue a várias passagens para remoção do mesmo.

Para a fresagem facial, os parâmetros a ter em conta são a velocidade de avanço, o incremento axial e radial. O incremento radial, neste tipo de operação é sempre o mesmo, que é 70% do diâmetro da ferramenta utilizada. Para a fresagem de topo, os parâmetros a ter em conta são os mesmos da fresagem facial, mas neste caso, as ferramentas variam mais, pois estão dependentes das dimensões do pormenor a maquinar.

Estes tipos de operações são os mais importantes para o cálculo dos tempos base, pois está dependente das principais medidas da peça, logo tem uma relação directa com a volumetria da peça, o que era um dos principais objectivos. Seguidamente são apresentadas as fórmulas de cálculo utilizadas para determinar os tempos de maquinagem.

Fresagem periférica

O primeiro passo para calcular os tempos desta operação é o cálculo do perímetro externo. Para isso, utilizando os dados inseridos inicialmente, o programa determinará o perímetro com a seguinte fórmula:

$$P_{Exterior} = (2 \times Comp.) + (2 \times Larg.) \quad (2)$$

Onde:

- $P_{Exterior}$ é o perímetro exterior (mm);
- $Comp.$ é o comprimento da peça (mm);
- $Larg.$ é a largura da peça (mm).

Em seguida, o cálculo a realizar é o número de passagens necessárias para realizar o contorno total da peça. Para isso, o programa irá realizar o seguinte cálculo:

$$N^{\circ} \text{ Pass. de desbaste} = ARRED. EXCESSO \left(\frac{Esp.}{Incremento_{axial}} \right) \quad (3)$$

Onde:

- $N^{\circ} \text{ Pass. de desbaste}$ é o número estimado das passagens necessárias para efectuar o desbaste;
- $Esp.$ é a espessura da peça (mm);
- $Incremento_{axial}$ é o incremento axial selecionado para este cálculo (mm).

Dependendo do material e do rigor da peça, é importante considerar o acabamento da peça. Neste caso, o número de passagens de acabamento, é calculado em função do diâmetro da ferramenta:

$$N^{\circ} \text{ pass. de acabamento} = ARRED. EXCESSO \left(\frac{Esp.}{0,5 \times \emptyset_{ferramenta}} \right) \quad (4)$$

Onde:

- $N^{\circ} \text{ pass. de acabamento}$ é o número estimado das passagens necessárias para efectuar o acabamento.

Somando, este número de passagens, e tendo em conta o perímetro externo da peça, é possível determinar o tempo da fresagem periférica (Figura 63):

$$T_{fresagem\ periférica} = \frac{P_{exterior} \times (N^{\circ} \text{ pass.de acabamento} + N^{\circ} \text{ pass.de desbaste})}{V_{avanço}} \quad (5)$$

Onde:

- $T_{fresagem\ periférica}$ é o tempo da operação de fresagem periférica (min);
- $V_{avanço}$ é a velocidade de avanço (mm/min).

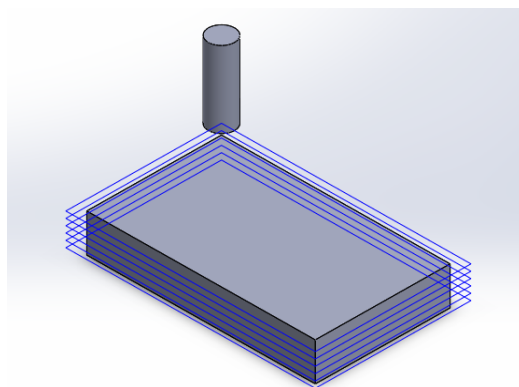


Figura 63: Exemplificação da trajectória seguida durante a operação de fresagem periférica

Nesta operação, a ferramenta tipicamente utilizada é uma fresa de topo de diâmetro 12 mm (Figura 64).



Figura 64: Exemplo de fresa de topo integral utilizada para fresagem periférica

No entanto, quando a espessura ultrapassa determinado valor, passa-se a recorrer a outras ferramentas mais robustas e com comprimento de lâmina superior que consiga trabalhar a totalidade da espessura.

Sendo assim, a escolha da ferramenta para contorno segue a Tabela 13:

Tabela 13: Tabela de selecção de ferramentas para fresagem periférica

Fresa para fresagem periférica	
Espessura (mm)	Ø Fresa (mm)
Espessura <35 mm	12
35 mm < Espessura < 65 mm	16
65 mm < Espessura < 100 mm	20

Em função da espessura a maquinar, a aplicação compara esse valor à tabela acima, e selecciona a ferramenta mais adequada.

Em função dessa ferramenta, o programa irá procurar quais os valores correspondentes, e utiliza os mesmos para efectuar o cálculo dos tempos correspondentes a esta operação. Cada ferramenta terá quatro tipos de incrementos axiais e avanços. Esses valores estão associados aos quatro tipos de famílias de materiais anteriormente referidas (Figura 65).

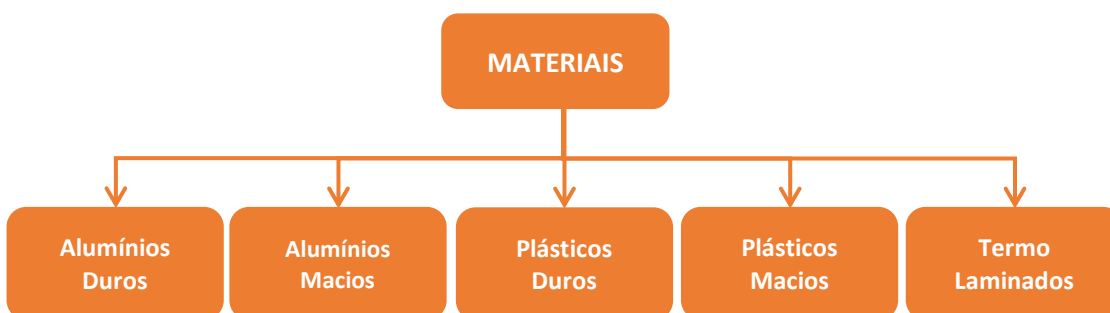


Figura 65: Principais famílias de materiais maquinados pela TECNOLANEMA (resumo)

Em relação ao avanço, quando se trata de cavidades mais pequenas, embora possamos considerar um valor alto (por exemplo 3000 mm/minuto), esse valor poderá não ser atingido, seja pelo tempo e distância que demora a atingir esse valor, seja pelas reduções de velocidade que se tem que fazer ao chegar aos pontos de mudança de direcção.

Posto isto, foi necessário considerar uma redução que, em função da dimensão a maquinar, pudesse fazer uma redução do valor de avanço para aproximar à realidade. Estes valores foram estimados a partir da análise de peças de dimensão reduzida, das quais se conseguia estudar o tempo de operação. A tabela seguinte apresenta divisores que são aplicados ao avanço máximo considerado (Tabela 14).

Tabela 14: Divisores utilizados para redução da velocidade de avanço

Comprimento (mm)	Divisor
$X > 50$	4
$50 \leq X < 100$	2,5
$100 \leq X < 150$	2
$150 \leq X < 200$	1,5
$X \leq 200$	1

Fresagem facial ou facejamento

No caso da fresagem facial ou facejamento, o cálculo é baseado no número de passagens necessárias para facejar uma determinada área. Para realizar o facejamento, são utilizadas ferramentas de $\varnothing 44$ e $\varnothing 63$ mm, e o incremento axial é equivalente a 70% do diâmetro da ferramenta, o que equivale a 29 e 44 mm, respectivamente. Normalmente, a trajectória seguida pela ferramenta, apresenta a seguinte configuração (Figura 66):

**Figura 66: Exemplificação da trajectória seguida durante a operação de facejamento**

Para saber o número de passagens por incremento, o cálculo segue a seguinte fórmula:

$$N^{\circ}_{pass. \text{ facejamento}} = \text{ARRED. EXCESSO} \left(\frac{\text{Larg.}}{0,7 \times \varnothing_{ferramenta}} \right) \quad (6)$$

Onde:

- $N^{\circ}_{pass. \text{ facejamento}}$ é o número de passagens de facejamento por incremento.

Para saber a trajectória por incremento, a fórmula a utilizar é a seguinte:

$$\text{Trajectória}_{inc. \text{ facejamento}} = (\text{Comp.} + \varnothing_{ferramenta}) \times N^{\circ}_{pass. \text{ facejamento}} \quad (7)$$

Onde:

- $Trajectoria_{inc.facejamento}$ é a distância que a ferramenta de facejamento percorre durante um incremento axial.

No caso deste tipo de máquinas, inicialmente é feito apenas um facejamento, pois o material excedente não ultrapassa 1 mm. No caso do facejamento do lado oposto, pelo método utilizado nestas máquinas, é necessário remover 5 mm. Sabendo esse incremento, que está dependente do material utilizado, o tempo necessário para esta operação de facejamento do primeiro aperto é o seguinte:

$$T_{facejamento\ 1^{\circ}\ aperto} = \frac{Trajectoria_{inc.facejamento}}{V_{avanço}} \quad (8)$$

Onde:

- $T_{facejamento\ 1^{\circ}\ aperto}$ é o tempo total de facejamento para o primeiro aperto.

Para o segundo aperto, o tempo é calculado da seguinte forma:

$$T_{facejamento\ 2^{\circ}\ aperto} = \frac{Trajectoria_{inc.facejamento} \times ARRED.EXCESSO\left(\frac{5}{Incremento_{axial}}\right)}{V_{avanço}} \quad (9)$$

Onde:

- $T_{facejamento\ 2^{\circ}\ aperto}$ é tempo total de facejamento para o segundo aperto.

Em relação aos parâmetros a utilizar, segue o mesmo princípio da fresagem periférica. Mas neste caso, a distinção entre materiais é só feita entre dois tipos de materiais: Plásticos e Alumínios. A selecção da ferramenta, neste caso, está limitada a dois tamanhos: Ø44 e Ø63 mm. A maioria das máquinas está equipada com Ø63 mm, no entanto, uma delas (HAAS DT-1) está equipada com a fresa de Ø44 mm. A selecção desta ferramenta será feita com base no tipo de máquina utilizada, que será descrito posteriormente.



Figura 67: Tipo de fresa utilizada para executar operações de facejamento

Fresagem de topo

No caso da fresagem de topo, esta operação é utilizada para a remoção de material no interior de um determinado pormenor. Neste tipo de operação, inicialmente é determinado o tipo de ferramenta utilizada, utilizando a fórmula (1).

Em função do valor, será escolhida a ferramenta que se aproxime, por defeito, ao valor obtido. A listagem das ferramentas utilizadas para estas operações é a seguinte (Tabela 15):

Tabela 15: Tipo de fresas de topo utilizadas para a operação de fresagem de topo

Ø da fresa (mm)	
20	6
16	5
12	4
10	3
8	2

Neste tipo de operações, o incremento axial utilizado é 40% do diâmetro da ferramenta. Este valor permite determinar qual é o número de passagens necessárias para remover o material do interior da cavidade. A trajectória-tipo utilizada apresenta o seguinte formato (Figura 68):

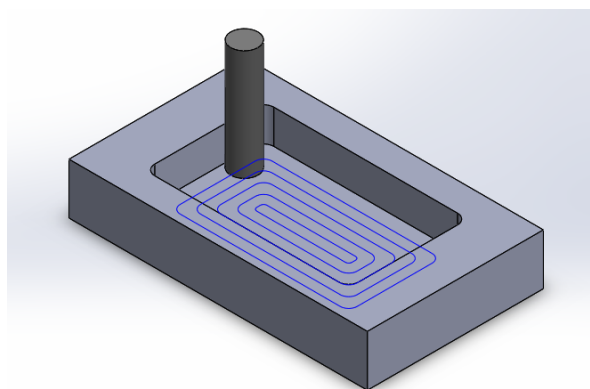


Figura 68: Exemplificação da trajectória seguida durante a operação de fresagem de topo (trajectória de um incremento)

Normalmente, a ferramenta dá a sua entrada ao meio ou junto a uma extremidade, mas para efeitos de cálculo, a trajectória é calculada a partir dos limites exteriores da cavidade. Para a primeira trajectória, o cálculo faz-se pela subtracção do diâmetro da ferramenta às medidas exteriores da cavidade. Para o cálculo das restantes trajectórias, é retirado a cada medida, o equivalente a 40% do diâmetro da ferramenta. Este cálculo é feito com o auxílio de uma tabela. Consideremos o seguinte exemplo de uma cavidade com a área de 200x20 mm² (Tabela 16), onde a ferramenta seleccionada é uma fresa de Ø12 mm.

Para explicar este cálculo, não será considerada a profundidade.

Tabela 16: Cálculo da trajectória de um incremento na fresagem de topo de uma cavidade

Dimensões		Trajectória no comprimento (mm)	Trajectória na Largura (mm)	Total (mm)
Comprimento:	200	(1) 188	38	452
Largura:	50	(2) 183,2	33,2	432,8
		178,4	28,4	413,6
Fresa (mm)	12	173,6	23,6	394,4
40% da fresa (mm)	4,8	168,8	18,8	375,2
		164	14	356
		159,2	9,2	336,8
		154,4	4,4	317,6
		149,6	0	299,2
		0	0	0
		0	0	0
		0	0	0
		0	0	0
Total (mm):				3377,6

Na primeira linha da tabela (1), é descontado o valor do diâmetro da ferramenta à medida do comprimento e largura. Seguidamente, na linha (2), é realizado o mesmo tipo de cálculo, mas retirando o valor de 40% do diâmetro da ferramenta, ao valor calculado na linha (1). Este cálculo é feito tanto para a coluna da trajectória no comprimento, bem como na trajectória da largura. Este método é utilizado nas restantes linhas, considerando sempre o valor calculado na anterior linha. O cálculo terminará quando a trajectória à largura obtenha um valor negativo ou nulo. Assim que o obtenha, por intermédio de uma função tipo “SE”, o valor passa a zero tanto na trajectória no comprimento como na largura, pois significa que não é necessário remover mais material. Na terceira coluna, é realizado o cálculo da trajectória de cada passagem recorrendo à seguinte fórmula:

$$Trajectory_{pass. desbaste} = (2 \times Trajectory_{comp.}) + (2 \times Trajectory_{Larg.}) \quad (10)$$

Onde:

- $Trajectory_{pass. desbaste}$ é a trajectória que a ferramenta segue em cada trajectória calculada (mm);
- $Trajectory_{comp.}$ Trajectória no comprimento (mm);

- $Trajectória_{Larg.}$ Trajectória na largura (mm).

No final, é feito o somatório desses valores, obtendo a trajectória total por incremento. Posteriormente, utilizando a essa trajectória total, incremento axial, profundidade da cavidade e a velocidade de avanço, é possível calcular o tempo da operação de fresagem de topo de uma cavidade:

$$T_{fresagem\ de\ topo} = \frac{Trajectory_{incr.fresagem\ topo} \times ARRED.EXCESSO \left(\frac{Prof.cavidade}{Incremento_{axial}} \right)}{V_{avanço}} \quad (11)$$

Onde:

- $T_{fresagem\ de\ topo}$ é o tempo total da operação de fresagem de topo (min);
- $Trajectory_{incr.fresagem\ topo}$ é a trajectória total por incremento (mm);
- $Prof.cavidade$ é a profundidade da cavidade.

A selecção do tipo de parâmetros a utilizar, nomeadamente o avanço e o incremento axial é feito com base na ferramenta utilizada e no tipo de material a trabalhar. Esses valores estarão tabelados. Em relação ao avanço, neste caso, segue também o princípio de redução aplicado à operação de fresagem periférica.

Contudo, a forma como é realizada a selecção da ferramenta para executar o desbaste pode levar à selecção de uma ferramenta com um raio que não é compatível com os que normalmente são colocados nos cantos internos das cavidades. Normalmente, essas cavidades possuem raios inferiores a 6 mm, o que leva à necessidade de fazer uma passagem de acabamento para garantir que a cavidade fique com as dimensões correctas. Posto isto, quando se trata de cavidades, a fórmula contemplará uma passagem de acabamento com uma fresa de diâmetro menor. A selecção da ferramenta será efectuada da seguindo a Tabela 17:

Tabela 17: Tabela de selecção da ferramenta de acabamento de cavidades

\varnothing da ferramenta de desbaste (mm)	\varnothing de Ferramenta de acabamento (mm)
20	12
16	10
12	8
10	6
8	6

No caso das ferramentas mais pequenas o diâmetro a considerar será o mesmo. Se nesses casos for uma peça com rigor menor, não será necessária passagem de acabamento. No caso dos diâmetros tabelados, a passagem de acabamento será sempre considerada, ajustando só os parâmetros se for necessário, devido ao rigor exigido. A fórmula de cálculo deste acabamento segue o mesmo princípio da fresagem periférica. Os parâmetros também serão calculados da mesma forma.

Furação

No caso da furação, a ferramenta executa uma trajetória diferente das anteriormente mencionadas. Neste caso, a ferramenta mantém o seu eixo de rotação fixo em relação ao centro da furação que está a executar (Figura 69).

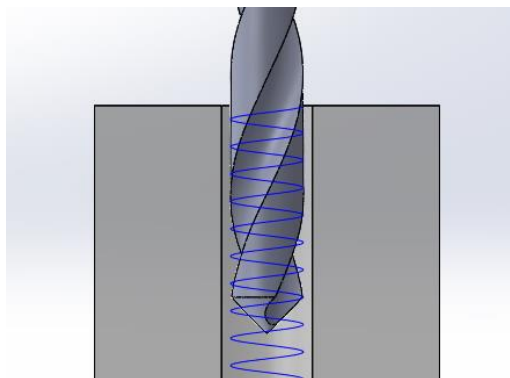


Figura 69: Exemplificação da trajetória seguida durante a operação de furação

Os parâmetros mais importantes para esta operação são a rotação e avanço por rotação. Sabendo a rotação aplicada, avanço por rotação, e profundidade da furação, é possível calcular o tempo de furação com a seguinte fórmula:

$$T_{Furação} = \frac{\left(\frac{Prof. furo}{Av_{rotação}}\right)}{Rotação} \quad (12)$$

Onde:

- $T_{Furação}$ é o tempo total da furação (min);
- $Av_{rotação}$ é o avanço por rotação (mm/rev.);
- $Rotação$ é a rotação (rpm).

No entanto, o cálculo não é simples. Devido à necessidade de extracção da apara resultante da perfuração, é importante que a broca faça movimentos de saída do furo para libertação da apara que possa ficar bloqueada na hélice da broca. Este método denomina-se por “pica-pau”.

Normalmente, a broca faz um mergulho com uma profundidade igual ao diâmetro da broca utilizada. Após atingir essa profundidade, a broca inverte o sentido, percorrendo a mesma distância, inversamente. Este passo é várias vezes repetido, incrementando sempre mais uma distância igual ao da broca, até conseguir atingir a profundidade pretendida. Por esta razão, a broca percorre uma distância superior à profundidade do furo, tornando-se importante estimar esta distância percorrida.

Para tal, o cálculo da distância percorrida, é iniciado pela determinação de quantos mergulhos são necessários:

$$N^{\circ}_{Mergulhos} = ARRED.EXCESSO \left(\frac{Prof_{furo}}{\emptyset_{Broca}} \right) \quad (13)$$

Onde:

- $N^{\circ}_{Mergulhos}$ é o número de mergulhos que a broca irá realizar;
- $Prof_{furo}$ é a profundidade do furo (mm);
- \emptyset_{Broca} é o diâmetro da broca (mm).

Após determinar esse número é adicionado uma unidade, que corresponde ao primeiro mergulho que funciona como espécie de ponteamento. Não convém que a broca faça no primeiro incremento um mergulho igual ao seu diâmetro. Com o auxílio de uma tabela, o cálculo é feito através de uma sucessão (Tabela 18).

Tabela 18: Exemplo do cálculo da trajectória percorrida durante a execução de uma furação

∅ da broca (mm)	8	Cálculo	5
Profundidade	25		4
Número de mergulhos	4		3
			2
			1
			0
			0
			0
		Soma	15
		Trajectória total (mm)	240

Neste exemplo, considera-se um furo diâmetro 8 mm, com uma profundidade de 25 mm. Fazendo o cálculo acima descrito, obtém-se o número de mergulhos necessários. Com esse número, é feita uma subtração de uma unidade esse valor sucessivamente (Exemplo: 4-1, 3-1, 2-1...) até atingir o valor de zero. Assim que obtenha valores negativos, por intermédio de uma função tipo "SE", o valor passa a zero. No final, é somado o total, dobra-se esse valor, e multiplica-se pelo diâmetro da broca, chegando ao valor da distância total percorrida. Com esse valor, e os restantes (rotação e avanço por rotação), é possível calcular o tempo de furação:

$$T_{Furação} = \frac{\left(\frac{D_{Percorrida}}{Avrotação}\right)}{Rotação} \quad (14)$$

Onde:

- $D_{Percorrida}$ é a distância total que a broca percorre para executar a furação (mm).

Roscagem e mandrilamento

No caso da roscagem e do mandrilamento, o tempo é calculado de uma forma mais simples. Neste caso, ao contrário da furação, o macho ou o mandril, faz dois movimentos: mergulho até à cota final de profundidade, e posteriormente a saída do mesmo.

Sabendo a rotação aplicada, avanço por rotação, e profundidade do furo a roscar ou mandrilar, é possível calcular o tempo com a seguinte fórmula:

$$T_{roscagem\ ou\ mandrilamento} = \frac{\left(2 \times \frac{Prof\ furo}{Avrotação}\right)}{Rotação} \quad (15)$$

Onde:

- $T_{roscagem\ ou\ mandrilamento}$ é o tempo total da operação de roscagem ou mandrilamento (min).

Acabamento

Quando se trata de peças com rigor mais exigente, algumas operações, nomeadamente fresagem periférica e de topo, necessitam de uma operação de acabamento. Para tal, inicialmente é feita a operação normal, mas deixam uma sobreespessura para que depois, uma fresa de acabamento, faça a maquinagem dos respectivos pormenores com parâmetros mais

reduzidos, com o objectivo de cumprir o rigor pedido. No entanto, esta operação acaba por aumentar os tempos de maquinagem, os quais não devem ser desconsiderados.

Em termos de cálculo, esta operação é contemplada na fresagem periférica e de topo, e será uma operação de fresagem periférica, pois fará o acabamento, seja das faces exteriores, ou das faces interiores de uma cavidade. A fórmula de cálculo e selecção de paramentos de maquinagem segue o mesmo princípio da fresagem periférica. No entanto, o incremento axial é calculado da seguinte forma:

$$Incremento_{axial} = 0,5 \times \emptyset_{ferramenta} \quad (16)$$

Em relação ao avanço, também terá que ser reduzido. Em função do valor tipicamente utilizado para cada ferramenta, será reduzido para metade do avanço estipulado na operação anterior.

No caso da fresagem de topo, que poderá ter já uma passagem de acabamento, apenas serão ajustados os valores de avanço.

3.6.1.2 Estimativa de tempos de preparação e finalização para fresadoras de aperto mecânico

Até agora, foram descritos vários pontos importantes no que que toca à maquinagem de peças propriamente dita. No entanto, existem outros custos que não devem ser desconsiderados. Um dos mais importantes são as etapas de preparação. Na TECNOLANEMA, cada peça é sujeita a algumas etapas antes de maquinagem. Essas etapas são (Figura 70):

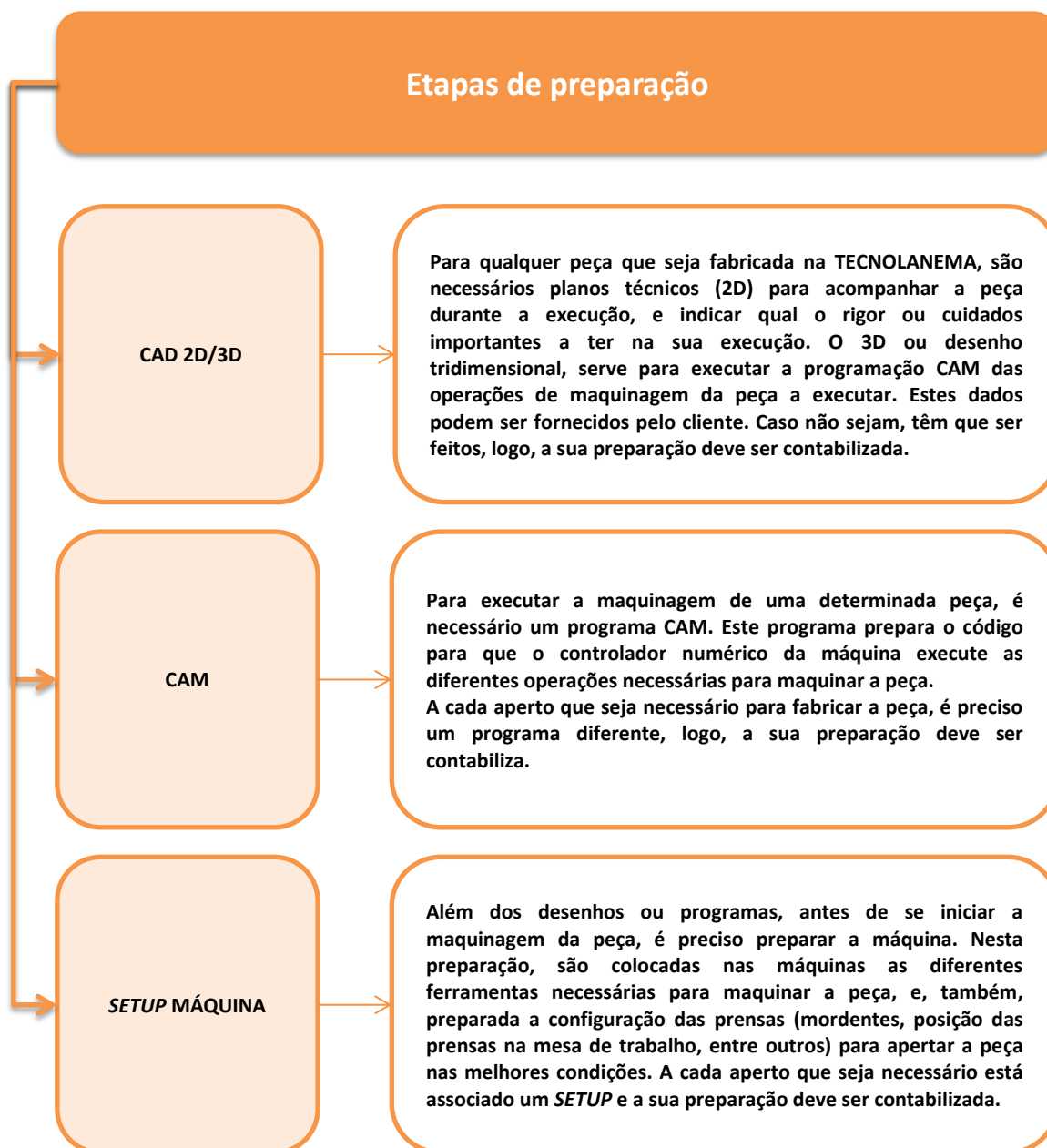


Figura 70: Principais etapas de preparação a ser contabilizadas no orçamento de peças maquinadas

Como se pode ver, são etapas que podem ser demoradas e que exigem recursos internos para responder a estas necessidades.

Olhando à etapa de CAD, quando se trata de planos técnicos, a sua execução é mais simples que a execução do desenho tridimensional. No caso de o cliente fornecer o desenho tridimensional, o colaborador que o irá fazer, apenas tem que cotar um plano com as principais medidas para que os colaboradores que irão trabalhar na peça nas etapas seguintes possam analisar e interpretar a peça, mas também fazer um controlo dimensional da mesma para verificar se esta está a ser fabricada dentro dos parâmetros estabelecidos.

Quando é necessário desenho tridimensional, a tarefa é algo mais complexa. O colaborador necessita de interpretar o plano e desenhar o mesmo no formato tridimensional. Neste caso, além do desenho tridimensional, é necessário executar novo plano para que outro colaborador com as mesmas habilitações, possa verificar o desenho e confirmar o mesmo, comparando-o com o plano original do cliente.

Após várias análises dos tempos necessários para executar os desenhos, concluiu-se que os tempos mínimos a considerar para estas etapas são os seguintes (Tabela 19):

Tabela 19: Tempo-base para etapa de CAD

Etapa CAD (min.)	
Planos Técnicos	5
Desenho tridimensional	15

Contudo, quando a complexidade da peça aumenta, estes tempos não são suficientes. Quando aumenta a complexidade da peça, o colaborador necessita de maior tempo para interpretar ou cotar o desenho. O colaborador deve também analisar os casos pontuais da peça que necessitem de um tolerânciamento mais correcto, para que alerte outros colaboradores que irão intervir na peça. Um dos exemplos mais comuns são as cavidades. Normalmente, essas cavidades devem estar tolerânciadas para um campo positivo, para que não haja risco que a peça não encaixe com outra peça.

Tendo em conta estas conclusões, os tempos de CAD serão incrementados em função do nível seleccionado para a peça. A forma como será incrementado será descrita no subcapítulo 3.6.1.3. Selecção de complexidade da peça.

Em relação às etapas de CAM, a determinação dos tempos necessários funciona de forma semelhante. No entanto, estas etapas estão dependentes, também, do número de apertos necessários. Após a análise dos tempos normalmente necessários para realizar o programa CAM, chegou-se à conclusão que os tempos mínimos a considerar são os seguintes (Tabela 20):

Tabela 20: Tempo-base para etapas de CAM

ETAPA CAM (min.)	
1º Aperto	10
2º Aperto	5
3º Aperto	10
4º Aperto	10
5º Aperto	10
6º Aperto	10

No caso de serem seleccionadas máquinas de cinco eixos (DMU 50 ou DMU 80), ao primeiro tempo, são incrementados mais 10 minutos. No caso de ser a máquina para quantidades elevadas (HAAS EC-400), são incrementados mais 25 minutos (necessidade de programação de várias peças no mesmo aperto). Estes acréscimos devem-se à maior complexidade da programação deste tipo de máquinas.

Para o caso da operação de *SETUP* funciona de forma muito similar à etapa de CAM. Após a análise dos tempos normalmente necessários para preparar as máquinas, chegou-se à conclusão que os tempos mínimos a considerar são os seguintes (Tabela 21):

Tabela 21: Tempo base para etapas de SETUP

ETAPA SETUP (min.)	
1º Aperto	10
2º Aperto	5
3º Aperto	10
4º Aperto	10
5º Aperto	10
6º Aperto	10

No caso de ser a máquina para quantidades elevadas (HAAS EC-400) são incrementados mais 35 minutos, devido à necessidade de preparar vários sistemas de aperto (Paletes). A forma como irá incrementar, será descrita no subcapítulo 3.6.1.3. Selecção do nível de complexidade da peça.

Outra tarefa também importante é a finalização das peças. Durante a preparação da maquinagem de uma peça, todos os programadores têm um requisito importante: a limpeza da peça durante a sua execução. No entanto, nem todos os pormenores são possíveis de limpar na máquina, ou a estratégia iria encarecer em demasia o processo, obrigando a recorrer a apertos adicionais ou complicar a estratégia definida. Tendo em conta a política de qualidade da TECNOLANEMA, todas as peças devem sair limpas das nossas instalações. A fim de resolver esta questão, existe um posto de acabamentos, onde as peças são examinadas e limpas em alguns pormenores que possam estar a faltar (Figura 71).



Figura 71: Exemplo de limpeza de arestas viva em peças maquinadas (VARGUS Ltd, 2010)

Para efeitos de cálculo, torna-se complicado determinar uma fórmula matemática que seja fiável na determinação destes tempos. Como foi indicado, estes pormenores a finalizar estão dependentes da estratégia de maquinagem e da geometria da peça. Os pormenores que normalmente estão por finalizar são, nomeadamente, arestas que não são acessíveis à ferramenta durante a maquinagem. Posto isto, a forma encontrada para determinar os tempos mínimos de acabamentos, irá basear-se na totalidade das arestas existentes num paralelepípedo que necessitavam de ser limpas com um raspador a uma determinada velocidade. Embora seja um cálculo que não representa a verdade em todos os casos, foi a forma encontrada mais aproximada aos casos reais. Assim, terá que ser somada mais esta parcela, para que não ficassem em falta os tempos de finalização no orçamento de uma peça.

$$T_{Acabamentos} = \frac{(4 \times Comp.) + (4 \times Larg.) + (4 \times Esp.)}{1000} \quad (17)$$

Onde:

- $T_{Acabamentos}$ é o tempo total da operação de acabamentos (min).

Esta fórmula baseia-se nas mesmas utilizadas para a determinação de tempos de maquinagem, e considera um valor de 1000 como se fosse uma velocidade de avanço de 1000 mm/minuto. Esta velocidade será ajustada da mesma forma que a velocidade de avanço é ajustada para o cálculo do tempo da fresagem periférica. Se aumentar a complexidade da peça, os tempos necessitam de ser incrementados. A forma como incrementará será a mesma

utilizada para os tempos de maquinagem (subcapítulo 3.6.1.3. Selecção do nível de complexidade da peça).

3.6.1.3. Selecção do nível de complexidade da peça e cálculo final dos tempos de maquinagem

No subcapítulo anterior foram apresentadas as fórmulas de cálculo dos principais tipos de operações mais recorrentes na maquinagem. No entanto estas operações podem ser utilizadas mais que uma vez numa peça, ou mesmo não serem aplicadas.

Sendo assim, criou-se uma listagem de níveis de peças, nas quais está estipuladas algumas características da peça, que permitem ao colaborador que utilizar este programa, enquadrar a peça nesses mesmos níveis, através da observação das principais geometrias das peças. Em função desse nível, a aplicação irá contemplar mais ou menos operações, e, aplicar um factor de que irá aumentar os tempos calculados devido ao aumento da complexidade da peça.

A listagem terá o seguinte aspecto:

Nível 1

- Peça de formato simples (quadrado, rectangular ou circular) com poucos pormenores a maquinar;
- Poderá ter até três furos roscados/ mandrilados, ou até seis furos simples (profundidades até três vezes o valor do diâmetro);
- Pormenores de pequena dimensão, que possam necessitar de operações diferentes, como maquinações de três ou cinco eixos contínuos, não deverão estar presentes na geometria da peça.

Nível 2

- Peça de formato simples (quadrado, rectangular ou circular) com alguns pormenores a maquinar;
- Poderá ter até cinco furos roscados/ mandrilados ou com caixa para parafuso, ou até dez furos simples (profundidades até três vezes o valor do diâmetro);

- Pormenores de pequena dimensão, que possam necessitar de operações diferentes, como maquinações de três ou cinco eixos contínuos, não deverão estar presentes na geometria da peça.

Nível 3

- Peça formato um pouco complexo mas onde a sua forma se aproxime aos formatos simples (quadrado, rectangular ou circular);
- Poderá ter até sete furos roscados/ mandrilados ou com caixa para parafuso, ou até catorze furos simples (profundidades até três vezes o valor do diâmetro);
- Pormenores de pequena dimensão, que possam necessitar de operações diferentes, como maquinações de três ou cinco eixos contínuos, não deverão estar presentes na geometria da peça.

Nível 4

- Peça formato um pouco complexo mas onde a sua forma se aproxime aos formatos simples (quadrado, rectangular ou circular);
- Poderá ter até dez furos roscados/ mandrilados ou com caixa para parafuso, ou até vinte furos simples (profundidades até três vezes o valor do diâmetro);
- Pormenores de pequena dimensão, que possam necessitar de operações diferentes, como maquinações de três ou cinco eixos contínuos, não deverão estar presentes na geometria da peça.

Nível 5

- Peça formato um pouco complexo mas onde a sua forma se aproxime aos formatos simples (quadrado, rectangular ou circular);
- Poderá ter até quinze furos roscados/ mandrilados ou com caixa para parafuso, ou até trinta furos simples (profundidades até três vezes o valor do diâmetro);
- Pormenores de pequena dimensão, que possam necessitar de operações diferentes, como maquinações de três ou cinco eixos contínuos, poderão estar presentes na geometria da peça.

Nível 6

- Peça formato um pouco complexo mas onde a sua forma se aproxime aos formatos simples (quadrado, rectangular ou circular);
- Poderá ter até vinte furos roscados/ mandrilados ou com caixa para parafuso, ou até quarenta furos simples (profundidades até três vezes o valor do diâmetro);
- Pormenores de pequena dimensão, que possam necessitar de operações diferentes, como maquinações de três ou cinco eixos contínuos, poderão estar presentes na geometria da peça.

Nível 7

- Peça formato um pouco complexo mas onde a sua forma se aproxime aos formatos simples (quadrado, rectangular ou circular);
- Poderá ter até trinta furos roscados/ mandrilados ou com caixa para parafuso, ou até sessenta furos simples (profundidades até três vezes o valor do diâmetro);
- Pormenores de pequena dimensão, que possam necessitar de operações diferentes, como maquinações de três ou cinco eixos contínuos, poderão estar presentes na geometria da peça.

Nível 8

- Peça formato um pouco complexo mas onde a sua forma se aproxime aos formatos simples (quadrado, rectangular ou circular);
- Poderá ter até trinta e cinco furos roscados/ mandrilados ou com caixa para parafuso, ou até setenta furos simples (profundidades até três vezes o valor do diâmetro);
- Pormenores de pequena dimensão, que possam necessitar de operações diferentes, como maquinações de três ou cinco eixos contínuos, poderão estar presentes na geometria da peça.

Através destas principais características e suas quantidades, a aplicação irá contemplar os mesmos nos seus cálculos, determinando assim o tempo de execução da peça. Através de funções tipo “SE” ou “PROCV”, a aplicação estabelece condições para a selecção de ferramentas e procura os parâmetros tabelados em função dos resultados das fórmulas

utilizadas. Essas condições serão baseadas nas várias parametrizações mencionadas ao longo do capítulo 3. Desenvolvimento. Sabendo esses valores, os tempos das operações de base serão calculadas.

As operações de base que serão calculadas são:

Fresagem periférica

Utilizará os valores das dimensões da peça e irá calcular os tempos da operação com base na ferramenta mais indicada e seus parâmetros baseados nas dimensões e no material em causa (Figura 72).

CONTORNO			
COEFICIENTE DE SEGURANÇA:	1,1		
COMPRIMENTO	80,5		
LARGURA	80,5		
ESPESSURA	23,83		
MATERIAL	ALUMÍNIO DURO		
INCREMENTO AXIAL:	2,4		
AVANÇO	3000		
AVANÇO AJUSTADO:	1200		
TEMPOS:			
PERIMETRO EXTERIOR:	322		
Nº DE PASSAGENS DE DESBASTE:	10		
Nº DE PASSAGENS DE ACABAMENTO:	4		
TEMPO DE CONTORNO:	4,132333333		
SELEÇÃO DE FERRAMENTA:			
	12		
	0		
	0		
	12		
SELEÇÃO DE INCREMENTO:			
PLÁSTICO MACIO	0,4	C	
PLÁSTICO DURO	0,35	C	
ALUMÍNIO MACIO	0,25	C	
ALUMÍNIO DURO	0,2	0,2	
		0,2	
SELEÇÃO DE AVANÇO:			
MATERIAL	Ø12	Ø16	Ø20
PLÁSTICO MACIO	0	0	C
PLÁSTICO DURO	0	0	C
ALUMÍNIO MACIO	0	0	C
ALUMÍNIO DURO	3000	3000	3500
3000	0	3000	0
AJUSTES DE AVANÇO:			
	0		
	0		
	0		
	1200		
	0		
	1200		

Figura 72: Exemplo da tabela de cálculo para determinação dos tempos de fresagem periférica

Fresagem facial

Considera o comprimento e largura da peça para determinar a trajetória e tempo da operação de fresagem facial. A fresagem facial será considerada para o primeiro aperto (contempla uma passagem de remoção de material) e para o segundo aperto (avalia a espessura da peça e a espessura do material considerado e calcula o número de passagem necessárias para remover esse excesso de material).

A selecção dos parâmetros irá basear-se no tipo de material e dimensões da peça (Figura 73).

FACEJAMENTO		AJUSTES DE AVANÇO:	
COEFICIENTE DE SEGURANÇA:	1,1		0
COMPRIMENTO	80,5		0
LARGURA	80,5		0
ESPESSURA	23,83		1100
MATERIAL	ALUMÍNIO DURO		0
			1100
NUMERO DE PASSAGENS:	2		
FERRAMENTA	63		
INCREMENTO RADIAL:	44,1		
INCREMENTO AXIAL:	1		
AVANÇO:	2750		
TRJECTÓRIA DE 1 INCREMENTO:	287		
TEMPO 1º APERTO:	0,287		
TEMPO 2º APERTO:	1,304545455		

Figura 73: Exemplo da tabela de cálculo para determinação dos tempos de fresagem facial

Fresagem de topo

Para o caso da peça pertencer a um nível que considera cavidades, o cálculo irá determinar a dimensão de uma cavidade com aproximadamente 1/4 das medidas de comprimento e largura. Em relação à profundidade será calculada da seguinte forma:

$$Espessura_{peça} < 15 \text{ mm} \rightarrow Profundidade_{cavidade} = \frac{Espessura}{1.25} \quad (18)$$

$$15 \leq Espessura_{peça} < 45 \text{ mm} \rightarrow Profundidade_{cavidade} = \frac{Espessura}{2.5} \quad (19)$$

$$Espessura_{peça} \geq 45 \text{ mm} \rightarrow Profundidade_{cavidade} = \frac{Espessura}{3.5} \quad (20)$$

Este ajuste em função da espessura, deve-se principalmente a peças com uma espessura superior, nas quais este cálculo determinava uma profundidade demasiado elevada, o que provocava o aumento excessivo dos tempos.

Em função das medidas calculadas, irá determinar as ferramentas mais indicadas para desbaste e, se necessário, acabamento da mesma. Em função do valor dado pelo colaborador (procedimento explicado posteriormente), irá contemplar esses tempos, calculados em função da área da peça que necessita de ser maquinada com este tipo de operação.

FURROS		TRAJECTÓRIA
COEFICIENTE DE SEGURANÇA:	1,1	4
COMPRIMENTO	80,5	3
LARGURA	80,5	2
ESPESSURA	23,83	1
MATERIAL	ALUMÍNIO DURO	0
FAMÍLIA	Alumínio	0
BROCA	6	0
PASSO DO MACHO	0,75	0
ROTAÇÃO BROCA	4000	0
AVANÇO	0,1	0
ESPESSURA:	23,83	0
NUMERO DE MERGULHOS	5	0
TRAJECTÓRIA DA BROCA:	180	0
TEMPO DE FURAÇÃO	0,45	0
ROTAÇÃO DO MACHO:	150	0
TEMPO DE ROSCAGEM:	0,423644444	0
		15
TEMPO TOTAL DO FURO:	0,521008889	

Figura 75: Exemplo da tabela de cálculo para determinação dos tempos de furação

Limpeza de peça

Associado a todas as operações mencionadas anteriormente, serão calculados os tempos necessários para a limpeza das principais arestas. Este cálculo, avalia quais são as arestas exteriores da peça (na operação de fresagem periférica) e arestas interiores (furos e cavidades) e estima os tempos de maquinagem necessários para que uma fresa de chanfro percorra a totalidade destas arestas numa única passagem.

Para além destes tempos e operações contempladas, o *software* irá adicionar por cada unidade e cada aperto, trinta segundos para a troca de peça. É um tempo médio e o habitual para troca de peças simples. Contudo, para alguns casos mais complexos, este tempo pode ser mais elevado. No entanto, como vai ser incrementado (descrito mais a frente) em função da sua complexidade, esse tempo adicionado será absorvido por esse incremento.

Além de incrementar os tempos em função desses pormenores, a aplicação irá inflacionar o tempo previsto, com vista a absorver também outros possíveis pormenores que irão aparecendo com o aumento da complexidade da peça (chanfros, raios, inclinações, entre outros).

Os valores serão alterados com base na Tabela 22:

Tabela 22: Valores de inflação dos tempos de maquinagem em função do nível da peça

Nível de complexidade da peça	Factor de inflação de tempos
1	1,25
2	1,2
3	1,2
4	1,15
5	1,15
6	1,1
7	1,08
8	1,08

Estes valores foram determinados em função das várias análises a peças que se enquadravam nos diferentes níveis. O objectivo destes factores são incrementar os valores dos tempos de maquinagem para que o tempo estimado fique sempre acima do real. No entanto, essa diferença não deve ser acentuada, para que não provoque um aumento excessivo do preço final da peça. Após a selecção do nível, a aplicação irá procurar o valor correspondente e multiplicar pelo valor estimado com base nas operações-base. As operações de acabamento também serão ajustadas com base nesta tabela.

Contudo, quando a peça não se enquadra nestes níveis, porque possui pormenores não mencionados, optou-se por não incluir essas mesmas peças mais complexas, pois esses pormenores (furações longas, por exemplo) normalmente necessitam de uma maior atenção e interpretação da sua execução (se a capacidade da máquina permite executar, se necessita de ferramentas especiais, entre outros). Por isso, esses casos deverão ser analisados pelos colaboradores competentes para tal função (Departamento Técnico/Orçamentação).

Para incrementar os valores das operações de CAD/CAM/*SETUP*, a aplicação irá ter em conta as operações que serão incrementadas em função do nível de complexidade da peça. Quanto mais pormenores, mais operações de CAD e CAM são necessárias realizar, bem como mais ferramentas são necessários montar.

Em função disso, estas operações serão incrementadas por cada pormenor que é adicionado, em função do nível de complexidade da peça.

Os incrementos usados são os apresentados na Tabela 23.

Tabela 23: Tempos adicionais em função do número de operações associada a cada nível

Tempos adicionais	
2D	0,5 min/pormenor
3D	1 min/pormenor
CAM	1 min/pormenor
SETUP	0,5 min/pormenor

Outro pormenor importante, é o ajuste dos tempos em função da quantidade a fabricar. Quando se compara o tempo de execução de uma unidade com o tempo e execução de maiores quantidades, é normal que o tempo médio por peça baixe em função do aumento dessa quantidade. Isto deve-se a vários factores:

- Na primeira peça o operador corre a aplicação em velocidade inferior de forma a controlar todos os passos, e verificar se existe algum erro;
- É necessário verificar dimensionalmente se a peça está conforme o pretendido;
- Podem ser necessários pequenos ajustes;
- O operador não está totalmente familiarizado com a sequência de operações.

Só após a execução de algumas peças, é que o operador se encontra totalmente familiarizado com a peça, e prossegue as diversas operações com maior confiança e maior velocidade de trabalho.

Posto isto, é necessário fazer alguns ajustes ao tempo calculado em função da quantidade (Tabela 24).

Tabela 24: Factores a aplicar nos tempos de maquinagem em função da quantidade

Número de peças	Factor
Quantidade = 1	1,35
$2 \leq \text{Quantidade} \leq 4$	1,20
$4 < \text{Quantidade} \leq 8$	1,15
$8 < \text{Quantidade} \leq 15$	1,10
$15 < \text{Quantidade} \leq 20$	1,08
$20 < \text{Quantidade} \leq 25$	1,05
Quantidade > 25	1,02

Estes valores já eram considerados pelo orçamentista nos ajustes de tempos de peças mais comuns. Peças bastantes complexas devem ser avaliadas devidamente. Podem existir alguns tipos de passos a cumprir que deverão ser contabilizados (Exemplo: peças com cavidades tolerânciadas que recorram a buris de mandrilamento). Estes casos não serão contabilizados neste desenvolvimento, pois são peças que necessitam de uma avaliação mais técnica e minuciosa.

3.6.1.4. Selecção do tipo de máquina para fresadoras de aperto mecânico

Até agora foram descritos os vários métodos de determinação de tempos. No entanto, o tipo de máquina também é importante para determinar o custo da peça. Na TECNOLAMENA existem vários tipos de máquinas com diferentes capacidades, entre as quais, o custo varia em função do seu valor de aquisição. As principais máquinas a ter em conta este processo são as seguintes (Tabela 25):

Tabela 25: Principais máquinas a ter em conta no grupo de fresadoras de aperto mecânico

Máquinas TECNOLANEMA	
Máquina:	Volume máximo da peça:
HAAS SUPER MINIMILL	300x250x50 mm ³
HAAS DT-1	400x300x70 mm ³
HAAS VM6	1550x450x350 mm ³
HAAS EC-400	250x200x100 mm ³
DMG DMU-50 EVO LINEAR	200x150x150 mm ³
DMG DMU-80	450x400x200 mm ³

Em função das medidas que a peça tem, a aplicação irá recorrer às mesmas para determinar qual a máquina mais indicada, por intermédio de condições. A aplicação faz uma verificação por ordem crescente, ou seja, a primeira máquina a avaliar será a HAAS SUPER MINIMILL. Caso esta seja compatível, todas as outras máquinas não serão consideradas, exceptuando o caso da HAAS EC-400 que será explicado mais adiante.

Para o caso das fresadoras de cinco eixos, no preenchimento dos dados, terá que ser dada a indicação que se pretende que esta peça seja realizada neste tipo de máquinas, pois permite executar a peça em menor número de apertos que as restantes máquinas. Como a aplicação não consegue avaliar a posição dos pormenores a maquinar, restava esta opção para ser possível diferenciar este tipo de máquina. As medidas que estão apresentadas, são inferiores às capacidades de cada máquina. No entanto, estão ajustadas aos sistemas mais comuns para

fixação das peças. Caso em que sejam ultrapassados os limites impostos, a aplicação irá colocar um aviso a informar que a peça está fora dos limites (Figura 76).

DADOS FRESADORAS								
Dados gerais:								
CLIENTE:	LANBI - Customized Machines, S.A.							
nome da peça:	CRADLE SUPPORT PL. 110301102012 REV.001							
PROJECTO	POLV201501650	Nº DE ORÇAMENTO PHC	1060					
quantidade:	1	REF. ORÇ. MANUF.	2015004341					
Material:								
Designação:	ALUMINIO AW7075-T651PLATE 70 MM 1520X3020							
tol. Fábrica (mm):	0							
massa volúmica (Kg/m³):	2,81							
espessura (mm):	70,00							
família:	ALUMÍNIO DURO							
Preço (€/Kg):	7,80 €							
Dimensões:								
comprimento (mm):	1600							
Largura (mm):	450							
Altura (mm):	65							
Estratégia:								
Peça com rigor?	sim	Não						
Nível da peça?	1	2	3	4	5	6	7	8
Número de apertos?	2	3	4	5	6			

PEÇA ULTRAPASSA LIMITES DAS MÁQUINAS: REVER PROCESSO COM DEPARTAMENTO TÉCNICO

PEÇA ULTRAPASSA LIMITES DAS MÁQUINAS: REVER PROCESSO COM DEPARTAMENTO TÉCNICO

Figura 76: Exemplo do alerta da aplicação, caso as medidas ultrapassem limites das máquinas

Além das medidas, a aplicação tem uma condição que avalia a quantidade de peças para o caso da máquina HAAS EC-400. Esta máquina está especialmente dotada para fabricar peças em grandes quantidades, recorrendo a um sistema de troca de paletes automatizado.

A condição verifica quais as peças que podem ser fabricadas nas fresadoras HAAS MINIMILL e HAAS DT-1, que tenham uma quantidade igual ou superior a 64 unidades, mas também ao comprimento máximo da peça (deve ser inferior a 200 mm de forma a não ultrapassar o perímetro de segurança para rotação da paleta - Figura 77).



Figura 77: HAAS EC-400 com sistema de troca automática de paletes

Em função da máquina seleccionada, a aplicação irá procurar os respectivos custo/minuto da máquina, e os respectivos custo/minuto para as restantes operações, para assim calcular o valor total da maquinagem.

3.6.1.5. Cálculo do material para fresadoras de aperto mecânico

Para determinar qual o material a considerar para maquinar a peça, a aplicação seguirá a seguinte norma da TECNOLANEMA Nº 12.12.04 - *Dimensão de blocos para aperto mecânico*:

Para dimensionar os blocos de material necessário para peças maquinadas nos centros de fresagem, o procedimento deve seguir a seguinte norma:

- Peças com dimensões de comprimento, largura ou diâmetro **até 50 mm** deverão ser cortadas com uma sobreespessura de **1 mm** por banda (exemplo: peça com 20 mm de largura ou comprimento, deverá vir com 22 mm - 1 mm para cada lado);
- Peças com dimensões de comprimento, largura ou diâmetro **até 150 mm** deverão ser cortadas com uma sobreespessura de **2 mm por banda**;
- Peças com dimensões de comprimento, largura ou diâmetro **até 500 mm** deverão ser cortadas com uma sobreespessura de **2.5 mm por banda**;
- Peças com dimensões de comprimento, largura ou diâmetro **até 1000 mm** deverão ser cortadas com uma sobreespessura de **3.5 mm por banda**;
- Peças com dimensões de comprimento, largura ou diâmetro **até 2000 mm** deverão ser cortadas com uma sobreespessura de **5 mm por banda**;
- Peças com dimensões de comprimento, largura ou diâmetro **superiores 2000 mm** deverão ser cortadas com uma sobreespessura de **6 mm por banda**.

Em função destes valores, a aplicação irá definir qual a sobreespessura a utilizar nas medidas de comprimento, largura ou diâmetro.

A espessura é determinada em função da medida da chapa considerada. Em função do material considerado, a espessura estará compensada, para que o cálculo do material a considerar, seja realizado em conformidade com o peso linear estipulado. É essencial que o formato seleccionado tenha no mínimo cinco mm para fixação da peça no primeiro aperto.

Além desta sobre espessura, é necessário considerar uma sobre espessura adicional para compensar o gasto de corte. O valor utilizado é 5 mm.

3.6.1.6. Inserção e análise de dados para fresadoras de aperto mecânico

Para que a aplicação faça o cálculo dos diversos tempos a considerar no orçamento, será necessário inserir alguns dados para que os mesmos sejam utilizados. A aplicação requer cinco tipos de dados:

- Dados principais – dados do cliente, peça e respectivo *dossier* do *PHC Manufacturer/Enterprise*;
- Material – tipo e formato de material a considerar;
- Dimensões – medidas principais da peça;
- Estratégia – dados a considerar para estimativa dos custos de fabrico da peça;
- Comentários Técnicos – possíveis comentários a enviar ao cliente.

DADOS FRESADORAS								
Dados gerais:								
CLIENTE:								
nome da peça:	PEÇA CONF. PL. 24211-46-192X-R06							
PROJECTO	POLY201501325	Nº DE ORÇAMENTO PHC	0					
quantidade:	4	REF. ORÇ. MANUF.	POLY201501325_016					
Material:								
Designação:	ALUMINIO AW5083-H111 PLATE 15 MM 1520X3020							
tol. Fábrica (mm):	Laminado							
assa volúmica (Kg/m³):	2,7							
espessura (mm):	15,00							
familia:	ALUMÍNIO MACIO							
Preço (€/kg):	7908,822							
Dimensões:								
comprimento (mm):	99,25							
Largura (mm):	33							
Altura (mm):	10							
Estratégia:		Limpar						
Peça com rigor?	sim	Não						
Nível da peça?	1	2	3	4	5	6	7	8
Número de apertos?	2	3	4	5	6			
Máquina de 5 eixos?	sim	Não						
Contemplar desenho 2D?	sim	Não						
Contemplar desenho 2D e 3D?	sim	Não						
Considerar cavidades?	1/4	1/2	3/4					
Comentários técnicos		Limpar						
Tolerâncias gerais ISO 2768 mK	sim	Não						
Pedir desenhos 2D?	sim	Não						
Pedir desenhos 3D?	sim	Não						
Outros comentários								

Figura 78: Aspecto gráfico da inserção de dados para a aplicação de fresadoras de aperto mecânico

Dados principais

Neste campo serão preenchidos os dados que irão identificar o pedido de orçamento, e que permita a ligação ao respectivo documento do *software PHC* (Tabela 26).

Tabela 26: Tabela de inserção de dados relativos aos “Dados gerais”

Dados gerais:			
CLIENTE:	TECNOLANEMA (1)		
NOME:	PEÇA XPTO PL. 1234567 (2)		
PROJECTO:	POLY201500000 (3)	Nº DE ORÇAMENTO PHC	1 (5)
QUANTIDADE:	1000 (4)	REF. ORÇ. MANUF.	1 (6)

Onde:

- 1) É o nome do cliente;
- 2) Nome da peça e respectivo número de plano;
- 3) Número de projecto PDM;
- 4) Quantidade de peças a orçamentar;
- 5) Número do respectivo *dossier* de orçamento interno de cliente, criado no *software PHC Enterprise*;
- 6) Número da linha que define a posição da peça no *dossier* orçamento interno de cliente.

Estes dados, na actualidade, são importantes para a correcta ligação com o *software PHC Enterprise*. Embora possam ser algo morosos, são essenciais para que não haja perda de informação.

Material

Nesta parte, é seleccionado o material da peça (Tabela 27). É importante que esse material contemple 5 mm a mais na cota de espessura, valor que é necessário para o aperto da peça na primeira fixação.

Tabela 27: Tabela de inserção de dados relativos ao “Material”

Material	
Designação:	ERTACETAL C PLATE 20 MM 610X3000 NATURAL (1)
tol. Fábrica (mm):	+0,3/+1,5 (2)
Massa volúmica (Kg/m3):	1,41 (3)
Espessura (mm):	21,74 (4)
Família:	PLÁSTICO DURO (5)
Preço (€/Kg):	- € (6)
<input type="button" value="Ver materiais"/> (7)	
Stock (05-02-15)	
681,499 (8)	

Onde:

- 1) É a designação do material definido.

Os restantes valores estão associados a esse material e são colocados automaticamente:

- 2) Tolerância da espessura do material em função dos parâmetros do fornecedor;
- 3) Massa volúmica que será utilizada para o cálculo da massa do material a considerar;
- 4) Espessura compensada de forma a calcular a massa do material em conformidade com o peso linear no material;
- 5) Tipo de material;
- 6) Preço base do material.

Para procurar o material, será necessário clicar no botão “Ver materiais” (7) onde o utilizador irá ser redireccionado para a tabela de materiais, que dispõe de filtros e onde poderá procurar o material. Encontrando o mesmo, basta copiar (Exemplo de atalho: *ctrl + C*) e depois colocar no campo de material.

A título informativo, no ponto (8) encontrará uma previsão de *stock*. Esta informação não é totalmente válida. É sempre necessário verificar no *software PHC Enterprise* o *stock* actual. Esta informação tem como principal objectivo notificar o colaborador, caso esteja a seleccionar

uma opção que não é habitual possuir em *stock* na LANEMA. Caso tenha um valor a residual ou mesmo nulo, a aplicação irá assumir a cor vermelha para evidenciar.

Dimensões

Nesta parte são colocadas as medidas da peça. Estas são as medidas onde a aplicação irá basear a maioria do cálculo de tempos de operações de maquinagem (Tabela 28).

Tabela 28: Tabela de inserção de dados relativos às “Dimensões”

Dimensões	
Comprimento (mm):	
Largura (mm):	
Altura (mm):	

A forma como são colocadas estas medidas influencia o cálculo. Por isso, é importante que a medida de comprimento seja sempre a maior da peça, e a cota da espessura seja sempre a que irá estar relacionada com a espessura do material. Por isso é sempre importante saber a forma de colocação do material de base no primeiro aperto (Figura 79).

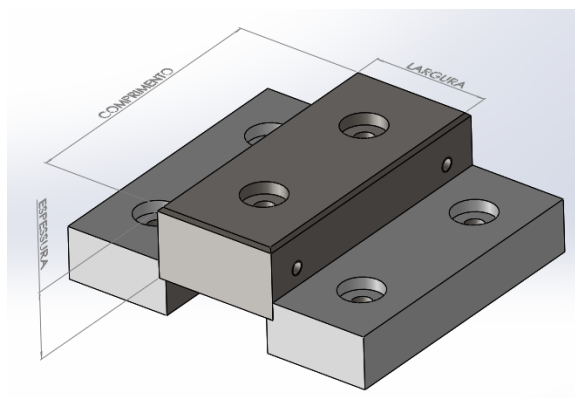


Figura 79: Exemplo de como determinar medidas a preencher na tabela de dimensões da aplicação para fresadoras de aperto mecânico

No caso de a peça ter medidas formato mais complexo, deve-se procurar quais são as medidas máximas. É importante analisar devidamente o plano, para que não haja possibilidade de estas medidas serem preenchidas erradamente, pois, como já foi referido, estas são a base da maioria dos cálculos. Caso haja erros, o cálculo poderá ser inferior ao real, correndo o risco de determinar um preço abaixo do real.

Estratégia

Nesta parte, são definidos os principais pontos que irão determinar a estratégia final para executar a peça, e conseqüente, determinar os seus custos de fabrico (Tabela 29).

Tabela 29: Tabela de inserção de dados relativos à “Estratégia”

Estratégia	Limpar									
	Peça com rigor? (1)	sim			Não					
Nível da peça? (2)	1	2	3	4	5	6	7	8		
Número de apertos? (3)	2		3		4		5		6	
Máquina de 5 eixos? (4)	sim			Não						
Contemplar desenho 2D? (5)	sim			Não						
Contemplar desenho 2D e 3D? (6)	sim			Não						
Considerar cavidades? (7)	1/4		1/2		3/4					

No ponto (1) define-se o rigor da peça. Caso esta tenha tolerâncias e acabamentos rigorosos, é importante clicar no botão “Sim” para activar esta opção. Sendo esta activa, o cálculo irá contemplar todas as operações de acabamento referenciadas no subcapítulo 3.6.1.1. Cálculos de tempo de maquinagem dos principais tipos de operações.

Esta condição deve ser aplicada nas seguintes condições:

- Tolerâncias lineares inferiores a ± 0.1 mm;
- Tolerâncias gerais ISO 2768 f (fina);
- Tolerâncias geométricas inferiores à classe K da norma ISO 2768;
- Rugosidades inferiores a $1.6 \mu\text{m}$.

No ponto (2) é seleccionado o nível de complexidade da peça a considerar. Para isso, deve-se recorrer à listagem apresentada no subcapítulo 3.6.1.3. Selecção do nível de complexidade da peça e cálculo final dos tempos de maquinagem.

No ponto (3) é determinado o número de apertos necessários. É importante avaliar totalmente a geometria da peça, e verificar quais os pormenores a maquinar, e como serão maquinados. Sem esta informação, não é possível determinar o número necessário de apertos.

No ponto (4) é seleccionada a opção de máquinas de cinco eixos contínuos. Esta opção é considerada para os casos de peças que cumpram os requisitos necessários (3.3.2.1. Número de fixações para fresadoras de aperto mecânico ou MECAS) ou, por opção do colaborador, caso considere a execução de uma determinada peça, mais económica nestes equipamentos. Contudo, estes tipos de máquinas tem custos associados que são mais elevados em relação aos restantes. A única forma de estipular a diferença foi adicionar esta opção de escolha.

No ponto (5), a opção deve ser seleccionada nos seguintes casos:

- Cliente fornece apenas desenhos tridimensionais;
- Cliente fornece plano técnico incompleto ou necessita de algum tipo de revisão (ajustes de tolerâncias, por exemplo. Mesmo neste caso, os desenhos tridimensionais deverão ser fornecidos.

Caso a peça pertença a algum destes casos, esta opção deverá ser considerada. Isto irá permitir que a aplicação considere os tempos para preparar o plano técnico, seguindo as regras descritas em 3.6.1.2 Estimativa de tempos de preparação e finalização.

No ponto (6) a opção deve ser seleccionada caso não seja fornecido pelo cliente desenho tridimensional. Como foi referido em 3.6.1.2 Estimativa de tempos de preparação e finalização, nestes casos é necessário fazer o desenho tridimensional e o respectivo plano técnico para a sua aprovação. A esta opção não pertencem os casos de peças amostra, pois estes casos necessitam de maior tempo para avaliação da mesma e sua medição, sendo necessária uma avaliação técnica por parte do departamento técnico/orçamentação.

O ponto (7) serve para que o colaborador possa tomar a decisão de considerar tempo de cavidades em função da área que o conjunto das cavidades representa na peça. Em função da observação da peça, o colaborador deve estimar de uma forma aproximada, qual é a área a maquinar por intermédio de operações de fresagem periférica. As opções são:

- $\frac{1}{4}$ da área da peça (25%);
- $\frac{1}{2}$ da área da peça (50%);
- $\frac{3}{4}$ da área da peça (75%);

Isto irá multiplicar o tempo da cavidade calculada pelo método explicado no subcapítulo 3.6.1.3. Selecção do nível da peça e cálculo final dos tempos de maquinagem, por 1, 2 e 3 respectivamente.

Comentários Técnicos

Nesta parte, são considerados os comentários que possam ser necessários indicar ao cliente. Nesta tabela são considerados as observações mais comuns (Tabela 30).

Tabela 30: Tabela de inserção de dados relativos a “Comentários Técnicos”

Comentários Técnicos		Limpar	
	Tolerâncias gerais ISO 2768 mK (1)	sim	Não
	Pedir desenhos 2D? (2)	sim	Não
	Pedir desenhos 3D? (3)	sim	Não
Outros comentários (4)			

O ponto (1) é considerado em casos onde não existe especificação de tolerâncias gerais, ou em casos onde é necessário algum tipo de revisão, caso não seja compatível ou aconselhável no fabrico da peça (Exemplo: tolerâncias demasiado apertadas para o tipo de peça, alteração para uma tolerância menos rigorosa para redução dos custos de maquinagem, entre outros). No ponto (2) e ponto (3) servem para colocar um comentário com um pedido de desenhos técnicos ou tridimensionais que posteriormente serão colocados na proposta a enviar ao cliente. O ponto (4) serve para colocar outros tipos de comentários que possam ser necessários (pedido de alteração de algum pormenor, ajustes de tolerâncias, entre outros). Associado a todos os botões, foi considerada uma tabela lateral com a finalidade de identificar as opções seleccionadas (Figura 80). Isto permite ao colaborador verificar se a opção está activa (destacado a vermelho) e, em alguns casos, verificar o valor seleccionado (exemplo: número de apertos).

Estratégia:		Limpar							
	Peça com rigor? (1)	sim			Não				
3	Nível da peça? (2)	1	2	3	4	5	6	7	8
3	Número de apertos? (3)	2	3	4	5	6			

Figura 80: Exemplificação da tabela lateral de sinalização de opções seleccionadas

No final, será apresentado o resultado do orçamento, num documento idêntico ao utilizado no software PHC Enterprise (Figura 81).

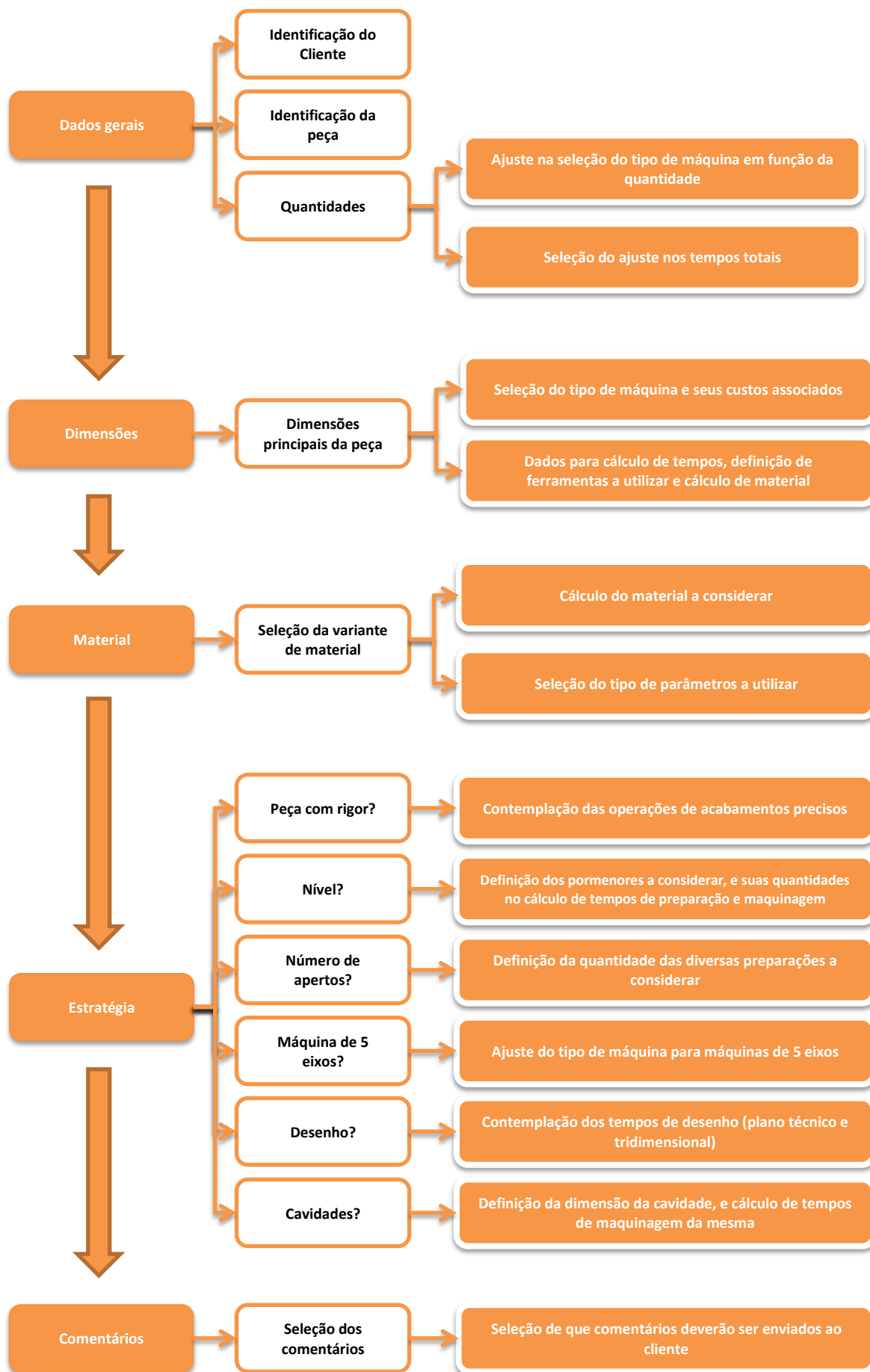


Figura 82: Resumo do funcionamento da aplicação para fresadoras de aperto mecânico

3.6.1.7. Validação da aplicação de fresadoras de aperto mecânico em casos práticos

Nas seguintes tabelas serão apresentados os resultados do orçamento de algumas peças que foram fabricadas na TECNOLANEMA. Em alguns casos, trata-se de peças já fabricadas algumas vezes, sendo que os tempos de preparação reais poderão ser inferiores aos previstos pela aplicação. Como foi referido no subcapítulo 3.1. Objectivo do trabalho, o resultado final deverá garantir que os tempos estimados fiquem iguais ou superiores aos tempos reais nomeadamente no que toca a tempos de maquinagem propriamente dita. Sempre que houver um desvio considerável, haverá uma observação para justificação do mesmo. No Anexo I encontram-se os diversos exemplos considerados. No Anexo II encontram-se os planos técnicos, bem como uma imagem a comprovar os relatórios retirados a partir do *software PHC Enterprise*.

3.6.1.8. Análise dos resultados da aplicação para fresadoras de aperto mecânico

Analisando os exemplos apresentados no subcapítulo anterior, pode-se concluir que a aplicação apresenta resultados positivos, tendo em conta que os desvios apresentados podem ser considerados reduzidos, comparando com os dados que são fornecidos à aplicação.

De uma forma resumida, na Tabela 31 são apresentados os principais desvios, e a média dos mesmos.

Tabela 31: Desvios globais entre tempos reais e previstos pela aplicação de fresadoras de aperto mecânico

DESVIOS GLOBAIS					
Peça	CAD	CAM	SETUP	Execução	Acabamentos
Nível 1 (peça 1)	0%	29%	14%	4%	89%
Nível 1 (peça 2)	0%	100%	-34%	23%	-32%
Nível 1 (peça 3)	0%	8%	1%	6%	-80%
Nível 2	0%	35%	25%	10%	-232%
Nível 3	26%	64%	-86%	29%	-4%
Nível 4	29%	77%	25%	2%	64%
Nível 5	0%	-8%	-32%	7%	-346%
Nível 6	40%	-5%	32%	28%	-122%
Nível 7	0%	42%	-55%	27%	-31%
Nível 8	54%	37%	38%	2%	-12%
Média	15%	38%	-7%	14%	-71%

Os resultados apresentados são um resumo das principais etapas a considerar no orçamento de cada peça. Todos os valores apresentados são o resultado de uma única medição, pois estas peças apenas foram maquinadas uma vez na TECNOLANEMA até à data do dia doze de Outubro de 2015. A justificação para os principais desvios encontra-se descrita em cada tabela no anexo I. Embora sejam medições únicas, o que em alguns casos não é de todo aconselhável, neste caso em especial tornou-se útil, pois permitiu uma rápida identificação das causas dos principais desvios, o que poderia não ser possível no caso de os dados poderem ser obtidos a partir de uma série de resultados, pois a média dos resultados poderia “disfarçar” essas causas. Assim, foi possível intervir imediatamente na aplicação, descobrir as causas e, encontrar soluções para evitar esses desvios de uma forma mais pormenorizada. No entanto, nem todos os desvios foram eliminados pois é necessário que as alterações que foram realizadas não interfiram negativamente noutros casos, por isso foi necessário encontrar um equilíbrio.

Do ponto de vista estratégico para a TECNOLANEMA as etapas de preparação, nomeadamente, CAD e CAM, caso apresentem algum prejuízo na encomenda inicial, mesmo que seja reduzido, poderá ser possível, que no futuro, esse valor seja recuperado em próximas encomendas, visto que todos os dados destas etapas são guardados, o que leva a que não seja necessário novos desenhos ou programações, pois estas já se encontram disponíveis desde a encomenda inicial. Sendo assim, esses desvios acabam por ser aceitáveis.

Seguidamente será feita uma análise geral dos resultados obtidos.

No que se trata dos desvios relativos às etapas de preparação, alguns deles devem-se principalmente à fabricação de outras peças semelhantes na mesma encomenda. Isto permite rentabilizar as preparações entre as peças, sendo necessários apenas alguns dos ajustes. No entanto, em alguns casos pode acontecer o contrário, no caso da peça anteriormente feita na mesma máquina, necessitar de uma preparação mais demorada e que obrigue a vários ajustes (reformular posição de ferramentas, remoção de ferramentas habituais, mordentes, entre outros). Isto leva a que na próxima maquinagem, seja necessário remover tais preparações e restabelecer novamente os parâmetros típicos. Este problema, em alguns casos, acontece também na orçamentação manual. Nem sempre é possível prever todos os pontos com uma certeza absoluta. De qualquer forma, o custo deste tipo de operações é reduzido e os desvios que possam apresentar não têm um peso significativo no custo da peça.

Em relação aos tempos de acabamento, a aplicação pode apresenta desvios, sendo o tipo de operação com maior valor. No entanto, é difícil estimar com maior certeza estes tempos. Como se pode ver em alguns dos exemplos, existem casos onde a peça sai limpa de máquina, pois as arestas a limpar são acessíveis à ferramenta. No entanto, existem casos onde tal acesso não é possível, logo, poderá ser necessário mais tempo de acabamento do que o determinado pela aplicação. É um ponto importante, mas, devido ao custo deste tipo de operação ser reduzido, estes desvios acabam por ser aceitáveis. Além disso, o valor em tempo real acaba por não ser bastante elevado (média de 6.66 min/exemplo), e a diferença em relação ao calculado pela aplicação é aproximadamente 1,39 min (Tabela 32).

Tabela 32: Principais desvios relativos à operação de acabamentos

DESVIOS DA OPERAÇÃO DE ACABAMENTO				
Peça	Acabamento previsto (min)	Acabamento real (min)	Desvio (min)	Desvio percentual
Nível 1 (peça 1)	9,12	1,03	8,09	89%
Nível 1 (peça 2)	7,55	10	-2,45	-32%
Nível 1 (peça 3)	1,11	2	-0,89	-80%
Nível 2	2,41	8	-5,59	-232%
Nível 3	5,11	5,3	-0,19	-4%
Nível 4	6,09	10	-3,91	64%
Nível 5	1,12	5	-3,88	-346%
Nível 6	3,16	3,3	-0,14	-122%
Nível 7	15,24	20	-4,76	-31%
Nível 8	1,79	2	-0,21	-12%
Média	5,27	6,66	-1,39	-71%

É importante referir que todos os tempos reais são “picados” pelo colaborador no início e fim de cada etapa de fabrico. Esta picagem tem sempre erro associado, seja pela interrupção tardia da operação, ou simples esquecimento de dar início à operação. Em alguns casos apresentados pode-se constatar que alguns dos tempos estão desfasados, provavelmente devido à problemática referida.

Olhando para os tempos de maquinagem, os resultados são bastante positivos. A sua aproximação apresenta um desvio reduzido, permitindo obter valores de custo de fabrico muito próximos aos casos reais apresentados (Tabela 33). Em média, o desvio apresentado é de 14%, o que se pode considerar um valor bastante positivo. Desde que seja feito correctamente o enquadramento no nível da peça e a determinação dos respectivos apertos necessários, a fórmula de cálculo irá garantir a aproximação aos tempos reais.

Outro ponto a salientar, é a importância, neste caso, de todos os desvios serem positivos, o que era uma das principais premissas para o desenvolvimento da aplicação.

Tabela 33: Principais desvios relativos à operação de Execução

DESVIOS GLOBAIS DA OPERAÇÃO DE EXECUÇÃO				
Peça	Execução prevista (min)	Execução real (min)	Desvio (min)	Desvio percentual
Nível 1 (peça 1)	56,59	54,2	2,39	4%
Nível 1 (peça 2)	70,78	54,2	16,58	23%
Nível 1 (peça 3)	15,32	14,38	0,94	6%
Nível 2	36,95	33,11	3,84	10%
Nível 3	38,5	27,42	11,08	29%
Nível 4	63,79	62,69	1,10	2%
Nível 5	24,52	22,83	1,69	7%
Nível 6	41,23	29,73	11,50	28%
Nível 7	263,5	193,16	70,34	27%
Nível 8	25,42	24,84	0,58	2%
Média	63,66	51,66	12,00	14%

De uma forma resumida, para a tipologia de peças maquinadas na TECNOLANEMA nas fresadoras de aperto mecânico, os resultados apresentados permitem concluir que a aplicação desenvolvida permite obter resultados positivos e fiáveis, cumprindo os pressupostos pré-estabelecidos. A margem que é aplicada nos valores calculados permite que o valor final absorva possíveis operações que não sejam contempladas na aplicação. Olhando também à interface da aplicação, pode-se verificar que a sua interpretação é simples e rápida. Não é necessária uma inserção de muitos dados, o que é importante, e o enquadramento da peça nos diversos níveis não é complexo, pois só é necessário ter em consideração o tipo de pormenores a maquinar.

De qualquer forma, a aplicação pode apresentar alguns problemas. Como se pode ver pela tipologia de peças apresentadas nos diversos exemplos, e pela descrição de cada nível, peças com elevada complexidade, ou inúmeras operações de maquinagem, não devem ser consideradas neste programa, pois poderá correr-se o risco da aplicação não estimar correctamente os tempos, já que não tem a capacidade de calcular outros tipos de operações. No início do desenvolvimento, foram feitos alguns programas que permitiam uma estimativa de tempos mais incremental, em função do nível, o que permitia enquadrar este tipo de peças em níveis superiores, mas isto causava inúmeros problemas para peças mais simples, as quais são as mais presentes nos inúmeros orçamentos solicitados à TECNOLANEMA. Por isso, optou-se pela solução descrita ao longo dos subcapítulos anteriores, pois foi a solução que apresentou resultados mais positivos e mais próximos à realidade na TECNOLANEMA.

3.6.2. Aplicação para fresadoras de aperto por Vácuo (MECAS)

Antes de iniciar o desenvolvimento da aplicação específica para as MECAS, houve uma análise do tipo de peças que poderiam ser maquinadas nestas máquinas, e verificar se o tipo de programa definido para as fresadoras de aperto mecânico seria compatível, e conseguiria obter o mesmo nível de resultados.

Olhando para o tipo de peças maquinadas nas fresadoras de aperto mecânico e suas dimensões máximas, pode-se verificar que estas não são de grandes dimensões, o que permite à aplicação calcular os tempos de maquinagem com boa precisão, pois mesmo sendo aplicada uma margem aos tempos calculados, como estes não serão demasiado elevados, essa margem não irá inflacionar em demasia os tempos.

Um dos cálculos apresentados na solução para as fresadoras de aperto mecânico que é dos mais importantes, nomeadamente o cálculo de tempos de fresagem de topo para maquinagem de cavidades, no caso das MECAS haveria um enorme risco deste cálculo não ser suficiente. Além das peças possuírem normalmente um volume a maquinar superior, as cavidades podem ser mais frequentes o que tornaria o método de cálculo insuficiente e provavelmente levaria a um cálculo errado em relação aos tempos reais. Além destas questões, alguns tipos de cavidades não necessitam de um desbaste de todo o material. Estas máquinas apresentam uma enorme vantagem em cavidades com alguma dimensão, onde a sua profundidade é igual à espessura, nas quais é possível “recortar” o material excedente, e deixar apenas uma película de alguns décimos para segurar o mesmo e não causar a perda e vácuo. Estas situações poderiam ser complicadas de diferenciar no método de cálculo utilizado para as fresadoras de aperto mecânico, e haveria o risco da aplicação estimar tempos para o desbaste total da cavidade, o que iria influenciar em demasia os tempos de maquinagem da peça.

Outro cálculo seria o correspondente às furações. Sabendo o tipo de peças maquinadas neste tipo de máquinas, é comum que estas possam apresentar um elevado número de furações diversificadas, as quais podem necessitar de operações complementares (roscagem ou mandrilamento), o que torna o enquadramento de todos os casos, num só tipo ou cálculo a efectuar.

Olhemos ao seguinte exemplo de uma peça típica para este tipo de máquinas (Figura 83):

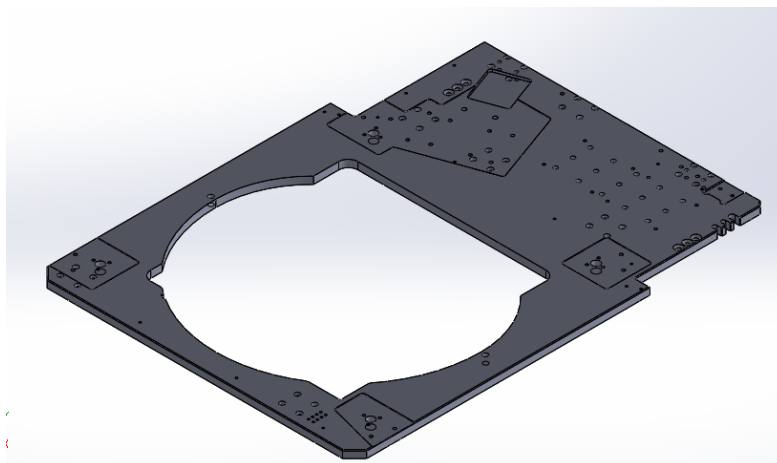


Figura 83: Exemplo de peça maquinada nas MECAS

Como se pode ver neste exemplo, existem alguns dos casos descritos anteriormente. Por exemplo, na mesma peça é possível conter cavidades que atravessam a totalidade da espessura final da peça, e outras não. O método de fresagem utilizada para ambos os casos seria completamente diferente.

Sabendo destes possíveis casos, foi realizado um estudo de uma solução mais completa e que permitisse uma maior aproximação aos tempos reais, e que pudesse englobar uma maior diversidade de casos. Para isso, esta nova metodologia irá exigir maior número de dados a inserir, da forma a englobar os casos anteriormente referenciados.

A forma como a aplicação irá funcionar será descrita nos subcapítulos seguintes.

3.6.2.1 Cálculos de tempo de maquinagem dos principais tipos de operações para MECAS

Para este programa, o cálculo dos tempos de maquinagem será feito de forma idêntica ao cálculo para as fresadoras de aperto mecânico. No entanto, existirão alguns ajustes, pois a maquinagem, em alguns pontos, segue procedimentos diferentes, devido ao tipo de máquina e tipo de peças.

Da mesma forma que na aplicação anterior, é essencial saber quais as trajectórias que a ferramenta necessita de percorrer até concluir a operação, bem como os parâmetros que

utiliza. A forma de seleção da ferramenta e o tipo de parâmetros a utilizar segue os mesmos pressupostos utilizados na aplicação anterior.

No que toca a tipo de operações mais utilizadas nestas máquinas, as que serão tidas em conta neste desenvolvimento serão as seguintes:

- Fresagem periférica;
- Fresagem facial (facejamento);
- Fresagem de topo;
- Furação;
- Roscagem ou mandrilamento.

De uma forma geral, as fórmulas de cálculo utilizadas neste programa, serão as mesmas. Em alguns casos, nomeadamente na fresagem de topo e nas furações, o cálculo será um pouco mais complexo, pois serão necessários vários ajustes em função do tipo de pormenor a maquinar.

Fresagem periférica

Neste tipo de operação, o cálculo será idêntico. Os mesmos princípios de determinação de trajectórias de desbaste e acabamento serão iguais. A maior diferença que irá apresentar será nos parâmetros de maquinagem. Neste caso, na etapa de desbaste, a fresagem periférica acaba por ser uma fresagem de topo, pois a ferramenta necessita de “mergulhar” a totalidade do seu diâmetro, para abrir um rasgo em volta da peça, permitindo a aproximação final ao contorno exterior da peça a maquinar. Em relação aos ajustes de ferramenta a utilizar, a escolha da ferramenta seguirá a Tabela 34).

Tabela 34: Tabela de selecção de fresas para fresagem periférica

Fresa para fresagem periférica	
Espessura (mm)	Ø Fresa (mm)
Espessura ≤ 3 mm	4
3 mm < Espessura < 8 mm	5
8 mm ≤ Espessura < 10 mm	8
10 mm ≤ Espessura < 35 mm	12
35 mm ≤ Espessura < 65 mm	16

Em função da espessura a maquinar, a aplicação compara esse valor com a tabela acima, e selecciona a ferramenta mais adequada. A aplicação ficará limitada a uma espessura de 65 mm. Espessuras superiores a este valor exigem maior cuidado de análise, devido ao curso limitado do eixo “Z” deste tipo de máquina. Não é só a espessura que afecta, mas também a altura de ferramenta necessária.

Em relação aos parâmetros de maquinagem, a sua selecção seguirá o mesmo princípio das fresadoras de aperto mecânico. O avanço também será ajustado da mesma forma que na aplicação anterior (Tabela 18).

Fresagem facial ou facejamento

Para o caso da fresagem facial, o cálculo dos tempos irá basear-se nas medidas do aproveitamento do material. Esta operação só será considerada caso o colaborador a considere. Em muitos casos, as peças são fabricadas sem facejamento (por ordem ou consentimento do cliente) reduzindo o consumo de material e tempos de maquinagem.

Em relação aos cálculos dos tempos de facejamento, os mesmos princípios da aplicação anterior serão seguidos, para determinação de trajectórias e tempos de desbaste e acabamento.

Fresagem de topo

No caso da fresagem de topo, a estratégia será idêntica, seguindo o mesmo princípio de determinação do diâmetro da ferramenta a utilizar. A listagem das ferramentas utilizadas para estas operações são as mesmas que para o caso das fresadoras de aperto mecânico (Tabela 15).

Para o cálculo da trajectória, mantém-se o mesmo valor de incremento radial (40% do diâmetro da ferramenta), recorrendo também a uma tabela para cálculo da trajectória total.

Também será considerada uma passagem de acabamento para redução do raio nos cantos internos das cavidades. A forma como é seleccionada segue o mesmo princípio, recorrendo à Tabela 18.

Como se pode ver, o princípio utilizado é praticamente o mesmo. No entanto, sofrerá alguns ajustes em função das vantagens desta tipologia de máquinas. A principal é a capacidade de apenas recortar o núcleo das cavidades, evitando o desbaste da totalidade da mesma.

Este caso acontece quando obedece às seguintes condições:

$$Profundidade_{cavidade} = Espessura_{material}$$

$$Largura_{cavidade} \geq 50 \text{ mm}$$

Esta última condição é um limite para cavidades que possam ser demasiado pequenas. Se o “miolo” não for suficientemente grande, existe o risco de este perder estabilidade por não permitir uma boa área de sucção. Durante a maquinagem, devido à película que fica no fundo da cavidade ser frágil para posterior remoção, se a ferramenta entrar em contacto com o núcleo, existe o risco de o mesmo se soltar, podendo danificar a peça, pois tem uma perda de sucção dando maior liberdade ao material para se mover, ou mesmo danificar a ferramenta/máquina.

Se as duas condições forem cumpridas, a seleção da ferramenta irá considerar a menor ferramenta entre o valor da ferramenta de acabamento ou a ferramenta já seleccionada para o contorno exterior da peça. Neste caso, o cálculo será efectuado apenas para o contorno da cavidade (Figura 84).

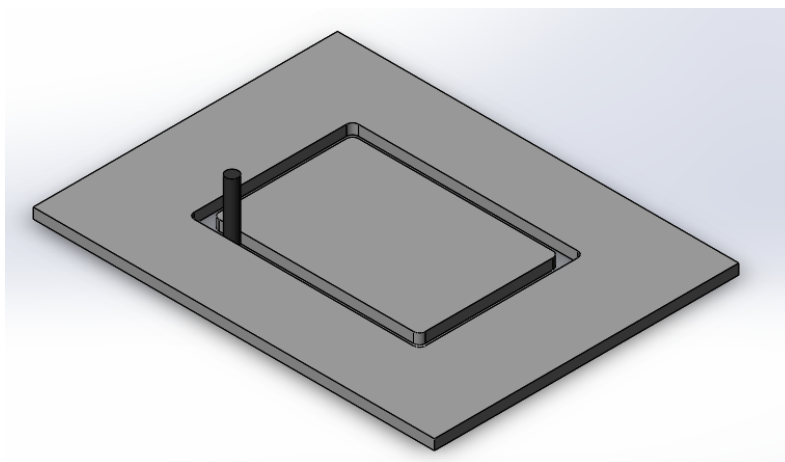


Figura 84: Exemplo de um contorno de uma cavidade sem desbaste da totalidade do material excedente

Furação

Para o caso da furação, os cálculos serão bastante mais elaborados. Como foi já referido no início da descrição do desenvolvimento da aplicação para as MECAS, o número de furações e tipologias de furos a executar apresenta alguma diversidade.

Neste programa serão calculados os seguintes tipos de furos:

- Furação simples até $\varnothing 13,5$ mm;
- Furação roscada na máquina (até M10);
- Furação com roscagem semiautomática (ROSCAMAT);
- Furação mandrilada na máquina (até $\varnothing 12$ mm) com profundidade inferior à espessura da peça;
- Furação mandrilada na máquina (até $\varnothing 12$ mm) com profundidade igual à espessura da peça;
- Furação com caixa para parafuso.

Neste tipo de máquinas, existe uma grande desvantagem em relação às furações. Como o material de base possui normalmente uma espessura próxima da espessura final da peça, ao executar uma furação vazada, existe o risco das diversas ferramentas atingirem a mesa da máquina, o que não é viável. Por isso, em alguns casos, é necessário recorrer a operações posteriores de acabamento para finalizar as furações.

No entanto, nem todas as furações são vazadas, por isso, convém existir uma distinção entre os diversos tipos de furos, para conseguir uma maior aproximação aos tempos reais, e para que operações complementares que necessitem de ser feitas posteriormente (fazer roscas vazadas por exemplo), sejam contempladas no orçamento.

Para o caso da furação simples, a TECNOLANEMA possui algumas soluções, nomeadamente brocas autocentráveis. Este tipo de ferramenta, visto que não tem uma extremidade cônica como as brocas mais comuns, permite furar a peça praticamente até à profundidade final, sem danificar a mesa da máquina (Figura 85).



Figura 85: Exemplo de uma broca rasa (KENNAMETAL, 2015)

No entanto, devido a algumas limitações da máquina a este tipo de brocas, não permite a utilização de parâmetros mais ambiciosos, nomeadamente, o incremento em cada mergulho (método de “pica-pau”). Normalmente, o mergulho é de 3 mm. Sendo assim, para este caso, o número de mergulhos é calculado através da seguinte fórmula:

$$N^{\circ}_{Mergulhos} = ARRED.EXCESSO \left(\frac{Prof_{furo}}{3} \right) \quad (21)$$

Este tipo de ferramentas encontra-se limitado ao diâmetro de 13,5 mm. Caso existam furos com maior diâmetro, deverão ser calculados como se fossem cavidades. Os restantes cálculos são semelhantes ao caso das fresadoras de aperto mecânico, ajustando-se apenas à profundidade de mergulho e à profundidade total do furo, que será indicado pelo colaborador.

Para o caso de furos roscados, poderá ser roscado na máquina ou posteriormente numa máquina semiautomática. O primeiro caso acontece quando:

$$Profundidade_{furo\ roscado} \leq Espessura_{peça}$$

Neste caso, o cálculo irá determinar o tempo de furação e de roscagem na máquina. Para este tipo de furo, o incremento utilizado no método de “pica-pau” será novamente igual ao valor do diâmetro da ferramenta, pois não é necessária a utilização de brocas rasas. Para determinar o tempo de roscagem, segue o mesmo procedimento que é tido em conta na aplicação para fresadoras de aperto mecânico.

O segundo tipo de furo roscado acontece quando:

$$Profundidade_{furo\ roscado} \approx Espessura_{peça}$$

Neste caso, é necessário recorrer à roscagem fora da máquina, porque o macho, ao roscar, necessita de percorrer sempre uma distância superior ao comprimento da rosca final, para que este faça a rosca no comprimento mínimo. Isto deve-se à conicidade no final da ferramenta (Figura 86).



Figura 86: Exemplo da extremidade de um macho utilizado em fresadoras CNC (Sandvik Coromant, 2013)

Sendo assim, é preciso executar a rosca posteriormente. Para isso, a TECNOLANEMA possui máquinas semiautomáticas que permitem executar a rosca de uma forma mais simples e menos pesada para o colaborador (Figura 87).



Figura 87: Tipo de máquina auxiliar para roscagem ou mandrilamento (Tecnospiro Machine Tool, SL, 2003)

Sendo assim, será necessário calcular o tempo de furação e o tempo de roscagem a executar fora da máquina. O cálculo do furo segue o mesmo procedimento das furações simples. A roscagem será calculada da mesma forma que no caso anterior, sendo que a principal diferença será o centro de trabalho e a velocidade com que a roscagem é feita.

Para o caso dos furos mandrilados, o procedimento seguido é semelhante aos dois casos de furos roscados, pois possuem condições semelhantes. Sendo assim, os dois casos são diferenciados da seguinte forma:

- Furo mandrilado na máquina:

$$Profundidade_{furo\ mandrilado} \leq Espessura_{peça}$$

- Furo mandrilado na máquina e terminado numa máquina semiautomática:

$$Profundidade_{furo\ mandrilado} \approx Espessura_{peça}$$

O primeiro caso segue o mesmo método de cálculo do furo roscado na máquina, sofrendo apenas ajustes nos parâmetros a utilizar. Para o segundo caso, há algumas modificações. Neste caso, o mandril também precisa de percorrer uma distância superior ao comprimento total do furo mandrilado. Mas existe uma diferença pois, nos furos roscados, a rosca é feita totalmente fora, enquanto nos furos mandrilados é feito um mandrilamento do furo até à profundidade

possível, e posteriormente é terminado na máquina semiautomática. Este procedimento é necessário para que o colaborador tenha uma referência correcta para mandrilar o furo. Caso não tivesse, existia um risco de não ser mandrilado o furo na posição correcta. Este tipo de furos, normalmente, possui associado um rigor posicional apertado. Sendo assim, a aplicação irá calcular de forma idêntica ao caso anterior, mas considera também uma etapa posterior para terminar o furo.

No caso dos furos com caixa, a aplicação irá calcular os tempos de um furo normal, tal como o caso dos furos simples, mas considerado que o furo é vazado. Depois, também irá calcular o tempo para a execução da caixa. Este cálculo será semelhante ao utilizado para cavidades.

Acabamento

Para o caso de peças com pormenores com tolerância apertada, tal como no caso das fresadoras de aperto mecânico, serão consideradas passagens de acabamento até atingir o rigor pretendido. A forma como é calculado segue o mesmo procedimento. Mas neste caso, o rigor não será considerado logo para todas as operações. A forma como este acabamento é contemplado será descrita posteriormente.

3.6.2.2 Estimativa de tempos de preparação e finalização para MECAS

Tal como nas fresadoras de aperto mecânico, é necessário estimar os tempos de preparação. No caso das MECAS o procedimento será algo semelhante, mas irá contemplar com maior distinção entre os diferentes apertos. Como serão dados vários dados sobre os pormenores da peça, a aplicação irá basear o tempo no número de operações a executar (furos, cavidades, entre outros).

Sendo assim, sempre que o colaborador considere um tipo de furo, automaticamente a aplicação irá considerá-lo como um pormenor que necessitará de ser desenhado, programado ou de preparar ferramentas para o executar.

Desta forma, o cálculo será feito seguindo as operações selecionadas, e em função do tipo de pormenor, serão considerados os seguintes tempos por cada operação (Tabela 35, Tabela 36 e Tabela 37):

Tabela 35: Tempos a considerar para desenho

TEMPOS DE PREPARAÇÃO CAD		
Pormenor	CAD 2D	CAD 3D
Furos	1 min/tipo de furo	2 min/tipo de furo
Cavidades	1 min/cavidade	2 min/cavidade
Contorno	1 min	2 min

Tabela 36: Tempos a considerar para programação CNC

TEMPOS DE PREPARAÇÃO CAM	
Furos	2,5 min/tipo de furo
Cavidades	1 min/cavidade
Limpeza de peça	0,5 min/pormenor
Contorno	5 min

Tabela 37: Tempos a considerar para preparação da máquina

TEMPOS DE PREPARAÇÃO SETUP	
Furos	2,5 min/tipo de furo
Cavidades	1 min/cavidade
Limpeza de peça	1 min
Contorno	2 min

Para situações onde os tempos calculados sejam demasiado reduzidos, serão aplicadas algumas condições de forma a considerar tempos mínimos para cada etapa de preparação.

Em relação aos tempos para finalizar a peça, será algo idêntico ao utilizado na aplicação das fresadoras de aperto mecânico, mas com uma base diferente. Em todos os pormenores que sejam contabilizados, será sempre considerado tempo para limpeza da peça na máquina. Essa limpeza é feita com uma operação, onde, uma fresa de executar chanfros, irá fazer uma passagem nas arestas de cada pormenor. Esses tempos já são contabilizados nos tempos totais de maquinagem. Mas a limpeza que será considerada, irá basear-se apenas nos pormenores que, durante a sua execução, ultrapassem a espessura final da peça.

Para saber os tempos de finalização do lado oposto, a aplicação irá basear-se nesses mesmos tempos, mas irá multiplicar por um coeficiente, em função do tipo de material a utilizar:

$$T_{Acab. Plástico} = 3 \times T_{acabamento máquina} \quad (22)$$

$$T_{Acab. Alumínio} = 4,5 \times T_{acabamento máquina} \quad (23)$$

Onde:

- $T_{Acab. Plástico}$ é o tempo total de acabamentos calculado para peças em plástico;
- $T_{acabamento máquina}$ é o tempo total de acabamentos calculado para a limpeza da peça em máquina para peças em plástico;
- $T_{Acab. Alumínio}$ é o tempo total de acabamentos calculado para peças em alumínio.

Estes valores foram obtidos após vários testes, de forma a afinar os respectivos valores.

3.6.2.3. Cálculo final dos tempos de maquinagem para MECAS

Tal como foi referido, este programa será mais completo que o anteriormente desenvolvido. Contudo, exigirá um maior numero de dados para que possa calcular as diferentes operações a contabilizar na execução da peça.

Fresagem facial ou facejamento: esta operação só será contabilizada no caso do colaborador a considerar. Visto que neste tipo de máquina normalmente é considerado um aproveitamento entre peças para rentabilizar o consumo de material, o cálculo dos tempos desta operação irá basear-se nas medidas dos aproveitamentos, para maior aproximação aos tempos reais (Figura 88).

		FACEJAMENTO			
COEFICIENTE DE SEGURANÇA:	1,25	TEMPO RETALHO 1:		TEMPO RETALHO 2:	
COMPRIMENTO	80	COMPRIMENTO	875	AJ. AVANÇO:	2750
LARGURA	32	LARGURA	625	QUANTIDADE	1
ESPESSURA	6	QUANTIDADE	1	Nº PASSAGENS RADIAIS	15
MATERIAL	ALUMINIO	Nº PASSAGENS RADIAIS	15	TRJECTÓRIA DE 1 INCREMENTO:	14070
ESPESSURA COMPENSADA:	8,00	TRJECTÓRIA DE 1 INCREMENTO:	14070	TRJECTÓRIA TOTAL:	1833,33
COM RECTIFICAÇÃO?	0	TRAJECTÓRIA TOTAL:	70350	TEMPO DE FACEJAMENTO:	19,19
TEMPOS:		TEMPO DE FACEJAMENTO:	19,19	TEMPO DE ACABAMENTO:	0
FERRAMENTA	63	TEMPO DE ACABAMENTO:	0	TEMPO TOTAL:	31,69
INCREMENTO RADIAL:	44,1	TEMPO TOTAL:	31,69	TEMPO TOTAL:	0
INCREMENTO AXIAL:	1	TEMPO RETALHO 3:		TEMPO RETALHO 3:	
AVANÇO:	2750	COMPRIMENTO	0	COMPRIMENTO	0
NUMERO DE PASSAGENS AXIAIS:	5,00	LARGURA	0	LARGURA	0
TEMPO TOTAL:	0,000	QUANTIDADE	0	QUANTIDADE	0
		Nº PASSAGENS RADIAIS	0	Nº PASSAGENS RADIAIS	0
		TRJECTÓRIA DE 1 INCREMENTO:	0	TRJECTÓRIA DE 1 INCREMENTO:	0
		TRAJECTÓRIA TOTAL:	0	TRAJECTÓRIA TOTAL:	0
		TEMPO DE FACEJAMENTO:	0	TEMPO DE FACEJAMENTO:	0
		TEMPO DE ACABAMENTO:	0	TEMPO DE ACABAMENTO:	0
		TEMPO TOTAL:	0	TEMPO TOTAL:	0

Figura 88: Exemplo de cálculo para estimar tempos de facejamento dos aproveitamentos

O número de passagens será determinado com base na sobre espessura que esse material possa ter, mas considera sempre no mínimo duas passagens para que contemple o facejamento nas duas faces do material base.

Fresagem periférica: Utilizará os valores das dimensões da peça, e irá calcular os tempos da operação com base nas ferramentas e parâmetros mais indicados (Figura 89).

CONTORNO															
COEFICIENTE DE SEGURANÇA:	1,1	SELEÇÃO DE FERRAMENTA:	0	SELEÇÃO DE AVANÇO:											
COMPRIMENTO:	80		5	MATERIAL	2	3	4	5	6	8	10	12	16	20	
LARGURA:	32		0	PLÁSTICO MACIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ESPESSURA:	6		0	PLÁSTICO DURO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MATERIAL:	ALUMÍNIO MACIO		0	ALUMÍNIO MACIO	2250	2250	2500	2750	2750	2750	3000	3250	3250	3250	
PARAMETROS SELECIONADOS		0	ALUMÍNIO DURO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
INCREMENTO AXIAL:	0,75	5	2750	0	0	0	2750	0	0	0	0	0	0	0	
AVANÇO:	2750	SELEÇÃO DE INCREMENTO:		AJUSTES DE AVANÇO:											
AVANÇO AJUSTADO:	1375	PLÁSTICO MACIO	0,4	0	0										
TEMPOS:		PLÁSTICO DURO	0,3	0	0										
PERIMETRO EXTERIOR:	224	ALUMÍNIO MACIO	0,2	0,15	0										
Nº DE PASSAGENS DE DESBASTE:	8	ALUMÍNIO DURO	0,1	0	1375										
º DE PASSAGENS DE ACABAMENTO:	4			0											
TEMPO DE CONTORNO:	2,1504			1375											

Figura 89: Exemplo de cálculo utilizado para determinação dos tempos de fresagem periférica

Caso a peça possua um formato não retangular ou quadrangular, deverá existir uma aproximação às medidas reais, convertendo para um valores de comprimento e largura. Associado a este cálculo, estará também presente o cálculo do tempo de limpeza do contorno exterior da peça.

Furações: como já foi indicado, a aplicação irá ter vários tipos de cálculo para diferentes tipos de furos. Seguidamente serão descritos esses mesmos tipos de furos:

- **Furação simples (até Ø13,5 mm):** tal como na aplicação anterior, devido à pouca variação entre tempos de furação de diferentes tipos de furos, a aplicação irá calcular tempos de uma furação simples, que neste caso se manterá no valor de Ø6 mm. Os valores que serão ajustados, são a profundidade do furo, quantidade de furos e o tipo de material (Figura 90).

FURO SIMPLES 1º APERTO		1
COEF.DE SEGURANÇA:	1,1	TRAJECTÓRIA
PROFUNDIDADE:	6	2
QUANTIDADE:	2	1
FAMILIA	Alumínio	0
AVANÇO	0,15	0
BROCA	6	0
ROTAÇÃO BROCA	4000	0
AVANÇO	0,1	0
NUMERO DE MERGULHOS	3	0
TRAJECTÓRIA DA BROCA:	36	0
TEMPO DE FURAÇÃO	0,09	0
LIMPEZA	0,080	0
LIMPEZA TOTAL:	0,16	0
TEMPO TOTAL:		0
	0,374	6

Figura 90: Exemplo de cálculo utilizado para determinação dos tempos de furação simples

- **Furação roscada na máquina:** seguirá o mesmo princípio da furação anterior, e a rosca tipo considerada será a M6. Será calculado o tempo de furação e o tempo de roscagem. Os valores que serão ajustados, são a profundidade do furo, quantidade de furos e o tipo de material (Figura 91).

FURO ROSCADO MÁQUINA 1º APERTO		0
COEF.DE SEGURANÇA:	1,1	TRAJECTÓRIA
PROFUNDIDADE:	0	0
QUANTIDADE:	0	0
FAMILIA	Alumínio	0
AVANÇO	0,15	0
BROCA	6	0
ROTAÇÃO BROCA	4000	0
AVANÇO	0,1	0
NUMERO DE MERGULHOS	1	0
TRAJECTÓRIA DA BROCA:	6	0
TEMPO DE FURAÇÃO	0,015	0
ROTAÇÃO DO MACHO:	150	0
PASSO DO MACHO	0,75	0
TEMPO DE ROSCAGEM:	0,00	0
LIMPEZA	0,080	0
LIMPEZA TOTAL:	0	0
TEMPO TOTAL:		0
0,00		1

Figura 91: Exemplo de cálculo utilizado para determinação dos tempos de furação roscadas na máquina

- **Furação com roscagem semiautomática (ROSCAMAT):** seguirá o mesmo princípio da furação anterior, e a rosca tipo considerada será a M6. Será calculado o tempo de furação e o tempo de roscagem na máquina ROSCAMAT. Os valores que serão ajustados, são a quantidade de furos e o tipo de material (Figura 92).

FURO ROSCADO ACABAMENTOS 1º APERTO		0
COEF.DE SEGURANÇA:	1,1	TRAJECTÓRIA
PROFUNDIDADE:	6	2
QUANTIDADE:	0	1
FAMILIA	Alumínio	0
AVANÇO	0,15	0
BROCA	6	0
ROTAÇÃO BROCA	4000	0
AVANÇO	0,1	0
NUMERO DE MERGULHOS	3	0
TRAJECTÓRIA DA BROCA:	36	0
TEMPO DE FURAÇÃO	0,09	0
LIMPEZA	0,080	0
TEMPO TOTAL:		0
0,00		0
ROSCAMAT:		0
ROTAÇÃO DO MACHO:	100	0
PASSO DO MACHO	0,75	0
TEMPO TOTAL DE ROSCAGEM:	0,00	0
		0
LIMPEZA TOTAL:	0	6

Figura 92: Exemplo de cálculo utilizado para determinação dos tempos de furação roscada na ROSCAMAT

- **Furação mandrilada na máquina (até Ø12 mm) com profundidade inferior à espessura da peça:** seguirá o mesmo princípio dos furos roscados na máquina, e o furo-tipo considerado será Ø6 mm. Os valores que serão ajustados, são a profundidade do furo, quantidade de furos e o tipo de material (Figura 93).

FURO MANDRILADO MÁQUINA 1º APERTO		0
COEF.DE SEGURANÇA:	1,1	TRAJECTÓRIA
PROFUNDIDADE:	0	0
QUANTIDADE:	0	0
FAMILIA	Alumínio	0
AVANÇO	0,15	0
BROCA	6	0
ROTAÇÃO BROCA	4000	0
AVANÇO	0,1	0
NUMERO DE MERGULHOS	1	0
TRAJECTÓRIA DA BROCA:	6	0
TEMPO DE FURAÇÃO	0,015	0
ROTAÇÃO DO MANDRIL	500	0
AVANÇO DO MANDRIL	0,2	0
TEMPO DE MANDRILAMENTO	0,00	0
LIMPEZA	0,080	0
		0
TEMPO TOTAL:		0
0,00		0
		0
LIMPEZA TOTAL:	0	1

Figura 93: Exemplo de cálculo utilizado para determinação dos tempos de furação mandriladas na máquina

- **Furação mandrilada na máquina (até Ø12 mm) com profundidade igual à espessura da peça:** seguirá o mesmo princípio no tipo de furo anterior. Será também considerado o tempo para terminar o mandrilamento do furo na máquina ROSCAMAT. Os valores que serão ajustados, são a quantidade de furos e o tipo de material (Figura 94).

FURO MANDRILADO MÁQUINA + ACABAMENTOS 1º APERTO		0
COEF.DE SEGURANÇA:	1,2	TRAJECTÓRIA
PROFUNDIDADE:	6	2
QUANTIDADE:	0	1
FAMILIA	Alumínio	0
AVANÇO	0,15	0
BROCA	6	0
ROTAÇÃO BROCA	4000	0
AVANÇO	0,1	0
NUMERO DE MERGULHOS	3	0
TRAJECTÓRIA DA BROCA:	36	0
TEMPO DE FURAÇÃO	0,09	0
ROTAÇÃO DO MANDRIL	500	0
AVANÇO DO MANDRIL	0,2	0
TEMPO DE MANDRILAMENTO	0,12	0
LIMPEZA	0,080	0
LIMPEZA TOTAL:	0	0
TEMPO TOTAL:		0
0,00		0
		0
ROSCAMAT:		0
ROTAÇÃO DO MANDRIL	300	0
AVANÇO DO MANDRIL	0,2	0
TEMPO TOTAL DE ROSCAGEM:	0,00	6

Figura 94: Exemplo de cálculo utilizado para determinação dos tempos de furação mandrilada na ROSCAMAT

- **Furação com caixa para parafuso:** neste caso a aplicação irá ter 3 tipos de furos com caixa. As dimensões serão baseadas na norma DIN 974-1 (Fischer, et al., 2008) e considera os seguintes tipos (Figura 95):

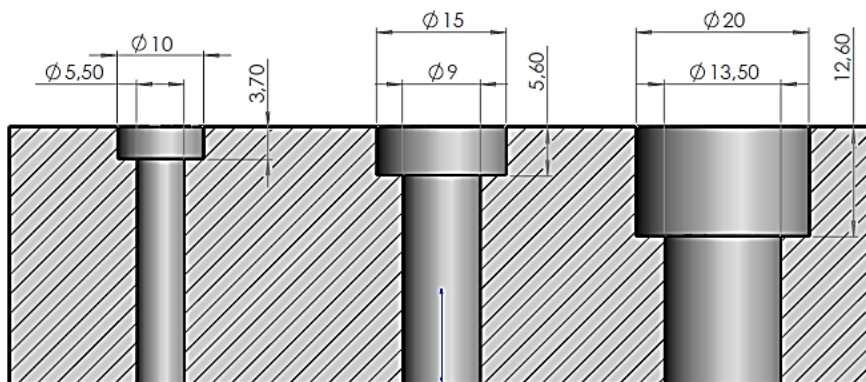


Figura 95: Tipologia de furos considerada no cálculo de tempos de furação com caixa para parafusos

Sendo assim, os furos deverão ser enquadrados nestes tipos de furos. O cálculo será feito recorrendo a três tabelas diferentes, pois as dimensões dos furos serão diferentes. Para o cálculo será considerado um furo simples, onde será calculado da mesma forma que o primeiro tipo de furo. Posteriormente, é calculado o tempo da operação de fresagem de topo da caixa para o parafuso. Os valores que serão ajustados, são a quantidade de furos e o tipo de material (Figura 96).

FURO C/ CAIXA Ø10 1º APERTO					1
FURO:			TRAJECTÓRIA DE DESBASTE:		
COEF. DE SEGURANÇA:	1,1		1	31,416	31,416
PROFUNDIDADE:	15		2	1,257	1,257
QUANTIDADE:	5		3	-13,823	0,000
FAMILIA	Alumínio		4	-28,903	0,000
AVANÇO	0,15		5	-43,982	0,000
BROCA	6		6	-59,062	0,000
ROTAÇÃO BROCA	4000		7	-74,142	0,000
AVANÇO	0,1		8	-89,221	0,000
NUMERO DE MERGULHOS	6		9	-104,301	0,000
TRAJECTÓRIA DA BROCA:	126		10	-119,381	0,000
TEMPO DE FURAÇÃO	0,315		TOTAL:		32,673
CAIXA:			SELEÇÃO DE INCREMENTO:		
PROFUNDIDADE:	4,5		PLÁSTICO MACIO	0,35	0
DIÂMETRO:	10		PLÁSTICO DURO	0,3	0
FRESA:	6		ALUMÍNIO MACIO	0,2	0,2
AVANÇO:	833,3333		ALUMÍNIO DURO	0,15	0
INCREMENTO:	1,2				0,2
Nº PASSAGENS DE DESBASTE:	4				
TRAJECTÓRIA TOTAL:	130,6903				
TEMPO DE CAIXA:	0,156828				
	LIMPEZA TOTAL:				
LIMPEZA	0,080	0,4			
TOTAL:	3,035056				

Figura 96: Exemplo de cálculo utilizado para determinação dos tempos de furação com caixa de Ø10 mm

3.6.2.4. Seleção do tipo de máquina para MECAS

Na tipologia de máquinas MECAS existem capacidades semelhantes, variando o custo em função do seu valor. As principais máquinas a ter em conta neste processo são as seguintes (Tabela 38):

Tabela 38: Principais máquinas a ter em conta para programa das MECAS

Máquinas TECNOLANEMA	
Máquina:	Volume máximo da peça:
MECA 3015 (MECA PRO)	3000x1450x8 mm ³
MECA 4121	3000x2000x65 mm ³
MECA SIEMENS	3000x2000x65 mm ³

A primeira máquina, é a que apresenta menores capacidades e estrutura mais frágil. Tendo em conta isto, as peças selecionadas para este tipo de máquina terão as seguintes condições:

$$Espessura_{peça} \leq 8 \text{ mm}$$

$$Largura_{peça} \leq 1450 \text{ mm}$$

Sem facejamento

Nas restantes, a única diferença será o tipo de material. Caso seja plástico, a máquina selecionada será a MECA 4121 e, caso seja alumínio, a máquina selecionada será a MECA SIEMENS. Caso sejam ultrapassados os limites impostos, a aplicação irá colocar um aviso a informar que a peça está fora dos limites (Figura 98).

Dimensões:		
comprimento [mm]:	3050	PEÇA ULTRAPASSA LIMITES DAS MÁQUINAS! REVER PROCESSO COM DEPARTAMENTO TÉCNICO
Largura [mm]:	2050	PEÇA ULTRAPASSA LIMITES DAS MÁQUINAS! REVER PROCESSO COM DEPARTAMENTO TÉCNICO
Altura [mm]:	80	PEÇA ULTRAPASSA LIMITES DAS MÁQUINAS! REVER PROCESSO COM DEPARTAMENTO TÉCNICO

Figura 98: Alertas da aplicação, caso as medidas ultrapassem os limites das máquinas MECAS

Esta é a fórmula para seleção da máquina para o primeiro aperto. Quando se trata de um segundo aperto, a seleção segue parâmetros bem diferentes.

Devido às características das máquinas, nomeadamente a forma como se pode fazer o “zero peça” no segundo aperto, as MECAS SIEMENS possuem um sistema de apalpação (Figura 99), o qual permite alinhar a peça sem dificuldades, ao contrário do caso do sistema de comparação,

que necessita de maior tempo de preparação e aumenta o risco de erros de alinhamento. Posto isto, a MECA 3015 ou MECA 4121 não serão consideradas para o caso de peças que necessitem de segundos apertos nas MECAS.



Figura 99: Sistema de apalpação utilizado na TECNOLANEMA (RENISHAW OMP60) (Renishaw plc, 2008)

No entanto, os segundos apertos podem também ser realizados em máquinas do tipo de fresadoras de aperto mecânico, caso o formato da peça o permita. Nesta aplicação, a máquina de cinco eixos não será considerada. A forma como irá selecionar a máquina, seguirá as mesmas condições das fresadoras de aperto mecânico (Tabela 25).

Além deste aperto, a aplicação irá disponibilizar a opção para apertos auxiliares, para quando existem pormenores a ser maquinados que não são possíveis de executar nas MECAS, ou que convêm ser executados nas fresadoras de aperto mecânico. Esta hipótese é comum surgir quando a peça necessita de furações laterais. Quando se trata de furações laterais em chapas com alguma dimensão, a TECNOLANEMA dispõe de uma fresadora CNC horizontal, a qual se adequa a estas situações – HAAS ES-5-4T. Tendo em conta esta opção, existem duas opções em relação aos apertos auxiliares – sem furação lateral ou com furação lateral.

Na primeira opção, a seleção da máquina seguirá o mesmo princípio das fresadoras de aperto mecânico, excluída a opção de fresadoras de cinco eixos. Na segunda opção, a aplicação irá determinar qual a opção mais adequada para a execução de pormenores laterais. Embora a fresadora horizontal seja uma boa solução, a sua preparação normalmente é demorada. Quando se trata de peças com dimensões reduzidas, as fresadoras verticais podem ser uma alternativa mais viável. Sendo assim, a opção da fresadora horizontal só será selecionada no caso de cumprir os seguintes requisitos:

$$Largura_{peça} \geq 120 \text{ mm}$$

$$Comprimento_{peça} \leq 800 \text{ mm}$$

As restantes máquinas serão selecionadas de forma idêntica às fresadoras de aperto mecânico, mas a verificação dos limites será um pouco diferente. O comprimento será igual, mas a espessura para este caso passa a ser a largura, pois para permitir o acesso da ferramenta a estes pormenores, a peça terá que ser fixa no sistema de aperto, conforme o exemplo apresentado na Figura 100:

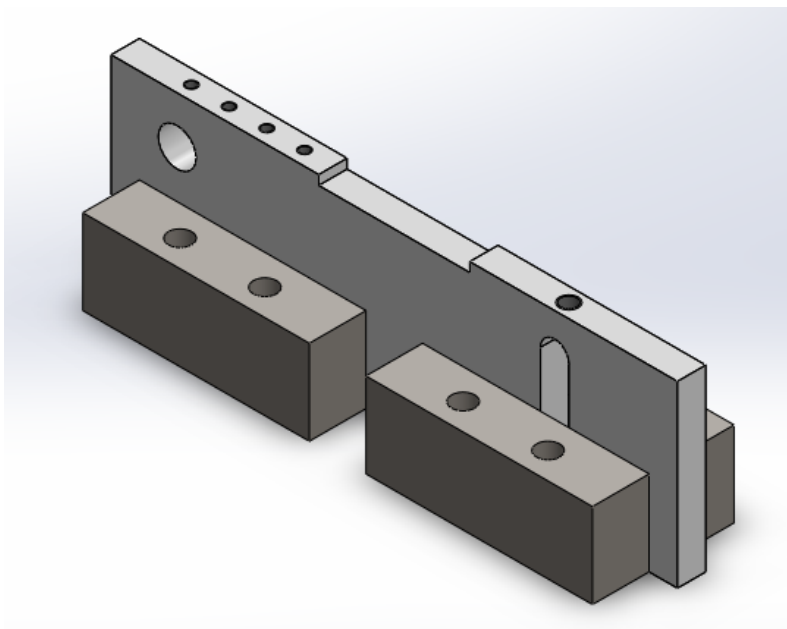


Figura 100: Exemplo de fixação de peça para execução de furos laterais em fresadoras de aperto mecânico

Caso a seleção não encontre uma máquina disponível, a aplicação irá novamente colocar um aviso de forma a alertar o colaborador (Figura 101).

Aperto auxiliar 1?						sim	Não	PEÇA ULTRAPASSA LIMITES DAS MÁQUINAS! REVER PROCESSO COM DEPARTAMENTO TÉCNICO
Furações:								
Furação lateral?						sim	Não	
Furações roscadas na máquina (até M8)?	sim	Não	Profundidade?		Quantidade?			
Furação H7 na Máquina (até Ø12 mm)?	sim	Não	Profundidade?		Quantidade?			
Furação c/ caixa para parafuso (até Ø 10)?	sim	Não	Profundidade?		Quantidade?			
Furação c/ caixa para parafuso (até Ø 15)?	sim	Não	Profundidade?		Quantidade?			
Furação c/ caixa para parafuso (até Ø 26)?	sim	Não	Profundidade?		Quantidade?			

Figura 101: Alerta da aplicação, caso as medidas ultrapassem os limites das máquinas para apertos auxiliares

3.6.2.5. Cálculo do material para MECAS

Para o caso das MECAS, o cálculo de material não será feito de forma automática, devido à possibilidade de aproveitamento entre peças. No caso de estas terem formato regular, seria possível calcular, mas, no caso de ter formatos que permita “encaixar” as peças entre si, o cálculo não seria fiável.

Por isso, o retalho a considerar terá que ser calculado pelo colaborador. No entanto, a aplicação irá dar uma informação importante, que é o espaçamento mínimo entre peças. Esse espaçamento será baseado no valor da ferramenta considerada para fazer o contorno exterior da peça:

$$Esp_{\text{entre peças}} = \varnothing_{\text{ferramenta}_{\text{contorno}}} + 1 \quad (23)$$

Onde:

- $Esp_{\text{entre peças}}$ é o espaçamento a considerar entre peças (mm);
- $\varnothing_{\text{ferramenta}_{\text{contorno}}}$ é a ferramenta selecionada para a operação de contorno (mm).

Esta informação será indicada junto da tabela de preenchimento de dados relativos ao material (Figura 102):

Material:			
Designação:	TIVAR TECH PLATE 8 MM 1220X3050		
tol. Fábrica (mm):	+0,0/+0,4		
massa volúmica (Kg/m ³):	1		Ver materiais
espessura (mm):	8,00		
família:	PLÁSTICO MACIO	Espaçamento entre peças:	Stock (05-02-15)
Preço (€/Kg):		6	100,04

Figura 102: Valor mínimo de espaçamento entre peças a considerar (destacado a vermelho)

Quando se trata de retalhos com dimensões consideráveis, o valor mais importante a ter em conta é o espaçamento. Além deste valor, é importante considerar uma sobreespessura nas extremidades do retalho. O mínimo a considerar é 5 mm por banda, e considerar outros 5 mm para o corte do retalho, caso seja necessário.

Mas, quando se trata de aproveitamentos com dimensões reduzidas, existem algumas medidas mínimas para que a peça ou peças, sejam executadas com segurança e não hajam dificuldades na sua execução. Para isso, na TECNOLANEMA existe uma norma com algumas

especificações para estas situações. A norma a considerar é a 14.01.29 - *Pedido de retalhos para Mecas*:

Dimensões mínimas dos retalhos com espessura inferior ou igual a 20 mm:

- **120x335 mm² ou superiores** (Exemplo: no caso da peça ter 120 mm de largura, então o mínimo terá que ser 160 mm).

Dimensões mínimas dos retalhos com espessura superior a 20 mm:

- **160x335 mm² ou superiores** (porque espessuras maiores resultam em maiores esforços na máquina).

Sempre que a placa tiver menos que 400x400 mm², tem que se pedir sempre 20 mm a mais por banda, para a fresa poder passar sem romper lateralmente (Ex: para uma peça com 350x350 mm², temos que pedir pelo menos 390x390 mm²).

Retalho com rectificação dos dois lados:

- Mesmo nos casos em que peça gaste menos que 120x335 mm², mas tem que se pedir medidas exactas porque vai rectificar a primeira face e virar, **as dimensões mínimas nunca deverão ser abaixo de 120x335 mm²** (ao orçamentar, deverão ter estas dimensões mínimas em consideração, pois o restante material que sobrar é “lixo” para a LANEMA, uma vez que já foi rectificado).

3.6.2.6. Inserção e análise de dados para MECAS

Para que a aplicação faça o cálculo, será necessário inserir alguns dados. O programa tem nove tipos de dados a preencher:

- Dados principais;
- Material;
- Dimensões;
- Material a considerar;
- Estratégia de maquinagem global;

- Estratégia do primeiro aperto;
- Estratégia do segundo aperto;
- Estratégia de apertos auxiliares;
- Comentários Técnicos.

DADOS MECAS				
Dados gerais:				
CLIENTE:	STREAK - Engenharia em Automação, Lda.			
nome da peça:	MESA PRINCIPAL PLº 14082AL-AS01-001			
PROJECTO	POLY201500085	Nº DE ORÇAMENTO PHC	0	
quantidade:	156	REF. ORÇ. MANUF.	POLY201500085_001	
Material:				
Designação:	TIVAR TECH PLATE 8 MM 1220X3050			
tol. Fábrica (mm):	+0,0/+0,4			
massa volúmica (Kg/m3):	1	<input type="button" value="Ver materiais"/>		
espessura (mm):	8,00			
família:	PLÁSTICO MACIO	Espaçamento entre peças:	Stock (05-02-15)	
Preço (€/Kg):		9	100,04	
Dimensões:				
comprimento (mm):		2000		
Largura (mm):		1000		
Altura (mm):		8		
Material a considerar:				
comprimento (mm):	Largura (mm):	altura (mm):	quantidade:	Peso:
1225	520	8,00	1	5,096
0	0	8,00	0	0
		8,00		0
		8,00		0
Estratégia de Maquinação Global				
Peça com rigor?			sim	Não
Com rectificação?			sim	Não
Contemplar desenho 2D?			sim	Não
Contemplar desenho 2D e 3D?			sim	Não

Figura 103: Aspecto gráfico da aplicação para MECAS – dados principais

Estratégia 1º Aperto:							
Furações:							
Furação simples (< Ø13,5)?	sim	Não	Profundidade?		Quantidade?		
Furações roscadas na máquina (até M10)?	sim	Não	Profundidade?		Quantidade?		
furações roscadas na ROSCAMAT?	sim	Não	Quantidade?				
Furação H7 na Máquina (até Ø12 mm)?	sim	Não	Profundidade?		Quantidade?		
Furação H7 MÁQUINA + ROSCAMAT (Acabamento)?	sim	Não	Quantidade?				
Furação c/ caixa para parafuso (até Ø 10)?	sim	Não	Quantidade?				
Furação c/ caixa para parafuso (até Ø 15)?	sim	Não	Quantidade?				
Furação c/ caixa para parafuso (até Ø 26)?	sim	Não	Quantidade?				
Cavidades							
Contem caixas?						sim	Não
Comprimento:			Comprimento:				
Largura:			Largura:				
Altura:			Altura:				
Quantidade?			Quantidade?				
Com tolerância?	sim	Não	Com tolerância?	sim	Não		
Comprimento:			Comprimento:				
Largura:			Largura:				
Altura:			Altura:				
Quantidade?			Quantidade?				
Com tolerância?	sim	Não	Com tolerância?	sim	Não		
Comprimento:			Comprimento:				
Largura:			Largura:				
Altura:			Altura:				
Quantidade?			Quantidade?				
Com tolerância?	sim	Não	Com tolerância?	sim	Não		




Figura 104: Aspecto gráfico da aplicação para MECAS – primeiro aperto

Estratégia 2º Aperto:							
Apenas limpeza?					sim	Não	
Furações:							
Furação simples (< Ø13,5)?	sim	Não	Profundidade?	0	Quantidade?	0	
Furações roscadas na máquina (até M8)?	sim	Não	Profundidade?	0	Quantidade?	0	
furações roscadas na ROSCAMAT?	sim	Não	Quantidade?	0			
Furação H7 na Máquina (até Ø12 mm)?	sim	Não	Profundidade?	0	Quantidade?	0	
Furação H7 MÁQUINA + ROSCAMAT (Acabamento)?	sim	Não	Quantidade?	0			
Furação c/ caixa para parafuso (até Ø 10)?	sim	Não	Quantidade?	0			
Furação c/ caixa para parafuso (até Ø 15)?	sim	Não	Quantidade?	0			
Furação c/ caixa para parafuso (até Ø 26)?	sim	Não	Quantidade?	0			
Cavidades							
Contem caixas?						sim	Não
Comprimento:			Comprimento:				
Largura:			Largura:				
Altura:			Altura:				
Quantidade?			Quantidade?				
Com tolerância?	sim	Não	Com tolerância?	sim	Não		
Comprimento:			Comprimento:				
Largura:			Largura:				
Altura:			Altura:				
Quantidade?			Quantidade?				
Com tolerância?	sim	Não	Com tolerância?	sim	Não		
Comprimento:			Comprimento:				
Largura:			Largura:				
Altura:			Altura:				
Quantidade?			Quantidade?				
Com tolerância?	sim	Não	Com tolerância?	sim	Não		

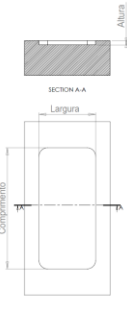


Figura 105: Aspecto gráfico da aplicação para MECAS – segundo aperto

Apertos auxiliares						
Aperto auxiliar 1?					sim	Não
Furações:						
Furação lateral?					sim	Não
Furações roscadas na máquina (até M8)?	sim	Não	Profundidade?		Quantidade?	
Furação H7 na Máquina (até Ø12 mm)?	sim	Não	Profundidade?		Quantidade?	
Furação c/ caixa para parafuso (até Ø 10)?	sim	Não	Profundidade?		Quantidade?	
Furação c/ caixa para parafuso (até Ø 15)?	sim	Não	Profundidade?		Quantidade?	
Furação c/ caixa para parafuso (até Ø 26)?	sim	Não	Profundidade?		Quantidade?	
Cavidades						
Contem caixas?					sim	Não
Comprimento:			Comprimento:			
Largura:			Largura:			
Altura:			Altura:			
Quantidade?			Quantidade?			
Com tolerância?	sim	Não	Com tolerância?	sim	Não	
Comprimento:			Comprimento:			
Largura:			Largura:			
Altura:			Altura:			
Quantidade?			Quantidade?			
Com tolerância?	sim	Não	Com tolerância?	sim	Não	




Figura 106: Aspecto gráfico da aplicação para MECAS – aperto auxiliar 1

Dados principais/ Material/ Dimensões

Nestas tabelas, os dados a preencher são os mesmos que na aplicação para fresadoras de aperto mecânico, de forma a manter o mesmo formato. Na tabela de material, apenas aparece um dado adicional já referenciado (Figura 102).

Material a considerar

Nesta tabela, deverão ser colocadas as dimensões dos aproveitamentos a considerar. A tabela dispõe de vários campos para que se possa considerar várias dimensões de aproveitamentos (Tabela 39).

Tabela 39: Tabela de inserção de dados relativos ao “Material a considerar”

Material a considerar:				
comprimento (mm): (1)	Largura (mm): (2)	altura (mm): (3)	quantidade: (4)	Peso: (5)
0	0	8,00	0	0
0	0	8,00	0	0
0	0	8,00	0	0
0	0	8,00	0	0

No campo (1), (2) e (4), o colaborador deve colocar as dimensões que na tabela e indicar a quantidade de cada a considerar. A altura (3) é facultada pela aplicação automaticamente, em função do material considerado na tabela de “Material”. O campo (5) é apenas informativo, indicando o peso total de cada tipo de aproveitamento.

Estratégia de maquinagem global

Nesta tabela, serão considerados os primeiros dados que determinarão como a peça será fabricada e alguns pontos relativos à preparação (Tabela 40).

Tabela 40: Tabela de inserção de dados relativos à “Estratégia global”

Estratégia de Maquinação Global			
	Peça com rigor? (1)	sim	Não
	Com rectificação? (2)	sim	Não
	Contemplar desenho 2D? (3)	sim	Não
	Contemplar desenho 2D e 3D? (4)	sim	Não

O ponto (1) deve ser considerado quando a peça necessita de rigor no contorno exterior e na espessura, bem como bom acabamento. Esta situação deverá ser considerada quando as características mencionadas contemplam um grau de rigor inferior aos limites considerados para peças de fresadoras de aperto mecânico. O cálculo de tempos de passagem de acabamento apenas será contemplado nestas operações. Os restantes pormenores serão considerados nessas mesmas operações por opção do colaborador. O ponto (2) serve para o facejamento da peça caso seja necessário. A aplicação irá calcular os tempos de facejamento dos aproveitamentos que sejam considerados. O ponto (3) e (4) serve para contemplar os tempos de desenho que possam ser necessários, tal como na aplicação para fresadoras de aperto mecânico. De qualquer forma, visto que algumas peças podem ter demasiados pormenores, é mais vantajoso e fiável solicitar ao cliente os desenhos tridimensionais.

Estratégia do primeiro aperto

Nesta tabela serão consideradas as diversas operações que possam estar associadas ao primeiro aperto para a execução de uma determinada peça. Esta tabela estará dividida em duas partes: a primeira está relacionada com as furações (Tabela 41) e a segunda está relacionada com as cavidades (Tabela 64).

Tabela 41: Tabela de inserção de dados relativos à “Estratégia primeiro aperto” – furações

Estratégia 1º Aperto:						
Furações:						
	Furação simples (< Ø13,5)? (1)	sim	Não	Profundidade? (9)		Quantidade? (10)
	Furações roscadas na máquina (até M10)? (2)	sim	Não	Profundidade? (9)		Quantidade? (10)
	furações roscadas na ROSCAMAT? (3)	sim	Não	Quantidade? (10)		
	Furação mandrilada na Máquina (até Ø12 mm)? (4)	sim	Não	Profundidade? (9)		Quantidade? (10)
	Furação mandrilada na Máquina + ROSCAMAT (Acabamento)? (5)	sim	Não	Quantidade? (10)		
	Furação c/ caixa para parafuso (até Ø 10)? (6)	sim	Não	Quantidade? (10)		
	Furação c/ caixa para parafuso (até Ø 15)? (7)	sim	Não	Quantidade? (10)		
	Furação c/ caixa para parafuso (até Ø 26)? (8)	sim	Não	Quantidade? (10)		

O ponto **(1)** deverá ser selecionado quanto a peça possui furação simples até $\varnothing 13,5$ mm.

O ponto **(2)** deverá ser selecionado quando existem furações roscadas a executar apenas na máquina (quando a profundidade é inferior à espessura da peça).

O ponto **(3)** deverá ser selecionado quando existem furações roscadas onde a roscagem deverá ser feita na ROSCAMAT (quando a profundidade é igual à espessura da peça).

O ponto **(4)** deverá ser selecionado quando existem furações mandriladas a executar apenas na máquina (quando a profundidade é inferior à espessura da peça).

No ponto **(5)** deverá ser selecionado quando existem furações mandriladas a executar na máquina e depois serem terminadas na ROSCAMAT (quando a profundidade é igual à espessura da peça).

Os pontos **(6)**, **(7)** e **(8)** deverão ser selecionados quando existem furações com caixa para parafuso. Em função da medida da caixa, deverá selecionar a opção que se enquadra ($\varnothing 10$, 15 ou 26 mm). Quando se trata de furações que ultrapassem as medidas especificadas, o cálculo deverá ser realizado com a junção de furação simples e uma cavidade com a medida aproximada da caixa para parafuso.

No ponto **(9)** deverá ser colocada a profundidade dos furos que necessitem desse valor, e no ponto **(10)** é indicada qual a quantidade desse tipo de furos.

Em relação às furações que possam existir numa determinada peça, o colaborador deve interpretar o desenho e agrupar as mesmas, preenchendo os diversos campos. Embora possam existir vários tipos de furos roscados, a nível de estimativa de tempos, a variação entre diferentes tipos de roscas não fará uma diferença considerável. A própria aplicação, nestes cálculos, possui um factor de segurança para absorver possíveis diferenças. Esta opção foi tomada a fim de evitar o número excessivo de dados a preencher. Como se pode ver no início deste subcapítulo, o número de dados a preencher já é em número considerável.

Tabela 42: Tabela de inserção de dados relativos à “Estratégia primeiro aperto” – cavidades

Cavidades						
Contem caixas? (1)				sim	Não	
Comprimento: (2)				Comprimento: (2)		
Largura: (3)				Largura: (3)		
Altura: (4)				Altura: (4)		
Quantidade? (5)				Quantidade? (5)		
Com tolerância? (6)	sim	Não		Com tolerância? (6)	sim Não	
Comprimento: (2)				Comprimento: (2)		
Largura: (3)				Largura: (3)		
Altura: (4)				Altura: (4)		
Quantidade? (5)				Quantidade? (5)		
Com tolerância? (6)	sim	Não		Com tolerância? (6)	sim Não	
Comprimento: (2)				Comprimento: (2)		
Largura: (3)				Largura: (3)		
Altura: (4)				Altura: (4)		
Quantidade? (5)				Quantidade? (5)		
Com tolerância? (6)	sim	Não		Com tolerância? (6)	sim Não	

Em relação às cavidades, a aplicação irá considerar seis espaços para cálculo de tempos de diferentes cavidades.

No ponto (1), o colaborador deverá selecionar o mesmo caso a peça possua algum tipo de cavidade a executar ou desbaste necessário. Nos pontos (2), (3) e (4) são consideradas as medidas principais da cavidade. O colaborador deverá considerar medidas que se aproximem à medida final da cavidade. No ponto (5) é considerada a quantidade de cada cavidade.

O ponto (6) é selecionado quando é necessário executar tal cavidade com o devido rigor. Essa opção deverá ser selecionada quando existem:

- Tolerâncias lineares inferiores a ± 0.1 mm;
- Tolerâncias gerais ISO 2768 f;
- Rugosidades inferiores a $1.6 \mu\text{m}$.

Embora sejam considerados seis espaços para preenchimentos de dados, algumas peças podem possuir um maior número de cavidades. Cabe também ao colaborador fazer uma seleção de cavidades semelhantes e considerar só um espaço com uma quantidade equivalente ao total dessas cavidades semelhantes. Este cálculo serve também rasgos, rebaixos, furos toleranciados, entre outros. Ou seja, serve para todo o tipo de operação que necessite de operações de fresagem de topo.

Estratégia do segundo aperto

Nesta tabela serão consideradas as diversas operações que possam estar associadas ao segundo aperto para a execução de uma determinada peça, caso seja necessário. A maioria das peças executadas nesta tipologia de máquinas, não necessita de segundo aperto. Da mesma forma que a tabela da estratégia do primeiro aperto, estará dividida em duas partes: a primeira está relacionada com as furações (Tabela 43) e a segunda está relacionada com cavidades, sendo que a tabela de cavidades é exactamente igual à do primeiro aperto.

Tabela 43: Tabela de inserção de dados relativos à estratégia para o segundo aperto – Furações

Estratégia 2º Aperto:							
Apenas limpeza? (1)						sim	Não
Furações:							
Furação simples (< Ø13,5)?	sim	Não	Profundidade?	0	Quantidade?	0	
Furações roscadas na máquina (até M8)?	sim	Não	Profundidade?	0	Quantidade?	0	
furações roscadas na ROSCAMAT?	sim	Não	Quantidade?	0			
Furação H7 na Máquina (até Ø12 mm)?	sim	Não	Profundidade?	0	Quantidade?	0	
Furação H7 MÁQUINA + ROSCAMAT (Acabamento)?	sim	Não	Quantidade?	0			
Furação c/ caixa para parafuso (até Ø 10)?	sim	Não	Quantidade?	0			
Furação c/ caixa para parafuso (até Ø 15)?	sim	Não	Quantidade?	0			
Furação c/ caixa para parafuso (até Ø 26)?	sim	Não	Quantidade?	0			

A única diferença que esta tabela apresenta em relação à do primeiro aperto, é a opção de “Apenas limpeza?”. Este ponto (1) deverá ser considerado quando o colaborador considera que é mais vantajoso fazer a limpeza do lado oposto da peça. Visto que a peça, quando é trabalhada, deixa sempre uma película de alguns décimos para que a peça não perca vácuo, é necessário sempre limpar o lado oposto. Normalmente, essa operação pode ser realizada nos acabamentos, mas, algumas peças com inúmeros pormenores, convêm ser limpas na máquina. Essas situações são comuns quando a peça possui algumas destas condições:

- Quantidade elevada de furos;
- Formatos exteriores complexos (redondos, curvas, entre outros);
- Várias cavidades vazadas.

Quando se trata de peças simples e onde o contorno exterior é um quadrado ou um rectângulo, a limpeza acaba por ser mais simples pois é mais fácil de utilizar o raspador (Figura 71). Mas, se forem formatos redondos ou circulares, o colaborador não consegue fazer a

limpeza de uma forma simples e continua. Acaba por o fazer em partes, para tentar acompanhar o perfil da peça, sendo que aumenta o tempo de operação e reduz a qualidade, pois acaba por não ficar um chanfro contínuo. Se considerar esta opção, a aplicação irá apenas considerar os tempos de limpeza. Caso necessite de mais operações (furos, caixas, entre outros), não é necessário seleccionar esta opção, pois a aplicação já irá contemplar isso, visto que a peça será maquinada novamente. Os restantes pontos são os mesmos do primeiro aperto.

Estratégia de apertos auxiliar

A aplicação irá dispor de quatro tabelas de apertos auxiliares para execução de outros pormenores que não sejam possíveis de executar no primeiro e segundo aperto. Estas tabelas irão conter algumas opções que estão disponíveis nas tabelas anteriores, as quais também estarão divididas em duas partes na qual a primeira está relacionada com as furações (Tabela 44) e a segunda com as cavidades, as quais são exactamente iguais às anteriores.

Tabela 44: Tabela de inserção de dados relativos à “Aperto auxiliar” – Furações

Aperto auxiliar 1? (1)						sim	Não
Furações:							
Furação lateral? (2)						sim	Não
Furações roscadas na máquina (até M10)? (3)	sim	Não	Profundidade?		Quantidade?		
Furação mandrilada na Máquina (até Ø12 mm)? (4)	sim	Não	Profundidade?		Quantidade?		
Furação c/ caixa para parafuso (até Ø 10)? (5)	sim	Não	Profundidade?		Quantidade?		
Furação c/ caixa para parafuso (até Ø 15)? (6)	sim	Não	Profundidade?		Quantidade?		
Furação c/ caixa para parafuso (até Ø 26)? (7)	sim	Não	Profundidade?		Quantidade?		

A principal diferença em relação às tabelas anteriores, como é exemplo a Tabela 41, está relacionada com o ponto (1) e (2).

O ponto (1) serve apenas para “indicar” à aplicação que deverá calcular alguns valores, como as etapas de preparação.

O ponto (2) serve para que a aplicação selecione a máquina ideal, em função do tipo de maquinagem a realizar, conforme o explicado no subcapítulo 3.6.2.4. Seleção do tipo de máquina para MECAS.

Comentários Técnicos

Nesta parte, são considerados os comentários que possam ser necessários indicar ao cliente. Na tabela são consideradas as observações mais comuns (Tabela 45).

Tabela 45: Tabela de inserção de dados relativos aos “Comentários Técnicos”

Comentários técnicos		
Tolerâncias gerais ISO 2768 mK? (1)	sim	Não
Pedir desenhos 2D? (2)	sim	Não
Pedir desenhos 3D? (3)	sim	Não
Rever Tolerâncias de posição? (4)	sim	Não
Outros comentários: (5)		

No ponto (1), (2) e (3) são consideradas as mesmas observações que na aplicação de fresadoras de aperto mecânico. O ponto (4) deve ser selecionado quando existem tolerâncias entre furações demasiado rigorosas para as capacidades de máquina. Ao ser selecionada esta opção, a aplicação irá colocar o seguinte comentário – *Tolerâncias de Posição de furos mais reduzidas incrementam $\pm 0,01$ mm de 100 em 100 mm. Tolerância mínima passa a $\pm 0,02$ mm (Ex.: 200 mm \rightarrow $\pm 0,03$ mm).* No ponto (5) são colocados outros comentários que possam ser úteis ou necessários.

Além destes comentários, a aplicação, sempre que a peça não seja facejada, e não seja material rectificando de fábrica, a aplicação irá colocar automaticamente dois tipos de comentários em função do material:

- Alumínio – *Peça fornecida à espessura de chapa laminada segundo a norma EN 485. Tolerâncias relacionadas com a espessura dependentes desta variação;*
- Plástico e Termolaminados – *Peça fornecida à espessura de chapa de fábrica (tolerância de fabrica, 0/+0.4 mm, por exemplo). Tolerâncias relacionadas com a espessura dependentes desta variação.*

No final, será apresentado o resultado do orçamento, num documento idêntico ao utilizado no software PHC Enterprise (Figura 107).

ORÇ. MANUF.		DESIGNAÇÃO	QTD.	UNI.	VENDA	TOTAL
POLY201500000_001		PEÇA CONF. PLANO XPTO 250x250x8 mm	4	uni		
		ALUMINIO AW5083-H111 PLATE 8 MM 1520X3020 (PV1)	6,18	Kg		
		CAD	40,00	"		
		CAM (MECA 3015)	31,25	"		
		SETUP (MECA 3015)	21,50	"		
		EXECUÇÃO (MECA 3015)	63,73	"		
		CAM (MINIMILL/DT1/VM6/MECA SIEMENS)	15,00	"		
		SETUP (MINIMILL/DT1/VM6/MECA SIEMENS)	11,00	"		
		EXECUÇÃO (MINIMILL/DT1/VM6/MECA SIEMENS)	45,53	"		
		ROSCAMAT	30,24	"		
		ACABAMENTOS	21,87	"		
		<u>Aperto(s) Auxiliares:</u>				
		CAM (ES-ST)	13,00	"		
		SETUP (ES-ST)	18,00	"		
		EXECUÇÃO (ES-ST)	53,15	"		
		CAM (MINIMILL/DT1/VM6)	10,00	"		
		SETUP (MINIMILL/DT1/VM6)	9,50	"		
		EXECUÇÃO (MINIMILL/DT1/VM6)	20,84	"		
		CAM (MINIMILL/DT1/VM6)	10,00	"		
		SETUP (MINIMILL/DT1/VM6)	9,50	"		
		EXECUÇÃO (MINIMILL/DT1/VM6)	8,44	"		
		CAM (MINIMILL/DT1/VM6)	10,00	"		
		SETUP (MINIMILL/DT1/VM6)	9,50	"		
		EXECUÇÃO (MINIMILL/DT1/VM6)	21,16	"		
		<u>MATERIAL (aproveitamentos):</u>				
		<u>535x535 mm (1x)</u>				
			CUSTO MATERIAL:			
			CUSTO MAQUINAÇÃO:			
COMENTÁRIOS TÉCNICOS:						
Peça fornecida à espessura de chapa laminada segundo a norma EN 485. Tolerâncias relacionadas com a espessura dependentes desta variação.						
Tolerâncias gerais ISO 2768 mK						
Em caso de encomenda, enviar planos técnicos (PDF, DWG, DXF)						
Em caso de encomenda, enviar desenhos 3D (SIDPRT, IGES, STEP, X_T)						
Tolerâncias de Posição de furos mais reduzidas incrementam $\pm 0,01$ mm de 100 em 100 mm. Tolerância mínima passa a $\pm 0,02$ mm (Ex.: 200 mm \rightarrow $\pm 0,03$ mm)						

Desenvolvido por Pedro Nogueira - Dat. TECNOLANEMA

Figura 107: Exemplo da folha final do orçamento para MECAS

Na Figura 108 e Figura 109 é apresentado um resumo simplificativo do funcionamento da aplicação para MECAS.

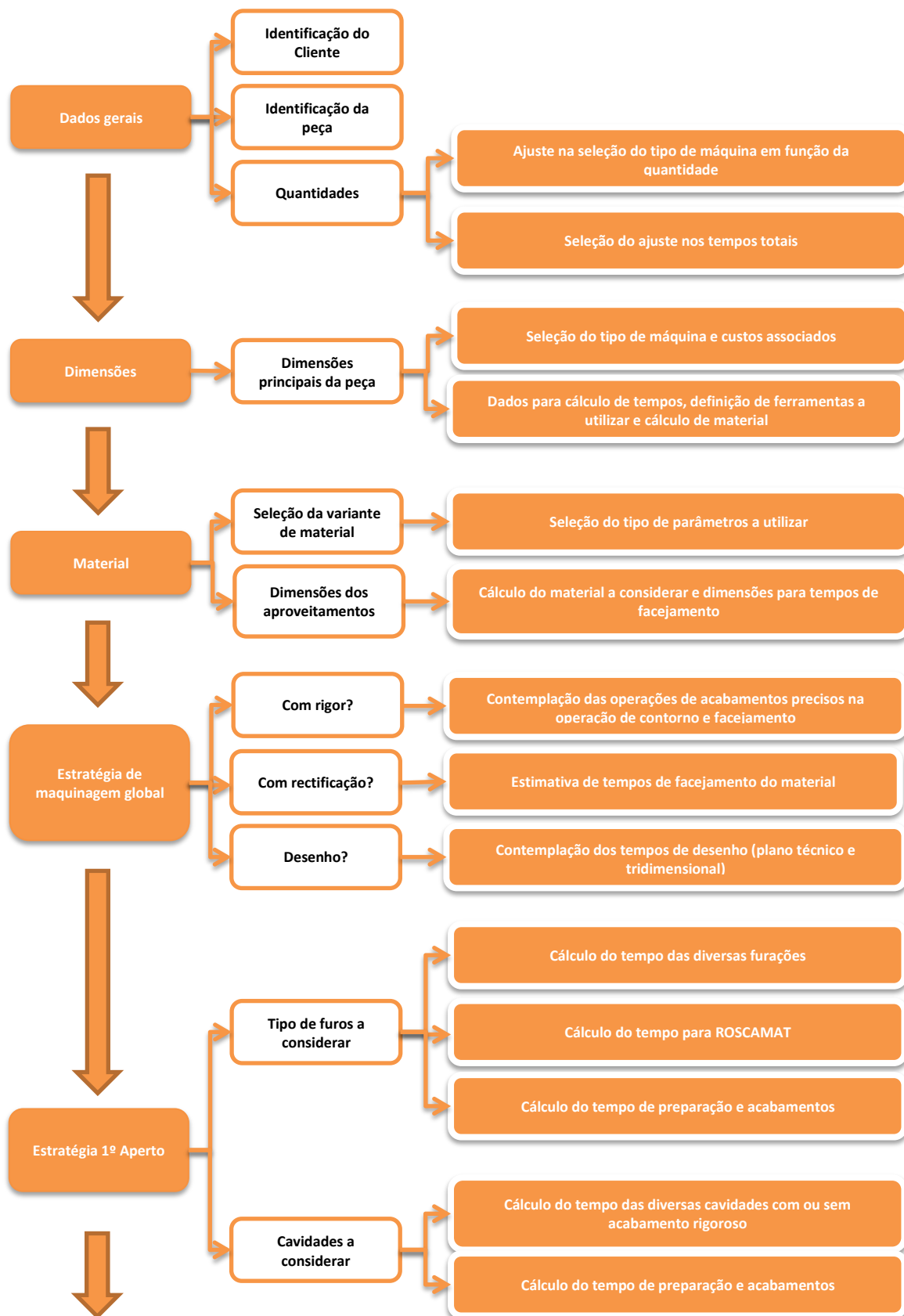


Figura 108: Resumo do funcionamento da aplicação para fresadoras MECAS – parte 1

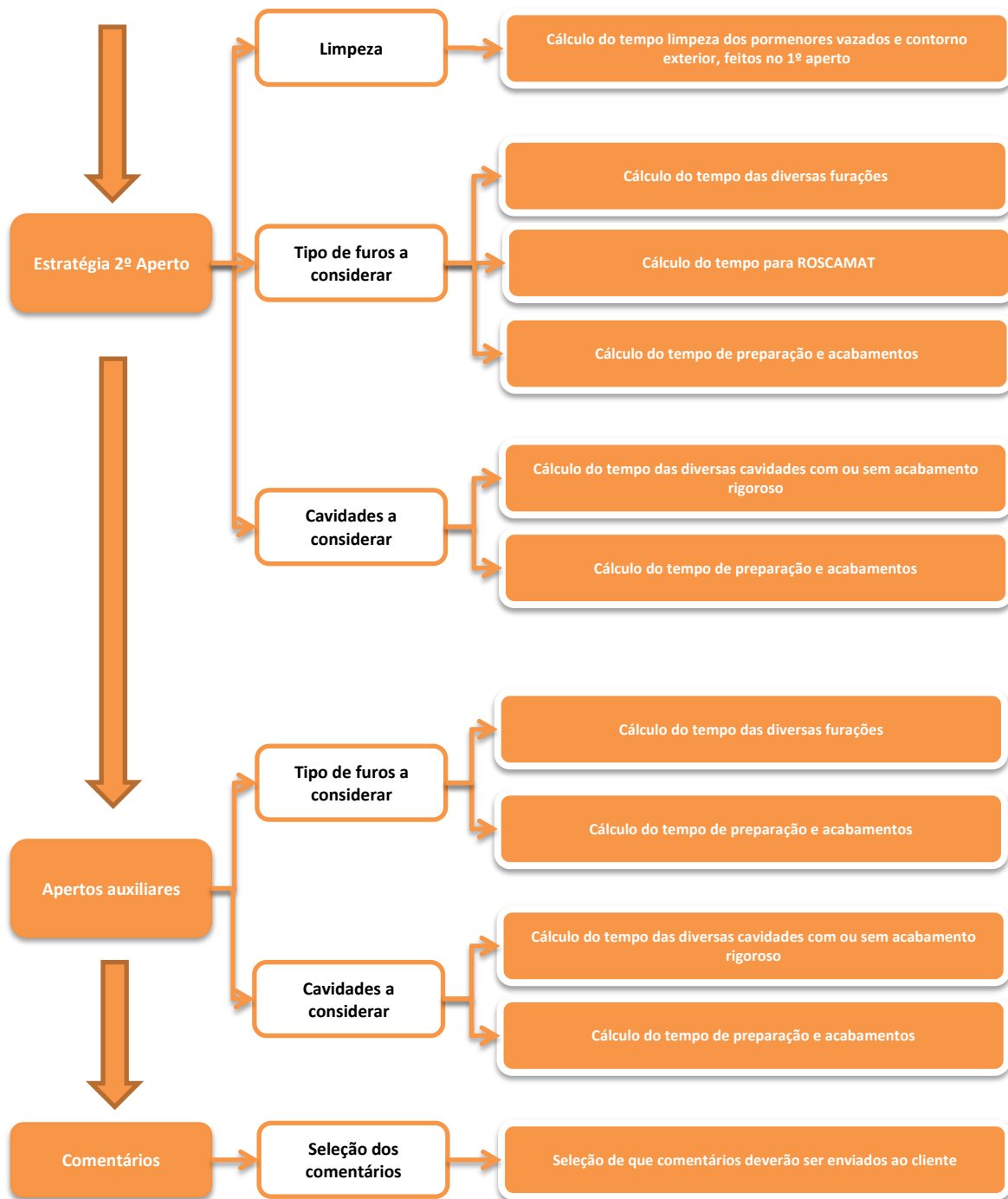


Figura 109: Resumo do funcionamento da aplicação para fresadoras MECAS – parte 2

3.6.2.7. Validação da aplicação para MECAS em casos práticos

Da mesma forma que no caso das fresadoras de aperto mecânico, serão apresentados os resultados do orçamento de algumas peças que foram fabricadas na TECNOLANEMA. Em relação aos tempos de preparação, da mesma forma que a aplicação de fresadoras de aperto mecânico, o resultado final deverá garantir que os tempos estimados fiquem iguais ou superiores aos tempos reais nomeadamente no que toca a tempos de maquinaria propriamente dita. Sempre que houver um desvio considerável haverá uma observação para justificação do mesmo.

Nestes exemplos, será descrito com maior rigor o número de apertos, bem como os tempos associados a cada e a máquina definida para cada aperto.

Foram realizados vários testes com o objectivo de testar diversas opções, como peças com rectificação, apertos auxiliares, entre outros. No entanto só serão apresentados alguns, e que contenham também alguns desvios, para evidenciar situações onde a aplicação possa falhar.

Para maior compreensão das peças-exemplo, no Anexo III encontram-se os diversos exemplos considerados. No Anexo IV encontram-se os planos técnicos, bem como uma imagem a comprovar os relatórios retirados a partir do *software PHC Enterprise*.

3.6.2.8. Análise dos resultados da aplicação para MECAS

Analisando os exemplos apresentados no subcapítulo anterior, é possível verificar que a aplicação permite chegar a resultados positivos tendo em conta o objectivo da mesma. De uma forma resumida, na Tabela 46 são apresentados os principais desvios, e a média dos mesmos.

Tabela 46: Desvios globais entre tempos reais e previstos pela aplicação para as MECAS

DESVIOS GLOBAIS						
Peça	CAD	CAM	SETUP	Execução	ROSCAMAT	Acabamentos
POLY201500085_001	0%	-167%	13%	3%	34%	44%
POLY201500176_001	0%	3%	50%	14%	0%	-57%
POLY201501157_003	15%	-24%	5%	22%	-1%	47%
POLY201501528_007	19%	24%	-19%	26%	-7%	-48%
POLY201501657_001	0%	-46%	39%	11%	-1%	33%
POLY201501669_001	31%	22%	-28%	5%	0%	64%
POLY201500817_001	-24%	56%	-19%	1%	49%	2%
Média:	6%	-19%	6%	12%	11%	12%

Da mesma forma que o caso da aplicação para fresadoras de aperto mecânico, Os resultados apresentados são um resumo das principais etapas a considerar no orçamento de cada peça. Todos os valores apresentados são o resultado de uma única medição, até à data do dia doze de Outubro de 2015. A justificação para os principais desvios encontra-se descrita em cada tabela no Anexo III. Seguidamente será feita uma análise geral dos resultados obtidos.

No que toca aos desvios relativos às etapas de preparação, nomeadamente a etapa de CAM, o método utilizado no caso das MECAS acaba por utilizar tempos diferentes da aplicação das fresadoras, mas como esta aplicação pode apresentar quantidades elevadas de pormenores a executar, leva a que em algumas situações sejam calculados valores demasiado baixos. Ao longo dos testes, foram feitas comparações, e verificou-se que a maior causa destes desvios se baseia na possibilidade de ter várias tipologias de furos, o que obriga a vários desenhos, programações e preparações diferentes. Esta situação acaba por complicar as estimativas iniciais, levando a ajustes diferentes dos utilizados na aplicação de fresadoras de aperto mecânico, de forma a limitar a aplicação a valores mínimos, e encontrar um equilíbrio entre os vários exemplos que se aproximam à realidade de peças maquinadas pela TECNOLANEMA nesta tipologia de máquinas. Da mesma forma que nas fresadoras, o custo deste tipo de

operações é reduzido, e vendo as variações ocorridas, considera-se que estes desvios são aceitáveis.

Em relação ao tempo dos acabamentos, a aplicação pode apresentar alguns desvios, mas na maioria dos casos é sempre positivo. Nesta aplicação, visto que a aplicação tem maior noção de quais as arestas a limpar, e quais as suas dimensões, a aproximação é mais correcta. No entanto, houve alguns ajustes em função dos vários testes, de forma a obter uma resposta equilibrada entre todos eles. O primeiro caso apresenta valores com desvio superior, mas os tempos que estão apresentados provavelmente apresentam valores superiores aos reais, seja por erro de picagem de tempos, ou mesmo problemas produtivos (Exemplo: película demasiado espessa). Estes problemas geralmente são derivados de erros humanos, os quais não são todos possíveis de prever.

Olhando para os tempos de maquinagem, os resultados são bastante positivos. A sua aproximação, com um desvio reduzido, permite obter valores de custo de fabrico muito próximos aos casos reais apresentados, o que cumpre um dos principais objectivos deste trabalho.

3.8. Sugestões de melhoria para a aplicação informática

Tendo em conta os subcapítulos 3.6.1.8. Análise dos resultados da aplicação para fresadoras de aperto mecânico e 3.6.2.8. Análise dos resultados da aplicação para MECAS, verificaram-se alguns dos resultados que os programas permitiram obter. No entanto, durante os diversos testes, encontraram-se alguns pontos que devem ser adicionados à aplicação, ou melhorar os já existentes.

Um dos pontos a melhorar será a determinação de tempos de preparação. Mesmo que nos casos apresentados os desvios sejam aceitáveis, é importante procurar soluções mais precisas, para obter um cálculo mais fiável. No entanto, o cálculo utilizado é o mais próximo às últimas padronizações estipuladas no departamento CAD/CAM. É verdade que para já apresentam alguma variação devido à adaptação aos novos métodos, mas, no futuro, espera-se que estes valores estabilizem. Caso isso não se verifique, poderá ser necessária uma nova fórmula de cálculo.

Outro ponto a melhorar é aumentar o leque de opções ou tipos de peças para o caso das fresadoras de aperto mecânico. Esta aplicação permite responder a várias peças que possam

ser orçamentadas, mas alguns casos podem não ser enquadrados na lista de níveis de complexidade das peças. Uma opção possível seria parametrizar tais pormenores (rasgos em formato “T”, faces inclinadas, entre outros) e acrescentar os tempos de forma similar ao método utilizado para as cavidades.

Em relação à aplicação das MECAS, existem também vários pontos a melhorar. Embora os cálculos sejam mais ajustados pelo colaborador, alguns parâmetros podem por em causa algumas estratégias mais adequadas. Um dos exemplos são as cavidades com formato circular. Nestas situações, o colaborador deve fazer uma aproximação às medidas e preencher como se fosse uma cavidade quadrangular, o que trás um problema associado – passagem de acabamento de raio. Quando a ferramenta selecionada tem um diâmetro de valor elevado, a aplicação seleciona uma ferramenta para efectuar uma passagem de acabamento, para reduzir os raios que possam ficar nos cantos internos. Mas, isto não deve acontecer nas cavidades circulares, que não sejam tolerânciadas, logo, irá incrementar em alguns casos os tempos de maquinagem. A solução poderia passar por colocar campos a preencher semelhantes aos utilizados para as cavidades, e adaptar ao cálculo para cavidades circulares. Contudo, traria uma desvantagem ao aumentar ainda mais o número de dados a preencher.

Outro ponto a melhorar será acrescentar alguns tipos de operações que não estão presentes nas diversas tabelas a preencher, tais como inclinações, rasgos com outros formatos, entre outros.

São algumas melhorias possíveis que possivelmente ajudariam a aumentar o leque de opções destes programas e melhorar a sua fiabilidade.

Outro desenvolvimento será uma aplicação dedicada a peças torneadas. No presente trabalho, não foi possível apresentar tal aplicação, devido à etapa de parametrização não estar concluída, nomeadamente, os parâmetros de maquinagem que são essenciais para o desenvolvimento e determinação da fórmula de cálculo. Essa parametrização está a ser desenvolvida na TECNOLANEMA.

4. Conclusões

Sabendo dos pressupostos iniciais para este estudo, analisando os resultados obtidos nos vários testes apresentados, pode-se concluir o seguinte:

- Houve um aprofundamento dos conhecimentos sobre as principais operações e geometrias que podem influenciar os tempos de maquinagem;
- Maior compreensão da influência da tipologia de máquina no fabrico de peças maquinadas, e quais são as suas vantagens e desvantagens perante determinadas geometrias ou quantidades de peças a maquinar;
- Foram padronizados os principais tipos de máquinas presentes na TECNOLANEMA, e definidas as geometrias de peças que mais se adequam a cada tipo;
- Definiu-se os passos essenciais para determinação do número de apertos necessários para a fabricação de cada peça, sendo ainda apresentados exemplos-tipo para melhorar a compreensão da definição de apertos necessários, bem como imagens demonstrativas das principais estratégias aplicadas na TECNOLANEMA;
- Foram apresentadas as principais definições de rigor dimensional, geométrico e de acabamento, bem como os mais habituais e solicitados nos diversos tipos de peças maquinadas. Houve também um estudo de como este rigor pode influenciar os tempos de maquinagem, e como podem influenciar o custo final da peça.

Com base nestes objectivos cumpridos, foi possível padronizar os principais pontos a ter em conta para desenvolver a aplicação informática de forma a contemplar todos os passos importantes no processo de fabrico, de forma a atribuir um custo aos mesmos com base nos tempos necessários para cada. Sendo assim, foi necessário percorrer outros passos importantes para cumprir o objectivo final. Esses passos foram:

- Determinação das principais etapas de fabrico: preparação (desenho, programação e preparação de máquina), fabrico da peça (tempos de maquinagem) e etapas de finalização (acabamentos);
- Definição dos principais parâmetros de maquinagem, bem como a determinação dos principais tipos de operações a ter em conta no cálculo de tempos de maquinagem;

- Estipulação quais as fórmulas de cálculo a utilizar para conjugar os parâmetros com as operações de maquinaria e calcular os tempos de maquinaria;
- Caracterização das principais famílias de materiais, e como estas podem influenciar o tempo de maquinaria;
- Determinação de que condições devem ser analisadas para determinar se a peça necessita de maior rigor na sua fabricação, e que cálculos deverão ser feitos para contemplar esse rigor;
- Padronização de quais as geometrias a ter em conta para determinar quais os tempos de preparação, como estas influenciam em tempo o custo da peça, e como a aplicação irá calcular os mesmos.

Com estes passos cumpridos, e com o encadeamento dos vários resultados, o desenvolvimento foi possível, permitindo obter programas adaptados à realidade da TECNOLANEMA.

É verdade que os programas podem não responder a todos os pedidos de cotação solicitados à TECNOLANEMA, mas irá permitir reduzir os tempos despendidos em casos mais simples, alargando a capacidade de resposta a outros colaboradores, libertando tempo do orçamentista para outros tipos de tarefas importantes para a empresa.

No início do desenvolvimento do presente trabalho, a TECNOLANEMA dispunha de dois colaboradores dedicados à orçamentação de peças maquinadas. Nessa altura, era possível encontrar consultas com alguns dias ou mesmo semanas de atraso na resposta, o que não era nada vantajoso para a empresa. Neste momento, embora não seja possível apresentar resultados quantitativos que o demonstrem, é possível indicar que a TECNOLANEMA dispõe de apenas um orçamentista, e o tempo médio de resposta é de dois a três dias, o que é muito importante para a empresa, colando-a numa posição mais vantajosa no mercado actual. É importante informar que esta redução de tempos de resposta não foi obtida pela redução de orçamentos realizados, mas sim graças à optimização dos processos, nomeadamente na utilização das aplicações desenvolvidas, e outros estudos resultantes do seu desenvolvimento. O número de orçamentos respondidos aumentou, e conseqüente volume de negócios, o qual está directamente relacionado e comprovado pelo crescimento de aproximadamente 12% do grupo LANEMA no ano de 2014, e pela renovação do estatuto PME Líder em 2015 (LANEMA, 2015)

Além disso, todo o trabalho que foi desenvolvido, permitiu uma melhor compreensão, padronização e melhoria dos métodos utilizados pela TECNOLANEMA. Com os vários estudos realizados, foi possível identificar os pontos mais influenciadores nos tempos de maquinagem, fazendo com que houvesse uma procura por novas soluções para os melhoramentos, e ajudou a uma melhor interligação entre os diversos departamentos da empresa. Pode-se dizer que no último ano houve diversos melhoramentos que permitiram a redução de custos de fabrico dos principais métodos utilizados, o que aumentou a rentabilidade da empresa, bem como a satisfação dos diversos clientes.

A nível pessoal, além destes objectivos principais correspondentes à TECNOLANEMA, havia também um desafio que era mostrar que é possível desenvolver ferramentas deste tipo que possam dar apoio à indústria metalomecânica actual. Cada vez mais é importante dar a melhor resposta a cada solicitação de cotação, de forma mais célere. É verdade que as aplicações apresentadas podem apresentar alguns defeitos, e ainda não são 100% precisas, mas demonstram que é possível efectuar orçamentos por esta forma. Daqui em diante, o objectivo é aumentar a fiabilidade destas aplicações, para dar uma maior confiança a quem as utiliza.

5. Bibliografia e Outras Fontes de Informação

5.1. Bibliografia

Amador, J., 2010. *PRODUÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA EM PORTUGAL: FACTOS ESTILIZADOS.* *Boletim Económico*, Verão, pp. 71 - 72.

Cabral, J. P. S., 2006. *Organização e Gestão da Manutenção.* Lisboa: Lidel - Edições Técnicas.

D. D. & M. S., 2012. *Productivity Improvement in Tooling Manufacture through High Speed 5 Axis Machining.* South Africa: Elsevier B.V.

Diário da República, 2013. Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013. *Diário da República*, 10 Abril. Volume 70.

Dormer Tools, 2005. *Manual Técnico.* Sheffield: Dormer.

Fischer, U. et al., 2008. *Manual de Tecnologia Metal Mecânica.* 2 ed. São Paulo: Blucher.

Kennedy, B., 2011. Tapping Top Productivity. *Cutting Tool Engineering*, Agosto, Volume 63.

Magalhães, L., 2011. *Contactos Mecânicos - TRIBOLOGIA.* Porto: ISEP.

Morais, J. M. d. S., 2007. *Desenho Técnico Básico.* 23 ed. s.l.:Porto Editora, Lda.

Pillet, D. D., 2005. *Qualidade na Produção.* Paris: Lidel - Edições Técnicas, Lda.

Pública, M. d. F. e. d. A., 2009. Decreto Regulamentar n.º 25/2009. *Diário da República*, 14 Novembro. Volume 1º Série.

Sandvik Coromant, 2008. METALWORKING WORLD N.º 2 2008. *METALWORKING WORLD*, 02, p. 31. Sandviken: Sandvik Coromant AB

Sandvik Coromant, 2010. *Manual técnico.* Sandviken: Sandvik Coromant AB.

Sandvik Coromant, 2010. *Manual Técnico: Sistemas de ferramentas – centros de torneamento*, p. G 25. Sandviken: Sandvik Coromant AB

Silva, R. P. A. O. d., 2011. Boletim Mensal de Economia Portuguesa Nº 6. *Boletim Mensal de Economia Portuguesa*, 06, p. 41.

Tschätsch, H., 2007. *Applied Machining Technology*. Dresden: Springer Science+Business Media.

5.2. Outras fontes de informação

Chick Workholding Solutions, 2009. *System 5 Spare Parts*. [Acedido em 17 03 2014]. [Online] Disponível em: http://www.chick-workholding.com/4dcgi/public/accessories/5_spare_parts/spare_parts.shtml?PATH=5000019&&RND=22122

Co.KG, K. G. &, 2009/2015. *WBF boring machine*. [Acedido em 18 04 2014]. [Online] Disponível em: <http://www.kekeisen.de/pages/bohrwerke/index.php?id=21&lang=en>

DANOBAT GROUP, 2014. *HORIZONTAL LATHES*. [Acedido em 11 03 2014]. [Online] Disponível em: <http://www.danobatgroup.com/en/lathe-machines/horizontal/na>

Dantron CNC, 2013. *DATRON M8Cube High-Speed Machining Center - Milling Mold for Radio Controlled Quadrocopter*. [Acedido em 15 03 2014]. [Online] Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=8Lh600hVyt8>

DIGIMAC. *Furadoras CNC*. [Acedido em 28 05 2014]. [Online] Disponível em: <http://digimaq.tripod.com/AgujePo.htm>

DMG MORI SEIKI Media, 2012. *HSC series*. [Acedido em 15 03 2014]. [Online] Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=1cUvXgqjans>

DMG MORI SEIKI, 2014. *DMU / DMC monoBLOCK series*. [Acedido em 24 03 2014]. [Online] Disponível em: <http://en.dmgmori.com/blob/123448/76c3146e1565742add7e816951d0d9c0/pm0uk13-dmu-dmc-monoblock-series-pdf-data.pdf>

DMG MORI SEIKI, 2014. *DMU 80 eVo / linear*. [Acedido em 24 03 2014]. [Online] Disponível em: <http://en.dmgmori.com/products/milling-machines/universal-milling-machines-for-5-sided-5-axis-machining/dmu-evo/dmu-80-evo-linear#Intro>

DMG MORI SEIKI, 2014. *NH6300 DCG II*. [Acedido em 25 04 2014]. [Online] Disponível em: <http://en.dmgmori.com/blob/165728/9c00c554f0b6a43e0cb360c3fd5b2e0d/pm0uk13-nh6300-pdf-data.pdf>

DMG MORI SEIKI, 2014. *DMC H duoBLOCK®*. [Acedido em 25 04 2014]. [Online] Disponível em: <http://en.dmgmori.com/blob/208308/b93f447270270a8bccbee1555ebfa65a/pm0uk14-dmc-h-duoblock-series-pdf-data.pdf>

DMG MORI SEIKI, 2014. *ULTRASONIC Series*. [Acedido em 14 04 2014]. [Online] Disponível em: <http://br.dmgmori.com/blob/127642/d0e7715c390265e3a0d5d224d5aa5e3f/pu0uk13-ultrasonic-pdf-data.pdf>

DMG MORI SEIKI, 2014. *DMF Series*. [Acedido em 28 04 2014]. [Online] Disponível em: <http://en.dmgmori.com/blob/126142/f1dabdd5c4bdf2b748afecdc5216bbb1/pm0uk13-dmf-series-pdf-data.pdf>

DMG MORI SEIKI, 2014. *DMU / DMC duoBLOCK®*. [Acedido em 24 04 2014]. [Online] Disponível em: <http://en.dmgmori.com/blob/166918/80e9ea5a8971f12d7e4b21eebd53d516/pm0uk14-dmu-80-p-fd-dmc-80-u-fd-duoblock-pdf-data.pdf>

Fullerton Tools Company, inc., 2014. *Chamfer Mill*. [Acedido em 24 09 2014]. [Online] Disponível em: <http://fullertontool.com/carbide/tools/3730>

Gühring, Inc., 2012. *Fresa de Rosca (TMU SP) - Gühring*. [Acedido em 15 03 2014]. [Online] Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=L3EHfBub8og>

Haas Automation Inc, 2014. *Equipamentos verticais CNC: MINIMILL2*. [Acedido em 24 03 2014]. [Online] Disponível em: http://int.haascnc.com/we_spec1.asp?intLanguageCode=1046&id=MINIMILL2&sizeID=8_20IN_CH_VMC

Haas Automation, Inc., 2013. *CENTROS DE MAQUINAÇÃO HORIZONTAL*. [Acedido em 18 04 2014]. [Online] Disponível em: http://int.haascnc.com/DOCLIB/brochures/HMC_1046/files/assets/common/downloads/HMC_1046.pdf

Haas Automation, Inc., 2013. *CENTROS DE MAQUINAÇÃO VERTICAL.* [Acedido em 15 04 2014].
[Online] Disponível em:
http://int.haascnc.com/DOCLIB/brochures/VMC_1046/files/assets/common/downloads/VMC_1046.pdf

Haas Automation, Inc., 2013. *CENTROS DE TORNAGEM CNC.* [Acedido em 31 03 2014].
[Online] Disponível em:
http://int.haascnc.com/DOCLIB/brochures/LATHE_1046/files/assets/common/downloads/LATHE_1046.pdf

Haas Automation, Inc, 2014. *Equipamentos horizontais CNC: Troca da paleta do 4º eixo.*
[Acedido em 21 03 2014] [Online]
Disponível em: http://int.haascnc.com/mt_spec1.asp?intLanguageCode=1046&id=EC-400PP&webID=4AXIS_PC_HMC

HACO Mubea Systems, 2013. *Profile-Flex machining center.* [Acedido em 02 06 2014]. [Online]
Disponível em:
https://www.youtube.com/watch?v=OMm0FKY4OFE&index=7&list=PL7TBTKfKpk-vPHzJ1PsDiCPS0_9uQFZPb

HACO, 2011. *CNC Drill lines Drillflex DF.* [Acedido em 28 05 2014]. [Online]
Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?t=1&v=PnODaQQIEeE>

HANNA, Soluções Integradas, 2014. *Alargadores Monobloco.* [Acedido em 14 09 2014].
[Online] Disponível em: http://www.hannatools.net/wp-content/uploads/2011/05/alargadores_monobloco_03.jpg

Hermle Maschinenbau GmbH, 2014. *3/4/5-axis machining centre.* [Acedido em 28 04 2014].
[Online] Disponível em:
http://www.hermlemachine.com/cms/en/products/product_overview/bearbeitungszentrum_c22/

KENNAMETAL, 2015. *www.kennametal.com.* [Acedido em 20 08 2015] [Online] Disponível em:
<http://www.kennametal.com/en/products/20478624/556249/3924453/7824529/100003645.html>.

LANEMA, 2015. *www.tecnolanema.pt.* [Acedido em 09 10 2015]. [Online]
Disponível em: <http://www.tecnolanema.pt/pt/noticias/poly-lanema-lda-distinguida-como-pme-la-adder-2015.html>

Logismarket, 2014. *Dove tail tools.* [Acedido em 16 09 2014]. [Online] Disponível em: <http://www.logismarket.com.ar/ip/duralitte-fresas-fresas-tmx-435287-FGR.jpg>

Machine Mart, 2014. *Milling tools.* [Acedido em 16 09 2014]. [Online] Disponível em: <https://www.machinemart.co.uk/images/library/product/large/06/060720874.jpg>

Mitsubishi Materials Corporation, 2015. *RUGOSIDADE SUPERFICIAL.* [Acedido em 24 03 2015]. [Online] Disponível em: http://www.mitsubishicarbide.net/contents/mht/pt/html/product/technical_information/information/surface_roughness.html

Nogueira, N., 2010. *www.portal-gestao.com.* [Acedido em 01 04 2015]. [Online] Disponível em: <https://www.portal-gestao.com/item/2603-fun%C3%A7%C3%B5es-do-departamento-financeiro.html>

POLYLANEMA, 2014. *História.* [Acedido em 09 06 2015]. [Online] Disponível em: http://www.polylanema.pt/pt/empresa/_historia.html

Renishaw plc, 2008. *OMP60 – optical machine probe.* [Acedido em 27 08 2015]. [Online] Disponível em: <http://www.renishaw.com.br/media/pdf/pt/d61947d7f9bb4320a0fe6de47edf8292.pdf>

Sandvik Coromant, 2011. *Tips film: Insert geometry.* [Acedido em 30 09 2015]. [Online] Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=JMmqArG8vDI>

Sandvik Coromant, 2012. *Application Guide - Silent Tools.* [Acedido em 25 06 2014]. [Online] Disponível em: <http://www.sandvik.coromant.com/SiteCollectionDocuments/downloads/global/technical%20guides/en-gb/C-1020-17.pdf>

Sandvik Coromant, 2012. *CoroTap - Top performance tapping tools from Sandvik Coromant.* [Acedido em 11 03 2014]. [Online] Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=6NLUlc4QtD4>

Sandvik Coromant, 2012. *Torneamento de peças duras com CBN.* [Acedido em 24 02 2014]. [Online] Disponível em: <http://www.sandvik.coromant.com/SiteCollectionDocuments/downloads/global/catalogues/pt-pt/C-2940-137.pdf>

Sandvik Coromant, 2013. *Modular system Coromant EH with CoroMil.* [Acedido em 24 02 2014]. [Online] Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=X8Yo9Ftj6KM>

Sandvik Coromant, 2014. *Suplemento 14.1.* [Acedido em 25 06 2014]. [Online] Disponível em: <http://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/brochures/en-gb/c-2900-148.pdf>

Sandvik Coromant, 2015. *High-feed milling.* [Acedido em 02 10 2015]. [Online] Disponível em: <http://www.sandvik.coromant.com/SiteCollectionImages/tools/milling/high-feed-milling-coromill-419.jpg>

Secco Tools, 2013. *New Secco Tools Turbo 10 End Mill Demonstration.* [Acedido em 30 09 2015]. [Online] Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ZwkoGtsaG9c>

Seco Tools, 2012. *Disc Milling Cutter 335.25.* [Acedido em 15 03 2014]. [Online] Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=nwzBcGXZn5s>

SGS, 2015. *High Performance End Mills With Patented Variable Rake.* [Acedido em 02 10 2015]. [Online] Disponível em: <http://www.sgstool.com/images-dev/products/z-carb-ap-reach-ball.jpg>

Techniques, T., 2013. *How to use the Corner Rounding End Mill.* [Acedido em 15 03 2014]. [Online] Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ezEEfEJfleM>

TECNOLANEMA, 2014. *Sobre a TecnoLANEMA.* [Acedido em 09 06 2015]. [Online] Disponível em: <http://www.tecnolanema.pt/pt/empresa/sobre-nos.html>

Tecnospiro Machine Tool, SL, 2003. *Shark Roscamat.* [Acedido em 20 08 2015]. [Online] Disponível em <http://www.tecnospiromt.com/p.cfm/f/72/sf/96/esp/shark.htm#>

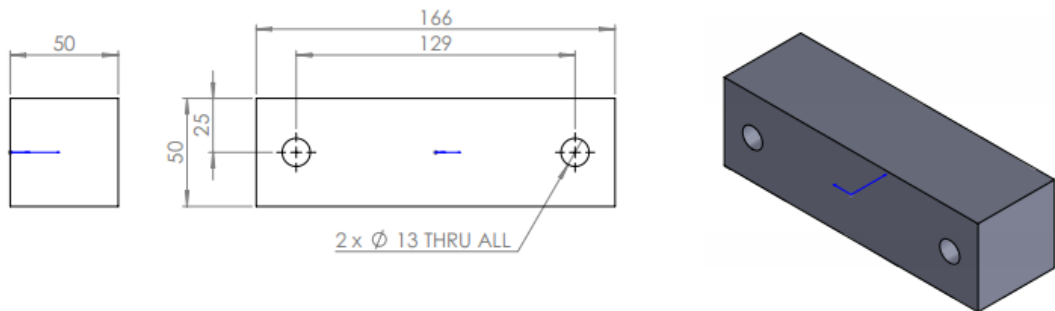
Tormach CNC, 2010. *External Thread Milling Tips - Tormach CNC.* [Acedido em 15 03 2014]. [Online] Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=T4ZVoHei1uE>

VARGUS Ltd, 2010. *O toque de acabamento.* [Acedido em 27 07 2015]. [Online] Disponível em: <http://www.vargus.com/download/files/SHAVIV%20Directory%202011%20PR.pdf>

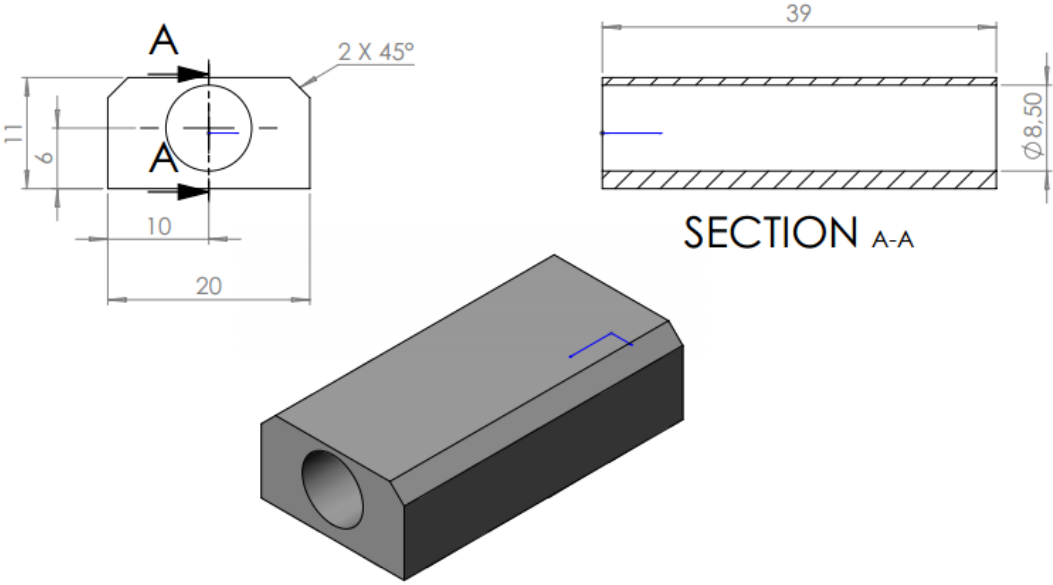
ANEXO I

Resultados dos exemplos para fresadoras de aperto mecânico

Exemplo de peça em alumínio, de nível um com dois apertos necessários para a sua fabricação

DADOS GERAIS					
Referência	POLY201401543_001				
Material	AW7075-T651 PLATE 60 MM				
Quantidade	6				
ESTRATÉGIA		TEMPOS CALCULADOS/TEMPOS REAIS:			
Peça com rigor?	Não	Operações	Cálculo	Real	Diferença
Nível da peça?	1	CAD (min)	0	0	0%
Número de apertos?	2	CAM (min)	15	10,6	29%
Máquina de 5 eixos?	Não	SETUP (min)	15	12,83	14%
Contemplar desenho 2D?	Não	Execução (min)	56,59	54,2	4%
Contemplar desenho 2D e 3D?	Não	Acabamentos (min)	9,12	1,03	89%
Desconsiderar tempo de cavidade?	Não	Material (Kg)	10,09	10,68	-6%
		Máquina	DT-1	DT-1	
OBSERVAÇÕES					
Acabamentos praticamente desnecessários pois as peças saem limpas de máquina;					
Material com consumo menor pois está conforme último procedimento de N ^o 12.12.04 - <i>Dimensão de blocos para aperto mecânico.</i>					
PRINCIPAIS MEDIDAS:					
 <p>Technical drawing and 3D model of a rectangular aluminum plate. The drawing shows a 50x166 plate with two holes of diameter 13 spaced 129 apart. A 3D model shows the plate with a blue checkmark on its surface.</p>					

Exemplo de peça em plástico, de nível um com três apertos necessários para a sua fabricação

DADOS GERAIS					
Referência	POLY201401227_002				
Material	PE-HD/E PLATE 20 MM BLACK				
Quantidade	20				
ESTRATÉGIA		TEMPOS CALCULADOS/TEMPOS REAIS:			
Peça com rigor?	Não	Operações	Cálculo	Real	Diferença
Nível da peça?	1	CAD (min)	0	0	0%
Número de apertos?	3	CAM (min)	25	0	100%
Máquina de 5 eixos?	Não	SETUP (min)	25	33,54	-34%
Contemplar desenho 2D?	Não	Execução (min)	70,78	54,2	23%
Contemplar desenho 2D e 3D?	Não	Acabamentos (min)	7,55	10	-32%
Desconsiderar tempo de cavidade?	Não	Material (Kg)	0,5	0,49	2%
		Máquina	DT-1	DT-1	
OBSERVAÇÕES					
Tempo de CAM real nulo devido a que a peça já tinha programa feito de um fabrico anterior;					
Tempo de SETUP real mais elevado devido à dimensão reduzida da peça o que requer uma preparação mais cuidada para o terceiro aperto;					
Acabamento demorado devido à necessidade de terminar a furação lateral, pois a broca não pode vaziar completamente a peça para não atingir a mesa da máquina.					
PRINCIPAIS MEDIDAS:					
					

Exemplo de peça em alumínio, de nível um com três apertos necessários para a sua fabricação

DADOS GERAIS					
Referência	POLY201501578_033				
Material	AW6082-T651 PLATE 25 MM				
Quantidade	1				
ESTRATÉGIA		TEMPOS CALCULADOS/TEMPOS REAIS:			
Peça com rigor?	Sim	Operações	Cálculo	Real	Diferença
Nível da peça?	1	CAD (min)	5	5	0%
Número de apertos?	3	CAM (min)	25	22,93	8%
Máquina de 5 eixos?	Não	SETUP (min)	25	24,66	1%
Contemplar desenho 2D?	Sim	Execução (min)	15,32	14,38	6%
Contemplar desenho 2D e 3D?	Não	Acabamentos (min)	1,11	2	-80%
Desconsiderar tempo de cavidade?	1/4	Material (Kg)	0,46	0,47	-2%
		Máquina	MINIMILL	DT-1	
OBSERVAÇÕES					
Máquina selecionada diferente devido ao terceiro aperto. Nesse Aperto a peça passa a ter uma altura de 68 mm devido à necessidade de executar a furação lateral.					
PRINCIPAIS MEDIDAS:					

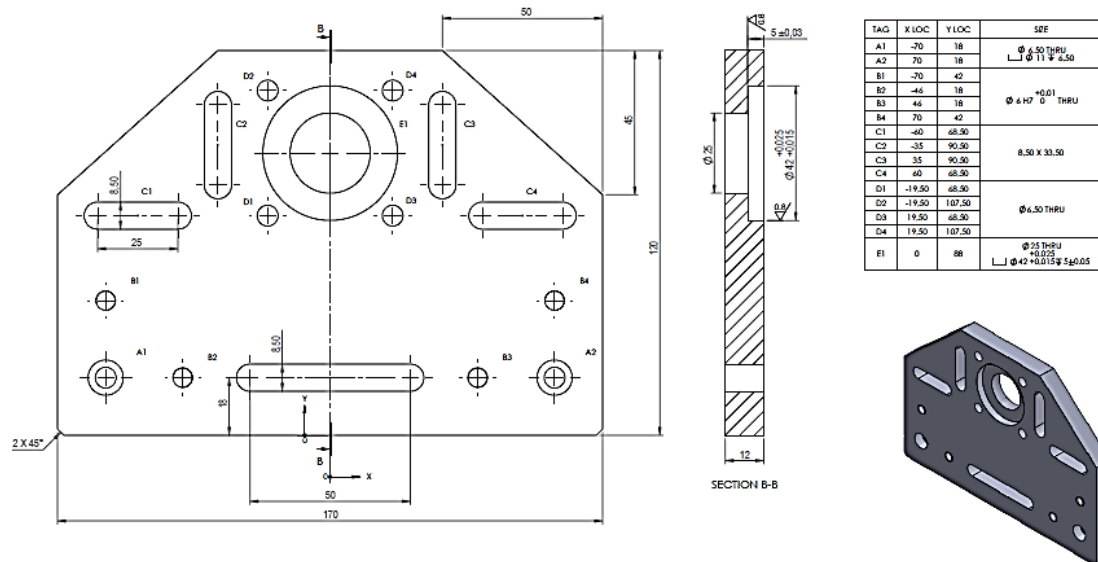
Exemplo de peça em alumínio, de nível dois com três apertos necessários para a sua fabricação

DADOS GERAIS					
Referência		POLY201501325_016			
Material		AW5083 PLATE 15 MM			
Quantidade		6			
ESTRATÉGIA		TEMPOS CALCULADOS/TEMPOS REAIS:			
Peça com rigor?	Não	Operações	Cálculo	Real	Diferença
Nível da peça?	2	CAD (min)	0	0	0%
Número de apertos?	3	CAM (min)	30	19,65	35%
Máquina de 5 eixos?	Não	SETUP (min)	30	22,62	25%
Contemplar desenho 2D?	Não	Execução (min)	36,95	33,11	10%
Contemplar desenho 2D e 3D?	Não	Acabamentos (min)	2,41	8	-232%
Desconsiderar tempo de cavidade?	1/2	Material (Kg)	0,68	0,74	-9%
		Máquina	MINIMILL	DT-1	
OBSERVAÇÕES					
Máquina selecionada diferente por questões de gestão da produção (máquinas ocupadas).					
Acabamentos acima do esperado devido à sua geometria complexa e à estratégia utilizada (zona lateral sem material não permitiu a limpeza da peça na máquina – pouco aperto).					
PRINCIPAIS MEDIDAS:					

Exemplo de peça em alumínio, de nível três com dois apertos necessários para a sua fabricação

DADOS GERAIS					
Referência	POLY201500235_017				
Material	AW6082-T651 PLATE 20 MM				
Quantidade	4				
ESTRATÉGIA		TEMPOS CALCULADOS/TEMPOS REAIS:			
Peça com rigor?	Não	Operações	Cálculo	Real	Diferença
Nível da peça?	3	CAD (min)	16,5	12,21	26%
Número de apertos?	2	CAM (min)	33	12,01	64%
Máquina de 5 eixos?	Não	SETUP (min)	18	33,48	-86%
Contemplar desenho 2D?	Sim	Execução (min)	38,5	27,42	29%
Contemplar desenho 2D e 3D?	Não	Acabamentos (min)	5,11	5,3	-4%
Desconsiderar tempo de cavidade?	Não	Material (Kg)	2,54	2,59	-2%
		Máquina	MINIMILL	DT-1	
OBSERVAÇÕES					
Tempo de SETUP real mais elevado devido a possível erro de picagem. O programa foi feito na máquina, e poderá ter existido confusão na picagem da etapa correcta					
PRINCIPAIS MEDIDAS:					
<p>Technical drawing and 3D model of an aluminum plate. The drawing shows a rectangular plate with dimensions 70x35x12. It features 4x Ø6,65 THRU M8 THRU holes and 3x Ø7 THRU Ø11±0,06 holes. The top corners are chamfered with 2x 45°. A 3D model shows the plate with green highlights on the holes.</p>					

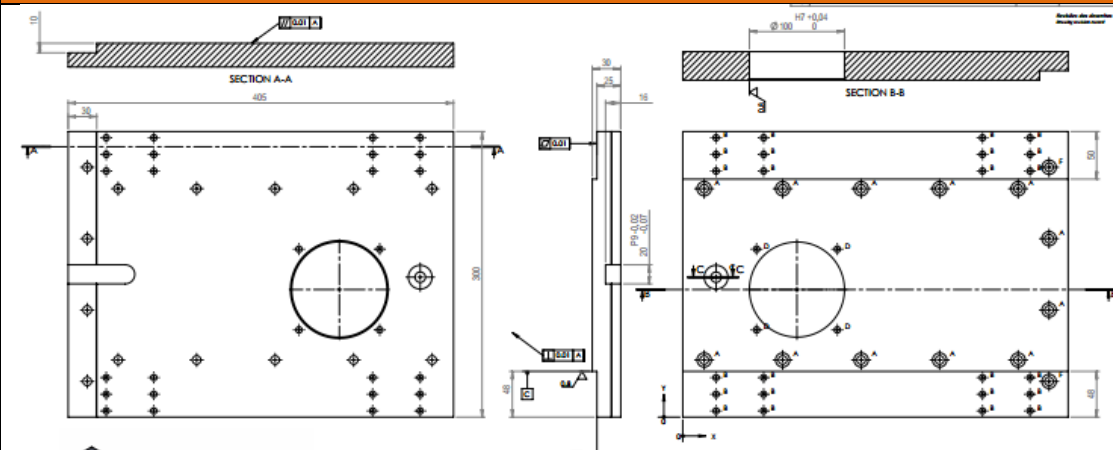
Exemplo de peça em alumínio, de nível quatro com dois apertos necessários para a sua fabricação

DADOS GERAIS																																																																				
Referência	POLY201501578_003																																																																			
Material	AW6082-T651 PLATE 20 MM																																																																			
Quantidade	3																																																																			
ESTRATÉGIA		TEMPOS CALCULADOS/TEMPOS REAIS:																																																																		
Peça com rigor?	Sim	Operações	Cálculo	Real	Diferença																																																															
Nível da peça?	4	CAD (min)	21	15	29%																																																															
Número de apertos?	2	CAM (min)	42	9,66	77%																																																															
Máquina de 5 eixos?	Não	SETUP (min)	21	15,8	25%																																																															
Contemplar desenho 2D?	Não	Execução (min)	63,79	62,69	2%																																																															
Contemplar desenho 2D e 3D?	Não	Acabamentos (min)	6,09	10	-64%																																																															
Desconsiderar tempo de cavidade?	1/2	Material (Kg)	3,76	3,79	-1%																																																															
		Máquina	MINIMILL	VM6																																																																
OBSERVAÇÕES																																																																				
Tempo de CAM reais mais reduzidos devido à execução de peças similares na mesma encomenda;																																																																				
Máquina selecionada diferente por questões de gestão da produção (máquinas ocupadas);																																																																				
Acabamentos acima do esperado possivelmente por erro humano (picagem de tempos incorrecta).																																																																				
PRINCIPAIS MEDIDAS:																																																																				
 <table border="1"> <thead> <tr> <th>TAG</th> <th>X LOC</th> <th>Y LOC</th> <th>SFE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A1</td> <td>-70</td> <td>18</td> <td>Ø 6.50 THRU</td> </tr> <tr> <td>A2</td> <td>70</td> <td>18</td> <td>Ø 11 ± 0.50</td> </tr> <tr> <td>B1</td> <td>-70</td> <td>42</td> <td></td> </tr> <tr> <td>B2</td> <td>-46</td> <td>18</td> <td>Ø 4 H7 Ø ±0.01 THRU</td> </tr> <tr> <td>B3</td> <td>46</td> <td>18</td> <td></td> </tr> <tr> <td>B4</td> <td>70</td> <td>42</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C1</td> <td>-60</td> <td>68.50</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2</td> <td>-35</td> <td>90.50</td> <td>8.50 X 33.50</td> </tr> <tr> <td>C3</td> <td>35</td> <td>90.50</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C4</td> <td>60</td> <td>68.50</td> <td></td> </tr> <tr> <td>D1</td> <td>-19.50</td> <td>68.50</td> <td></td> </tr> <tr> <td>D2</td> <td>-19.50</td> <td>107.50</td> <td>Ø 6.50 THRU</td> </tr> <tr> <td>D3</td> <td>19.50</td> <td>68.50</td> <td></td> </tr> <tr> <td>D4</td> <td>19.50</td> <td>107.50</td> <td></td> </tr> <tr> <td>E1</td> <td>0</td> <td>88</td> <td>Ø 25 THRU ±0.025 L J Ø 42 ±0.015 ± 5µ0.05</td> </tr> </tbody> </table>					TAG	X LOC	Y LOC	SFE	A1	-70	18	Ø 6.50 THRU	A2	70	18	Ø 11 ± 0.50	B1	-70	42		B2	-46	18	Ø 4 H7 Ø ±0.01 THRU	B3	46	18		B4	70	42		C1	-60	68.50		C2	-35	90.50	8.50 X 33.50	C3	35	90.50		C4	60	68.50		D1	-19.50	68.50		D2	-19.50	107.50	Ø 6.50 THRU	D3	19.50	68.50		D4	19.50	107.50		E1	0	88	Ø 25 THRU ±0.025 L J Ø 42 ±0.015 ± 5µ0.05
TAG	X LOC	Y LOC	SFE																																																																	
A1	-70	18	Ø 6.50 THRU																																																																	
A2	70	18	Ø 11 ± 0.50																																																																	
B1	-70	42																																																																		
B2	-46	18	Ø 4 H7 Ø ±0.01 THRU																																																																	
B3	46	18																																																																		
B4	70	42																																																																		
C1	-60	68.50																																																																		
C2	-35	90.50	8.50 X 33.50																																																																	
C3	35	90.50																																																																		
C4	60	68.50																																																																		
D1	-19.50	68.50																																																																		
D2	-19.50	107.50	Ø 6.50 THRU																																																																	
D3	19.50	68.50																																																																		
D4	19.50	107.50																																																																		
E1	0	88	Ø 25 THRU ±0.025 L J Ø 42 ±0.015 ± 5µ0.05																																																																	

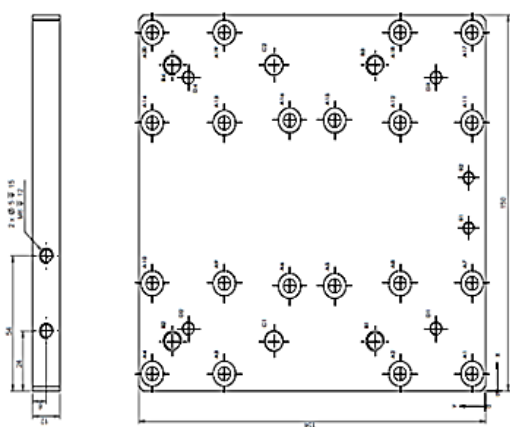

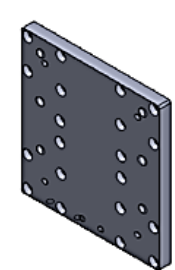
Exemplo de peça em alumínio, de nível cinco com dois apertos necessários para a sua fabricação

DADOS GERAIS					
Referência	POLY201500140_001				
Material	AW5083-H111 PLATE 40 MM				
Quantidade	1				
ESTRATÉGIA		TEMPOS CALCULADOS/TEMPOS REAIS:			
Peça com rigor?	Não	Operações	Cálculo	Real	Diferença
Nível da peça?	5	CAD (min)	0	0	0%
Número de apertos?	2	CAM (min)	31	33,43	-8%
Máquina de 5 eixos?	Não	SETUP (min)	23	30,35	-32%
Contemplar desenho 2D?	Não	Execução (min)	24,52	22,83	7%
Contemplar desenho 2D e 3D?	Não	Acabamentos (min)	1,12	5	-346%
Desconsiderar tempo de cavidade?	1/4	Material (Kg)	0,72	0,73	-1%
		Máquina	MINIMILL	MINIMILL	
OBSERVAÇÕES					
Acabamentos e SETUP reais acima do esperado provavelmente por erro de picagem de tempos. Peça deve sair limpa de máquina					
PRINCIPAIS MEDIDAS:					
<p>Technical drawings showing the dimensions and features of the aluminum plate:</p> <ul style="list-style-type: none"> Top view: 16 holes of diameter $\varnothing 2.50 \pm 0.03$ arranged in a 4x4 grid. Chamfered edges: $\sqrt{\varnothing 11.50 \times 90^\circ}$. Side view: SECTION A-A, thickness 30 mm. Detail view: 4 holes of diameter $\varnothing 2.50 \pm 0.03$ with chamfered edges $M3 - 6H \pm 0.05$. 3D perspective view of the plate with a handle on the side. 					

Exemplo de peça em alumínio, de nível sete com dois apertos necessários para a sua fabricação

DADOS GERAIS					
Referência	POLY201500824_001				
Material	AW7075-T651 PLATE 35 MM				
Quantidade	4				
ESTRATÉGIA		TEMPOS CALCULADOS/TEMPOS REAIS:			
Peça com rigor?	Não	Operações	Cálculo	Real	Diferença
Nível da peça?	7	CAD (min)	0	0	0%
Número de apertos?	2	CAM (min)	63,5	36,74	42%
Máquina de 5 eixos?	Sim	SETUP (min)	30,5	47,16	-55%
Contemplar desenho 2D?	Não	Execução (min)	263,5	193,16	27%
Contemplar desenho 2D e 3D?	Não	Acabamentos (min)	15,24	20	-31%
Desconsiderar tempo de cavidade?	1/4	Material (Kg)	50,45	50,61	0%
		Máquina	DMU80	DMU80	
OBSERVAÇÕES					
Tempo de CAM reais mais reduzidos devido à execução de peças simétrica na mesma encomenda;					
SETUP real acima do esperado provavelmente por erro de picagem de tempos.					
PRINCIPAIS MEDIDAS:					
 <p>The technical drawing includes two cross-sections: SECTION A-A and SECTION B-B. SECTION A-A shows a part with a total width of 405 and a height of 100. SECTION B-B shows a part with a total width of 100 and a height of 100. A mesh view of the part is also shown, indicating a complex geometry. Dimensions are provided in millimeters, and a tolerance of H7 +0,04 is specified for a hole diameter of 100.</p>					

Exemplo de peça em alumínio, de nível oito com dois apertos necessários para a sua fabricação

DADOS GERAIS					
Referência	POLY201501578_025				
Material	AW6082-T651 PLATE 20 MM				
Quantidade	1				
ESTRATÉGIA		TEMPOS CALCULADOS/TEMPOS REAIS:			
Peça com rigor?	Não	Operações	Cálculo	Real	Diferença
Nível da peça?	8	CAD (min)	32,5	15	54%
Número de apertos?	2	CAM (min)	58,75	36,76	37%
Máquina de 5 eixos?	Sim	SETUP (min)	32,5	20	38%
Contemplar desenho 2D?	Não	Execução (min)	25,42	24,84	2%
Contemplar desenho 2D e 3D?	Sim	Acabamentos (min)	1,79	2	-12%
Desconsiderar tempo de cavidade?	Não	Material (Kg)	1,41	1,41	0%
		Máquina	DMU50	DMU80	
OBSERVAÇÕES					
Tempo de CAD, CAM e SETUP reais mais reduzidos devido à furação ser praticamente toda do mesmo tipo.					
PRINCIPAIS MEDIDAS:					
					

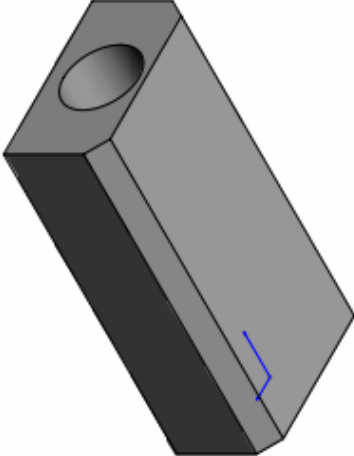
ANEXO II

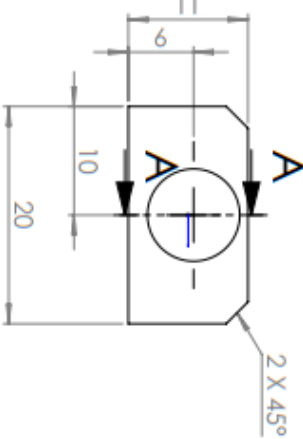
Peças exemplo para fresadoras de aperto mecânico

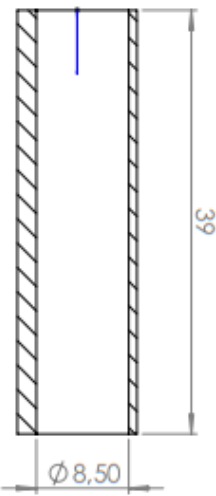
POLY201401227_002

Plano:

Desenho Técnico Geral








SECTION A-A

Rev. Alterações / Changes	Data / Date
a)	
b)	

Desenho de detalhes
Drawing details view

Símbolo / Símbolo 20 / 30 Espessura / Espessura 20 / 30	Tipo / Tipo Placa / Placa	Material / Material PE-HD/E PLATE 20 MM BLACK	Norma / Norma ISO 9001	Data / Data 16.12.2013	Folha / Folha 1 de 1
--	------------------------------	--	---------------------------	---------------------------	-------------------------

Nome / Nome POLY201401227_002	
Data / Data 16.12.2013	Folha / Folha 1 de 1



LANEMA
Oscar - Portugal

Aprovado por: SM
 Data UH Actualiz.: 16.12.2013

CONFIDENCIAL

Este documento tem in formação própria e de a Lanema e não pode ser utilizado, reproduzido, divulgado, no todo ou em parte, ou copiado ou a terceiros sem a autorização da Lanema.
 This document contains proprietary information of Lanema and its information may not be used, reproduced, disclosed, in whole or in part, or communicated to third parties without written permission of Lanema.

Registo PHC Enterprise:

Movimento	Encomenda P	Operação	Artigo	Descrição	QuantidadeUnida
1 - Material	2015003717	CORTAR MATERIAL	0002208.700408.E	PE-HD/E PLATE 20 MM 2050X3050 BLACK	0,49 KG
2 - Tempo Máquina	2015003717	CAM - HAAS SUPER MINI MI	CAM-SALA	CAM SALA	0,03 *
2 - Tempo Máquina	2015003717	CAM - HAAS SUPER MINI MI	CAM-SALA	CAM SALA	0,08 *
2 - Tempo Máquina	2015003717	CAM - HAAS SUPER MINI MI	CAM-SALA	CAM SALA	0,03 *
2 - Tempo Máquina	2015003717	SETUP DE MÁQUINA	MINIMILL	CENTRO DE MAQUINAÇÃO HAAS SUPER MI	8,48 *
2 - Tempo Máquina	2015003717	EXECUÇÃO 1º LADO	MINIMILL	CENTRO DE MAQUINAÇÃO HAAS SUPER MI	19,23 *
2 - Tempo Máquina	2015003717	SETUP DE MÁQUINA	MINIMILL	CENTRO DE MAQUINAÇÃO HAAS SUPER MI	9,08 *
2 - Tempo Máquina	2015003717	EXECUÇÃO LADO OPOSTO	MINIMILL	CENTRO DE MAQUINAÇÃO HAAS SUPER MI	21,03 *
2 - Tempo Máquina	2015003717	SETUP DE MÁQUINA	MINIMILL	CENTRO DE MAQUINAÇÃO HAAS SUPER MI	15,98 *
2 - Tempo Máquina	2015003717	EXECUÇÃO LADO OPOSTO	MINIMILL	CENTRO DE MAQUINAÇÃO HAAS SUPER MI	14,48 *
2 - Tempo Máquina	2015003717	ACABAMENTOS	ACABAMEN	OPERAÇÕES COMPLEMENTARES E/OU DE F	10,00 *
3 - Produção	2015003717	ACABAMENTOS	POLY201401227_002	BARRA DE APOIO DESº 801503001.00	20,00 uni

Orçamento:

ORÇ. MANUF.	DESIGNAÇÃO	QTD.	UNL	VENDA	TOTAL
POLY201401227_002	POLY 2014 01227_002 39x20x11 mm	20	uni		
	PE-HD/E PLATE 20 MM 2050X3050 BLACK Bloco(s) c/ 46x27x20 mm	0,50	kg		
	CAM (MINIMILL)	25,00	*		
	SETUP (MINIMILL)	25,00	*		
	EXECUÇÃO (MINIMILL) (1,5h min/peça)	70,78	*		
	ACABAMENTOS	7,95	*		
	NÍVEL DA PEÇA:	1			
	NÚMERO DE APERTOS:	3			
				CUSTO MATERIAL:	- €
				CUSTO MAQUINAÇÃO:	
COMENTÁRIOS TÉCNICOS:					

Desenvolvido por André Vasconcelos - Dept. INGENHARIA

Registo PHC Enterprise:

Movimento	Encomenda P	Operação	Artigo	Descrição	Quantidade	Unidade
1 - Material	2015002925	CORTAR MATERIAL	0023600.004215	ALUMINIO AW5083 RECTIFICADO PLATE 1.5 MM 2150X4	0,74	KG
2 - Tempo Máquina	2015002925	CAM - HAAS DT-1	CAM-SALA	CAM SALA	7,00	"
2 - Tempo Máquina	2015002925	CAM - HAAS DT-1	CAM-SALA	CAM SALA	2,00	"
2 - Tempo Máquina	2015002925	CAM - HAAS DT-1	CAM-SALA	CAM SALA	10,65	"
2 - Tempo Máquina	2015002925	SETUP DE MÁQUINA	DT-1----	CENTRO DE MAQUINAÇÃO HAAS DT-1	3,38	"
2 - Tempo Máquina	2015002925	EXECUÇÃO 1º LADO	DT-1----	CENTRO DE MAQUINAÇÃO HAAS DT-1	13,15	"
2 - Tempo Máquina	2015002925	SETUP DE MÁQUINA	MINIMIL2	CENTRO DE MAQUINAÇÃO HAAS SUPER MINI MILL HE (13,76	"
2 - Tempo Máquina	2015002925	EXECUÇÃO LADO OPOSTO	MINIMIL2	CENTRO DE MAQUINAÇÃO HAAS SUPER MINI MILL HE (7,46	"
2 - Tempo Máquina	2015002925	SETUP DE MÁQUINA	MINIMIL2	CENTRO DE MAQUINAÇÃO HAAS SUPER MINI MILL HE (5,48	"
2 - Tempo Máquina	2015002925	EXECUÇÃO LADO OPOSTO	MINIMIL2	CENTRO DE MAQUINAÇÃO HAAS SUPER MINI MILL HE (5,00	"
2 - Tempo Máquina	2015002925	ACABAMENTOS	ACABAMEN	OPERAÇÕES COMPLEMENTARES E/OU DE FINALIZAÇÃO	8,00	"
3 - Produção	2015002925	ACABAMENTOS	POLY201501325_016	PEÇA CONF. PL. 24211-46-192X-R06	4,00	uni

Orçamento:

ORÇ. MANUF.	DESIGNAÇÃO	QTD.	UNI.	VENDA	TOTAL
POLY201501325_016	POLY201501325_016 96,25x33x10 mm	3	uni		
	ALUMINIO AW6082-T651 PLATE 1.5 MM 1520X020 Bloco(s) c/ 105,25x40x15 mm	(PV1) 0,51	kg		
	CAM (MINIMIL)	30,00	"		
	SETUP (MINIMIL)	30,00	"		
	EXECUÇÃO (MINIMIL) (12,12 min/peça)	36,95	"		
	ACABAMENTOS	2,41	"		
	<u>NÍVEL DA PEÇA:</u>	2			
	<u>NÚMERO DE APERTOS:</u>	3			
				CUSTO MATERIAL:	- €
				CUSTO MAQUINAÇÃO:	
COMENTÁRIOS TÉCNICOS:					

Dados validados por: Pedro Nogueira - Dept. Engenharia

Registo PHC Enterprise:

Movimento	Encomenda P	Operação	Artigo	Descrição	QuantidadeUnidade
1 - Material	2015000641	CORTAR MATERIAL	0021158.190208	ALUMINIO AW6082-T651 PLATE 20 MM 1520	2,59 KG
2 - Tempo Máquina	2015000641	MODELAÇÃO CAD	PREP-CAD	PROJECTO DE CAD	12,21 "
2 - Tempo Máquina	2015000641	CAM MÁQUINA	MINIMILL	CENTRO DE MAQUINAÇÃO HAAS SUPER MI	7,88 "
2 - Tempo Máquina	2015000641	CAM MÁQUINA	MINIMILL	CENTRO DE MAQUINAÇÃO HAAS SUPER MI	4,13 "
2 - Tempo Máquina	2015000641	SETUP DE MÁQUINA	MINIMILL	CENTRO DE MAQUINAÇÃO HAAS SUPER MI	13,23 "
2 - Tempo Máquina	2015000641	EXECUÇÃO 1º LADO	MINIMILL	CENTRO DE MAQUINAÇÃO HAAS SUPER MI	19,06 "
2 - Tempo Máquina	2015000641	SETUP DE MÁQUINA	MINIMILL	CENTRO DE MAQUINAÇÃO HAAS SUPER MI	20,25 "
2 - Tempo Máquina	2015000641	EXECUÇÃO LADO OPOSTO	MINIMILL	CENTRO DE MAQUINAÇÃO HAAS SUPER MI	8,36 "
2 - Tempo Máquina	2015000641	ACABAMENTOS	ACABAMEN	OPERAÇÕES COMPLEMENTARES E/OU DE F.	5,30 "
3 - Produção	2015000641	ACABAMENTOS	POLY201500235_017	BRIDA CORREA PL° P-40026-92516	4,00 uni

Orçamento:

ORÇ. MANUF.	DESIGNAÇÃO	QTD.	UNI.	VENDA	TOTAL
POLY201500235_017	POLY201500235_017 140x70x12 mm	4	uni		
	ALUMINIO AW6082-T651 PLATE 20 MM 1520X1020 Bloco(s) c/ 149x79x20 mm	2,59	kg		
	PROJECTO DE CAD	12,21	"		
	CAM (MINIMILL)	12,01	"		
	SETUP (MINIMILL)	13,23	"		
	EXECUÇÃO (MINIMILL)	19,06	"		
	ACABAMENTOS	5,30	"		
	NÍVEL DA PEÇA:	3			
	NÚMERO DE APERTOS:	2			
				CUSTO MATERIAL:	- €
				CUSTO MAQUINAÇÃO:	
COMENTÁRIOS TÉCNICOS:					

Desenvolvido por Pedro Nogueira - Dept. TECNOLANEMA

Registo PHC Enterprise:

Movimento	Encomenda P	Operação	Artigo	Descrição	QuantidadeUnida
1 - Material	2015003733	CORTAR MATERIAL	0021158.190208	ALUMINIO AW6082-T651 PLATE 20 MM 1520	3,79 KG
2 - Tempo Máquina	2015003733	MODELAÇÃO CAD	PREP-CAD	PROJECTO DE CAD	10,00 "
2 - Tempo Máquina	2015003733	CAM - HAAS VM6	CAM-SALA	CAM SALA	0,41 "
2 - Tempo Máquina	2015003733	CAM - HAAS VM6	CAM-SALA	CAM SALA	9,25 "
2 - Tempo Máquina	2015003733	SETUP DE MÁQUINA	VM6-----	CENTRO DE MAQUINAÇÃO VM-6	10,00 "
2 - Tempo Máquina	2015003733	EXECUÇÃO 1º LADO	VM6-----	CENTRO DE MAQUINAÇÃO VM-6	47,33 "
2 - Tempo Máquina	2015003733	SETUP DE MÁQUINA	VM6-----	CENTRO DE MAQUINAÇÃO VM-6	5,80 "
2 - Tempo Máquina	2015003733	EXECUÇÃO LADO OPOSTO	VM6-----	CENTRO DE MAQUINAÇÃO VM-6	15,36 "
2 - Tempo Máquina	2015003733	ACABAMENTOS	ACABAMEN	OPERAÇÕES COMPLEMENTARES E/OU DE F.	10,00 "
3 - Produção	2015003733	ACABAMENTOS	POLY201501578_003	BASE DE UNIDAD PIVOTANTE PL. P-1106-414	3,00 uni

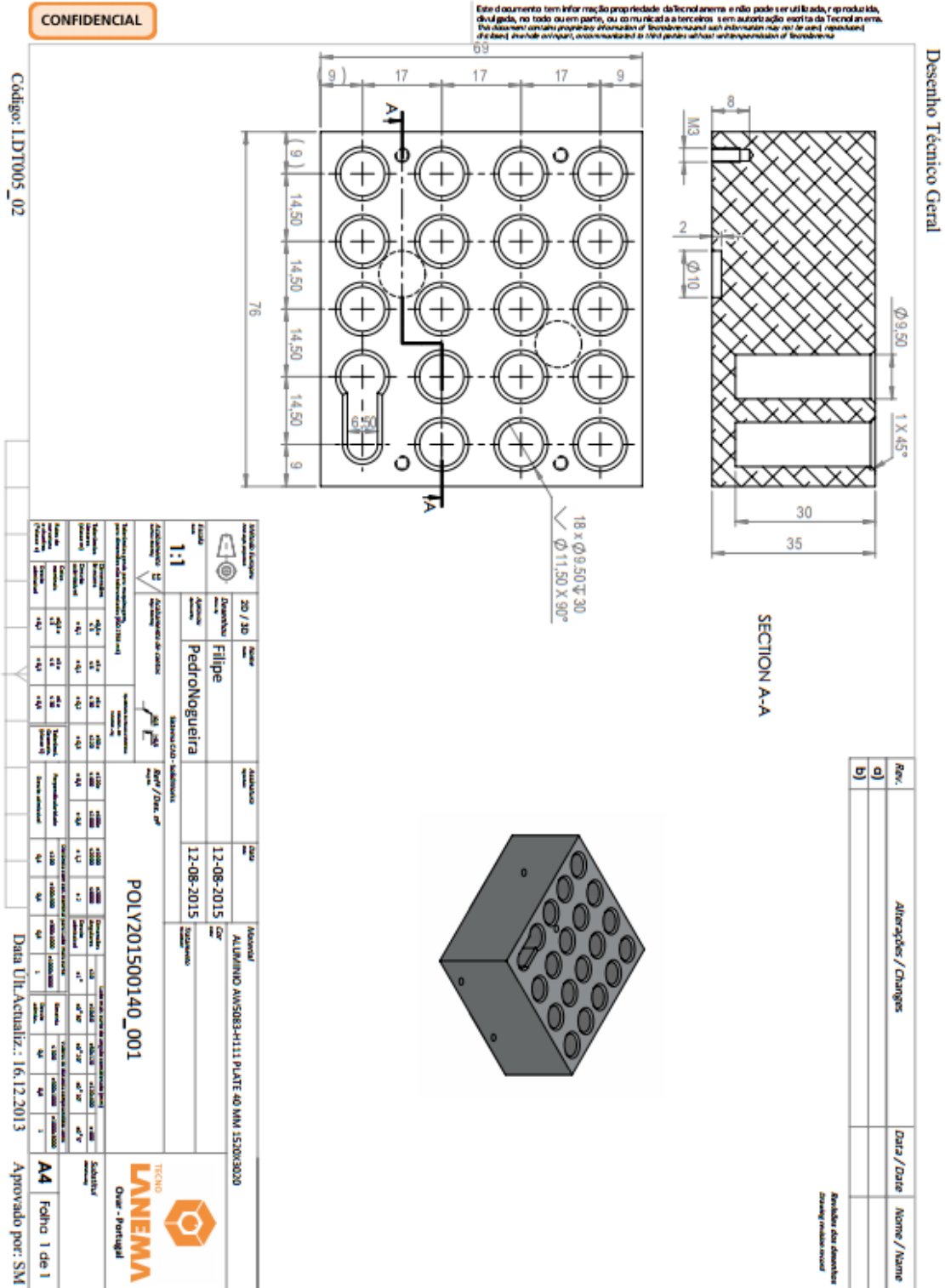
Orçamento:

ORÇ. MANUF.		DESIGNAÇÃO	QTD.	UNI.	VENDA	TOTAL
POLY 201501578_003	POLY201501578_003 170x120x12 mm		3	uni		
	ALUMINIO AW6082-T651 PLATE 20 MM 1520X1020 Bloco(s) c/ 180x129x20 mm	(PV1)	3,76	kg		
	PROJECTO DE CAD		21,00	"		
	CAM (MINIMILL)		42,00	"		
	SETUP (MINIMILL)		21,00	"		
	EXECUÇÃO (MINIMILL) (25,24 min/peça)		63,72	"		
	ACABAMENTOS		5,00	"		
	NÍVEL DA PEÇA:		4			
	NÚMERO DE APERTOS:		2			
					CUSTO MATERIAL:	- €
					CUSTO MAQUINAÇÃO:	
COMENTÁRIOS TÉCNICOS:						

Desenvolvido por Pedro Nogueira - Dept. TECNOLOGIA

POLY201500140_001

Plano:



Registo PHC Enterprise:

Movimento	Encomenda P	Operação	Artigo	Descrição	QuantidadeUnida
1 - Material	2015000521	CORTAR MATERIAL	0023600.004240	ALUMINIO AW5083 RECTIFICADO PLATE 40 I	0,73 KG
2 - Tempo Máquina	2015000521	CAM - HAAS SUPER MINI MI	CAM-SALA	CAM SALA	28,43 "
2 - Tempo Máquina	2015000521	CAM MÁQUINA	MINIMILL	CENTRO DE MAQUINAÇÃO HAAS SUPER MI	5,00 "
2 - Tempo Máquina	2015000521	SETUP DE MÁQUINA	MINIMILL	CENTRO DE MAQUINAÇÃO HAAS SUPER MI	18,95 "
2 - Tempo Máquina	2015000521	EXECUÇÃO 1º LADO	MINIMILL	CENTRO DE MAQUINAÇÃO HAAS SUPER MI	17,65 "
2 - Tempo Máquina	2015000521	SETUP DE MÁQUINA	MINIMILL	CENTRO DE MAQUINAÇÃO HAAS SUPER MI	11,40 "
2 - Tempo Máquina	2015000521	EXECUÇÃO LADO OPOSTO	MINIMILL	CENTRO DE MAQUINAÇÃO HAAS SUPER MI	5,18 "
2 - Tempo Máquina	2015000521	ACABAMENTOS	ACABAMEN	OPERAÇÕES COMPLEMENTARES E/OU DE F.	5,00 "
3 - Produção	2015000521	ACABAMENTOS	POLY201500140_001	INCUBADORA PLº 89	1,00 uni

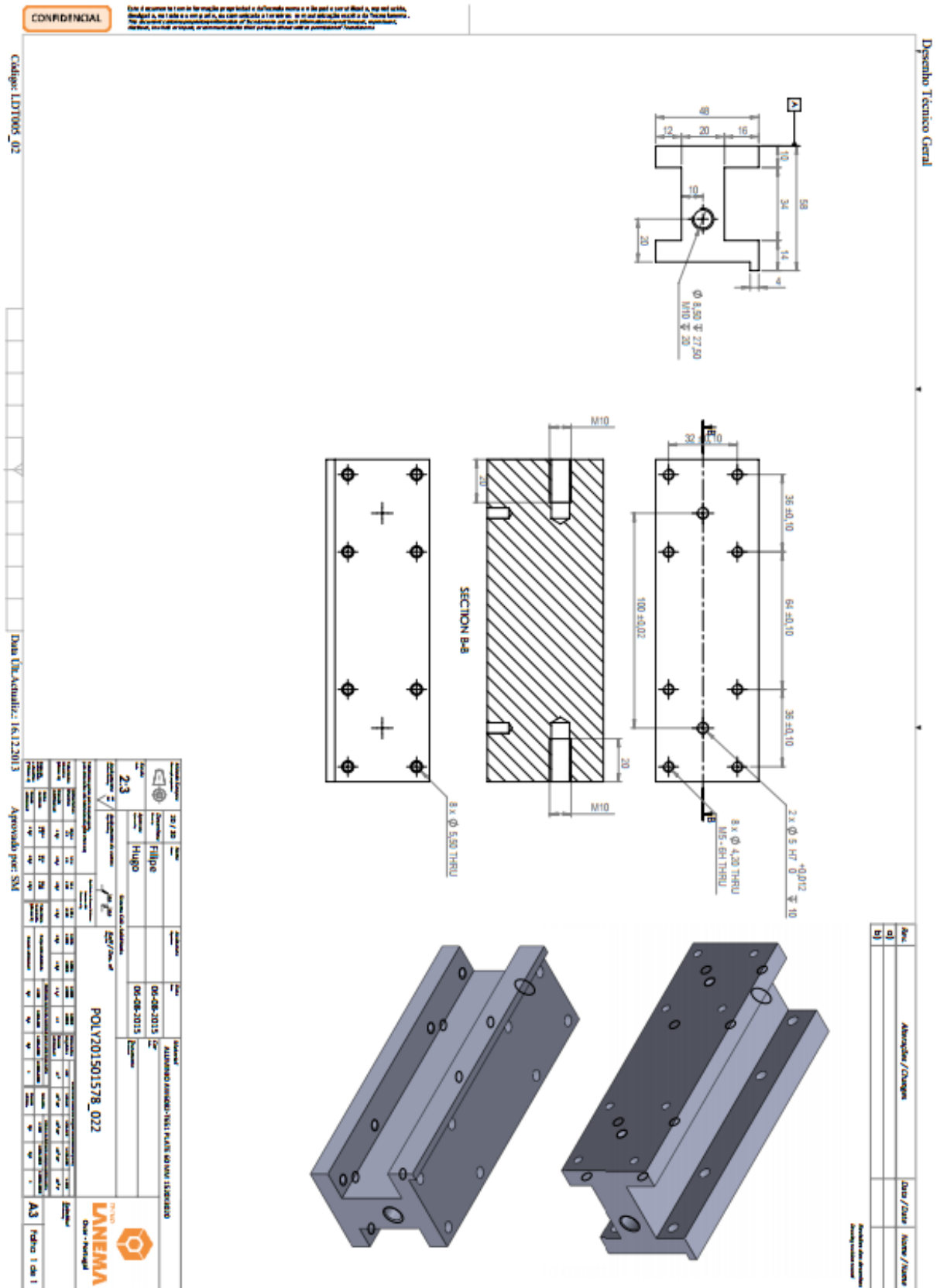
Orçamento:

ORÇ. MANUF.	DESIGNAÇÃO	QTD.	UNI.	VENDA	TOTAL
POLY201500140_001	POLY201500140_001 76x69x35 mm	1	uni		
	ALUMINIO AW5083-H111 PLATE 40 MM 1520X3020 Blocos) c/ 85x78x40 mm	0,72	kg		
	CAM (MINIMILL)	31,00	"		
	SETUP (MINIMILL)	23,00	"		
	EXECUÇÃO (MINIMILL) (24,53 min/peça)	24,52	"		
	ACABAMENTOS	1,12	"		
	NÍVEL DA PEÇA:	5			
	NÚMERO DE APERTOS:	2			
				CUSTO MATERIAL:	- €
				CUSTO MAQUINAÇÃO:	
COMENTÁRIOS TÉCNICOS:					

Desenvolvido por Pedro Nogueira - Dept. TECNOLOGIA

POLY201501578_022

Plano:



Registo PHC Enterprise:

Movimento	Encomenda P	Operação	Artigo	Descrição	Quantidade/Unidade
1 - Material	2015003728	CORTAR MATERIAL	0021162.190213	ALUMINIO AW6082-T651 PLATE 55 MM 1520	3,33 KG
2 - Tempo Máquina	2015003728	MODELAÇÃO CAD	PREP-CAD	PROJECTO DE CAD	15,00 *
2 - Tempo Máquina	2015003728	CAM - DMU 80 EVO	CAM-SALA	CAM SALA	36,53 *
2 - Tempo Máquina	2015003728	CAM - HAAS DT-1	CAM-SALA	CAM SALA	18,63 *
2 - Tempo Máquina	2015003728	SETUP DE MÁQUINA	DMU80CNC	CENTRO DE MAQUINAÇÃO DMU 80 EVO	7,45 *
2 - Tempo Máquina	2015003728	EXECUÇÃO 1º LADO	DMU80CNC	CENTRO DE MAQUINAÇÃO DMU 80 EVO	17,08 *
2 - Tempo Máquina	2015003728	SETUP DE MÁQUINA	DT-1 ----	CENTRO DE MAQUINAÇÃO HAAS DT-1	9,65 *
2 - Tempo Máquina	2015003728	EXECUÇÃO LADO OPOSTO	DT-1 ----	CENTRO DE MAQUINAÇÃO HAAS DT-1	12,65 *
2 - Tempo Máquina	2015003728	ACABAMENTOS	ACABAMEN	OPERAÇÕES COMPLEMENTARES E/OU DE F.	6,00 *
3 - Produção	2015003728	ACABAMENTOS	POLY201501578_022	CALZO DE PATIN AVANCE PALET PL. P-4002-4	2,00 uni

Orçamento:

ORÇ. MANUF.		DESIGNAÇÃO	QTD.	UNL.	VENDA	TOTAL
POLY201501578_022	POLY201501578_022	150x58x48 mm	2	uni		
	ALUMINIO AW6082-T651 PLATE 55 MM 152003020	Bloco(s) c/ 159x67x55 mm	3,16	kg		
	PROJECTO DE CAD		25,00	*		
	CAM (DMU 80)		52,90	*		
	SETUP (DMU 80)		25,00	*		
	EXECUÇÃO (DMU 80)	(20,62 min/peça)	41,23	*		
	ACABAMENTOS		2,70	*		
	NÍVEL DA PEÇA:		6			
	NÚMERO DE APERTOS:		2			
					CUSTO MATERIAL:	- €
					CUSTO MAQUINAÇÃO:	
COMENTÁRIOS TÉCNICOS:						

_Desenvolvido por Pedro Nogueira - Doc. TÉCNICO 01/01/04

Registo PHC Enterprise:

Movimento	Encomenda P	Operação	Artigo	Descrição	Quantidade	Unidade
1 - Material	2015002123	CORTAR MATERIAL	0022130.001035	ALUMINIO AW7075-T651 PLATE 35 MM 1520	50,61	KG
2 - Tempo Máquina	2015002123	CAM - DMU 80 EVO	CAM-SALA	CAM SALA	17,93	*
2 - Tempo Máquina	2015002123	CAM - DMU 80 EVO	CAM-SALA	CAM SALA	18,81	*
2 - Tempo Máquina	2015002123	SETUP DE MÁQUINA	DMU80CNC	CENTRO DE MAQUINAÇÃO DMU 80 EVO	28,16	*
2 - Tempo Máquina	2015002123	EXECUÇÃO 1º LADO	DMU80CNC	CENTRO DE MAQUINAÇÃO DMU 80 EVO	106,46	*
2 - Tempo Máquina	2015002123	SETUP DE MÁQUINA	DMU80CNC	CENTRO DE MAQUINAÇÃO DMU 80 EVO	19,00	*
2 - Tempo Máquina	2015002123	EXECUÇÃO LADO OPOSTO	DMU80CNC	CENTRO DE MAQUINAÇÃO DMU 80 EVO	59,30	*
2 - Tempo Máquina	2015002123	ROSCAR/FURAR/MANDRILA	ROSCADOR	ROSCAMAT 9000 NC	27,40	*
2 - Tempo Máquina	2015002123	ACABAMENTOS	ACABAMEN	OPERAÇÕES COMPLEMENTARES E/OU DE F	20,00	*
3 - Produção	2015002123	ACABAMENTOS	POLY201500824_004	CHAPA PL. 0001-9950 REV.01	4,00	uni

Orçamento:

ORÇ. MANUF.	DESIGNAÇÃO	QTD.	UNL.	VENDA	TOTAL
POLY201500824_004	POLY201500824_004 405x300x30 mm	4	uni		
	ALUMINIO AW7075-T651 PLATE 35 MM 1520G020 Blocos) c/ 415x309x35 mm	50,61	kg		
	CAM (DMU 80)	63,50	*		
	SETUP (DMU 80)	30,50	*		
	EXECUÇÃO (DMU 80) (85,94 min/peça)	263,73	*		
	ACABAMENTOS	15,24	*		
	NÍVEL DA PEÇA:	7			
	NÚMERO DE APERTOS:	2			
				CUSTO MATERIAL:	- €
				CUSTO MAQUINAÇÃO:	
COMENTÁRIOS TÉCNICOS:					

Desenvolvido por Pedro Nogueira - Det. TECNOLANEMA

Registo PHC Enterprise:

Movimento	Encomenda P	Operação	Artigo	Descrição	QuantidadeUnida
1 - Material	2015003702	CORTAR MATERIAL	0021158.190208	ALUMINIO AW6082-T651 PLATE 20 MM 1520	1,41 KG
2 - Tempo Máquina	2015003702	MODELAÇÃO CAD	PREP-CAD	PROJECTO DE CAD	15,00 "
2 - Tempo Máquina	2015003702	CAM - DMU 80 EVO	CAM-SALA	CAM SALA	24,60 "
2 - Tempo Máquina	2015003702	CAM - HAAS SUPER MINI MI	CAM-SALA	CAM SALA	12,16 "
2 - Tempo Máquina	2015003702	SETUP DE MÁQUINA	DMU80CNC	CENTRO DE MAQUINAÇÃO DMU 80 EVO	15,00 "
2 - Tempo Máquina	2015003702	EXECUÇÃO 1º LADO	DMU80CNC	CENTRO DE MAQUINAÇÃO DMU 80 EVO	18,36 "
2 - Tempo Máquina	2015003702	SETUP DE MÁQUINA	MINIMILL	CENTRO DE MAQUINAÇÃO HAAS SUPER MI	5,00 "
2 - Tempo Máquina	2015003702	EXECUÇÃO LADO OPOSTO	MINIMILL	CENTRO DE MAQUINAÇÃO HAAS SUPER MI	6,48 "
2 - Tempo Máquina	2015003702	ACABAMENTOS	ACABAMEN	OPERAÇÕES COMPLEMENTARES E/OU DE F	2,00 "
3 - Produção	2015003702	ACABAMENTOS	POLY201501578_025	PLACA DE CALZOS DE PATIN AVANCE PL. P-4	1,00 uni

Orçamento:

ORÇ. MANUF.		DESIGNAÇÃO	QTD.	UNL.	VENDA	TOTAL
POLY201501578_025	POLY201501578_025 154x150x12 mm		1	uni		
	ALUMINIO AW6082-T651 PLATE 20 MM 152003020 Bloco(s) c/ 164x158x20 mm	(PV1)	1,41	kg		
	PROJECTO DE CAD		32,90	"		
	CAM (DMU 80)		58,75	"		
	SETUP (DMU 80)		32,90	"		
	EXECUÇÃO (DMU 80) (25,42 min/peça)		25,42	"		
	ACABAMENTOS		1,84	"		
	NÍVEL DA PEÇA:		8			
	NÚMERO DE APERTOS:		2			
					CUSTO MATERIAL:	- €
					CUSTO MAQUINAÇÃO:	
COMENTÁRIOS TÉCNICOS:						

Desenvolvido por Pedro Nogueira - Dst. TECNOLANEMA

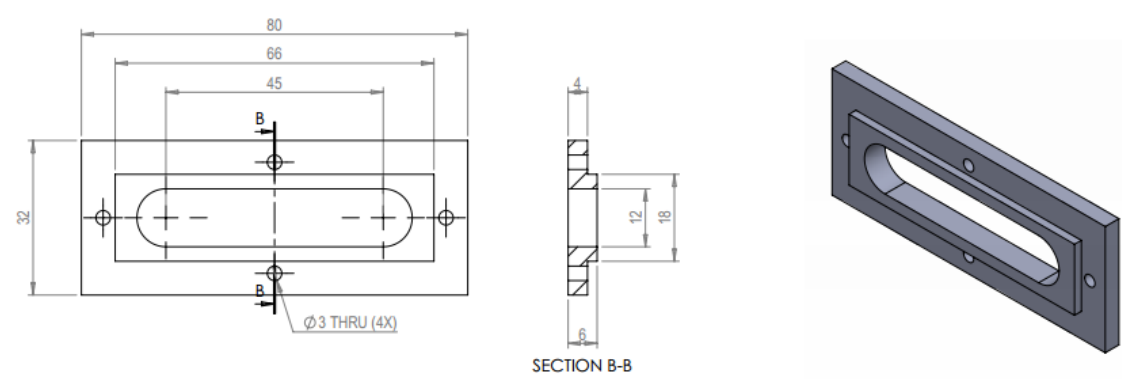
ANEXO III

Resultados dos exemplos para MECAS

Exemplo de peça em alumínio, com um aperto necessário para a sua fabricação

DADOS GERAIS					
Referência	POLY201500085_001				
Material	AW5083 RECT. PLATE 40 MM				
Quantidade	1				
ESTRATÉGIA GLOBAL		TEMPOS CALCULADOS/TEMPOS REAIS			
Peça com rigor?	Não	Operações	Cálculo	Real	Diferença
Com facejamento?	Não	CAM (1º Aperto):	45	120	-167%
Contemplar desenho 2D?	Não	SETUP (1º Aperto):	24	21	13%
Contemplar desenho 2D e 3D?	Não	Execução (1º Aperto):	228,9	222,35	3%
Cavidades com rigor?	Não	ROSCAMAT:	49,02	32,25	34%
		Acabamentos:	37,79	21,31	44%
MÁQUINAS SELECIONADAS					
	CÁLCULO:	REAL:			
1º Aperto	MECA SIEMENS	MECA SIEMENS			
2º Aperto					
1º Auxiliar					
2º Auxiliar					
3º Auxiliar					
4º Auxiliar					
OBSERVAÇÕES					
<p>CAM calculado inferior devido à existência de inúmeros furos. Torna mais complexa a programação. De qualquer forma, os actuais métodos de programação permitem o reconhecimento da maioria dos furos, selecionando automaticamente ferramentas e operações, reduzindo consideravelmente os tempos de programação.</p>					
PRINCIPAIS MEDIDAS					
<p>The drawing shows a top view of a rectangular part with a total width of 875 mm and a total height of 500 mm. A central section is 370 mm wide and 201.50 mm high. There are several holes and features labeled with letters A through F. A section line A-A is shown at the bottom. To the right, 'DETAIL B' is shown at a scale of 1:3, highlighting a specific curved feature with a radius of R6.50 and a height of 95 mm. Other dimensions include 257 mm, 10 mm, 70 mm, and 18 mm.</p>					

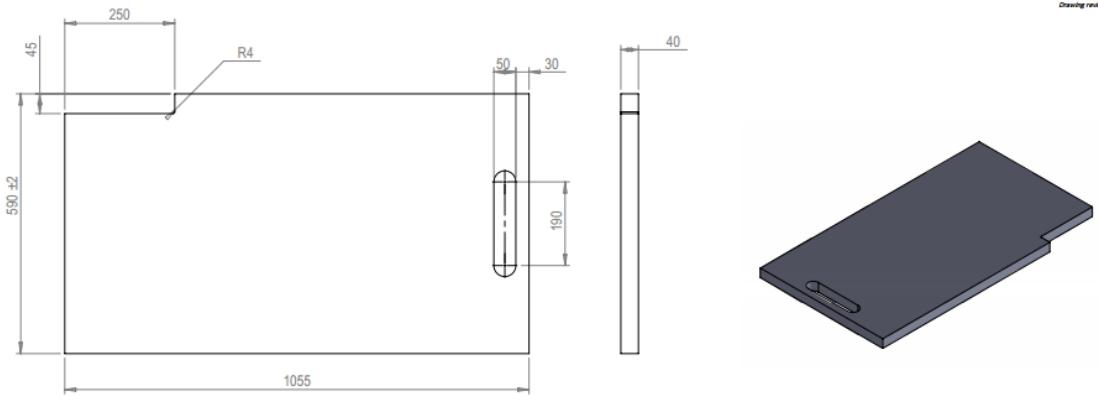
Exemplo de peça em plástico, com um aperto necessários para a sua fabricação

DADOS GERAIS					
Referência	POLY201500176_001				
Material	TIVAR TECH PLATE 8 MM				
Quantidade	156				
ESTRATÉGIA GLOBAL		TEMPOS CALCULADOS/TEMPOS REAIS			
Peça com rigor?	Não	Operações	Cálculo	Real	Diferença
Com facejamento?	Sim	CAM (Facejamento):	10	5	50%
Contemplar desenho 2D?	Não	Setup (facejamento):	10	6,88	31%
Contemplar desenho 2D e 3D?	Não	Execução (facejamento):	29,52	26,96	9%
Cavidades com rigor?	Não	CAM (1º Aperto):	20,75	30	-45%
		SETUP (1º Aperto):	16,5	5	70%
		Execução (1º Aperto):	416,76	337,81	19%
MÁQUINAS SELECIONADAS		Acabamentos:	280,16	438,63	-57%
	CÁLCULO:	REAL:			
1º Aperto	MECA 4121	MECA 4121			
2º Aperto					
1º Auxiliar					
2º Auxiliar					
3º Auxiliar					
4º Auxiliar					
OBSERVAÇÕES					
Tempos de execução mais elevados que o esperado, devido à otimização de estratégias de desbaste em mais que uma peça;					
Tempos de acabamento reais elevados, devido à possibilidade de as peças saírem com película demasiado espessa.					
PRINCIPAIS MEDIDAS					
 <p>The technical drawing shows a top view and a cross-section (SECTION B-B) of a plastic part. The top view dimensions are: overall width 80, inner width 66, and a central width of 45. The height is 32. There are four holes with a diameter of 3 (Ø3 THRU (4X)). The cross-section shows a thickness of 4, a central slot width of 12, and a total slot width of 18. A 3D model of the part is shown to the right.</p>					

Exemplo de peça em alumínio, com dois apertos + dois apertos auxiliares, necessários para a sua fabricação

DADOS GERAIS																									
Referência		POLY201501157_003																							
Material		AW5083 RECTIFICADO PLATE 10 MM																							
Quantidade		1																							
ESTRATÉGIA GLOBAL		TEMPOS CALCULADOS/TEMPOS REAIS																							
Peça com rigor?	Não	Operações	Cálculo	Real	Diferença																				
Com facejamento?	Não	CAD	39	33,06	15%																				
Contemplar desenho 2D?	Não	CAM (1º Aperto):	37	22,25	40%																				
Contemplar desenho 2D e 3D?	Sim	SETUP (1º Aperto):	21	13,95	34%																				
Cavidades com rigor?	Sim	Execução (1º Aperto):	34,97	24,68	29%																				
		CAM (2º Aperto):	10,25	21,25	-107%																				
		SETUP (2º Aperto):	10,76	8,68	19%																				
		Execução (2º Aperto):	10,95	7,33	33%																				
		ROSCAMAT:	9,91	10	-1%																				
		Acabamentos:	9,5	5	47%																				
		CAM (1º Aperto aux.):	10	10,88	-9%																				
		SETUP (1º Aperto aux.):	17	20	-18%																				
		Execução (1º Aperto aux.):	11,24	9,3	17%																				
		CAM (2º Aperto aux.):	10	11,88	-19%																				
		SETUP (2º Aperto aux.):	17	19,45	-14%																				
		Execução (2º Aperto aux.):	11,24	10,38	8%																				
MÁQUINAS SELECIONADAS																									
	CÁLCULO:	REAL:																							
1º Aperto	MECA SIEMENS	MECA SIEMENS																							
2º Aperto	MECA SIEMENS/VM6	MECA SIEMENS																							
1º Auxiliar	ES-5-4T	ES-5-4T																							
2º Auxiliar	ES-5-4T	ES-5-4T																							
3º Auxiliar																									
4º Auxiliar																									
OBSERVAÇÕES																									
CAM real do segundo aperto acima do esperado, provavelmente por erro de picagem de tempos, comparando com o valor do primeiro aperto, este deveria ser inferior, pois o número de operações é inferior.																									
PRINCIPAIS MEDIDAS																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>TAG</th> <th>SIZE</th> <th>QUANTITY</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>Ø5.50 THRU</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>Ø5.50 THRU └─┘ Ø10└─┘ 5.40</td> <td>26</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Ø6.60└─┘ 2.80 └─┘ Ø12└─┘ 2.50</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>Ø20 THRU</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>Ø2.50 THRU</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>Ø3 THRU</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>					TAG	SIZE	QUANTITY	A	Ø5.50 THRU	1	B	Ø5.50 THRU └─┘ Ø10└─┘ 5.40	26	C	Ø6.60└─┘ 2.80 └─┘ Ø12└─┘ 2.50	4	D	Ø20 THRU	2	E	Ø2.50 THRU	4	F	Ø3 THRU	2
TAG	SIZE	QUANTITY																							
A	Ø5.50 THRU	1																							
B	Ø5.50 THRU └─┘ Ø10└─┘ 5.40	26																							
C	Ø6.60└─┘ 2.80 └─┘ Ø12└─┘ 2.50	4																							
D	Ø20 THRU	2																							
E	Ø2.50 THRU	4																							
F	Ø3 THRU	2																							

Exemplo de peça em plástico, com um aperto necessário para a sua fabricação

DADOS GERAIS					
Referência		POLY201501669_001			
Material		PE-HD/P PLATE 40 MM NATURAL			
Quantidade		6			
ESTRATÉGIA GLOBAL		TEMPOS CALCULADOS/TEMPOS REAIS			
Peça com rigor?	Não	Operações	Cálculo	Real	Diferença
Com facejamento?	Não	CAD	14,5	10	31%
Contemplar desenho 2D?	Não	CAM (Facejamento):	10	5	50%
Contemplar desenho 2D e 3D?	Sim	Setup (facejamento):	10	14,51	-45%
Cavidades com rigor?	Não	Execução (facejamento):	36,77	34,58	6%
		CAM (1º Aperto):	15	15,8	-5%
		SETUP (1º Aperto):	13,5	15	-11%
		Execução (1º Aperto):	96,05	91,81	4%
		Acabamentos:	56,02	20	64%
MÁQUINAS SELECIONADAS					
	CÁLCULO:	REAL:			
1º Aperto	MECA 4121	MECA 4121			
2º Aperto					
1º Auxiliar					
2º Auxiliar					
3º Auxiliar					
4º Auxiliar					
OBSERVAÇÕES					
Acabamentos reais inferiores, provavelmente por erro de picagem de tempos (valor demasiado baixo para a dimensão da peça).					
PRINCIPAIS MEDIDAS					
 <p>The technical drawing shows a rectangular plastic plate with a width of 1055 and a height of 500 ± 2. A top-left corner has a radius of R4. A top edge section is 250 wide and 45 high. A central slot is 50 wide and 190 high, with a 30 wide section on the right. A vertical dimension of 40 is shown on the right side. A 3D model of the part is shown to the right of the drawing.</p>					

Exemplo de peça em alumínio, com dois apertos + dois apertos auxiliares necessários para a sua fabricação

DADOS GERAIS					
Referência		POLY201501528_007			
Material		AW5083 RECTIFICADO PLATE 15 MM			
Quantidade		2			
ESTRATÉGIA GLOBAL		TEMPOS CALCULADOS/TEMPOS REAIS			
Peça com rigor?	Não	Operações	Cálculo	Real	Diferença
Com facejamento?	Não	CAD	41	33,41	19%
Contemplar desenho 2D?	Sim	CAM (1º Aperto):	31	26,31	15%
Contemplar desenho 2D e 3D?	Não	SETUP (1º Aperto):	23	26,96	-17%
Cavidades com rigor?	Não	Execução (1º Aperto):	83,02	83,96	-1%
		CAM (2º Aperto):	19,25	10	48%
		SETUP (2º Aperto):	29,51	20	32%
		Execução (2º Aperto):	32,79	11	66%
		ROSCAMAT:	56,1	60	-7%
		Acabamentos:	21,71	32,1	-48%
		CAM (1º Aperto aux.):	10	11,97	-20%
		SETUP (1º Aperto aux.):	17	30,6	-80%
		Execução (1º Aperto aux.):	22,53	21,98	2%
		CAM (2º Aperto aux.):	10	4,75	53%
		SETUP (2º Aperto aux.):	17	18,63	-10%
		Execução (2º Aperto aux.):	15,71	10	36%
MÁQUINAS SELECIONADAS					
	CÁLCULO:	REAL:			
1º Aperto	MECA SIEMENS	MECA SIEMENS			
2º Aperto	VM6/MECA SIEMENS	VM6			
1º Auxiliar	ES-5T	ES-5T			
2º Auxiliar	ES-5T	ES-5T			
3º Auxiliar					
4º Auxiliar					
OBSERVAÇÕES					
SETUP real do primeiro aperto auxiliar acima do esperado provavelmente por erro de picagem de tempos.					
PRINCIPAIS MEDIDAS					

Exemplo de peça em alumínio, com um aperto necessário para a sua fabricação

DADOS GERAIS																							
Referência		POLY201500817_001																					
Material		AW5083 RECTIFICADO PLATE 12 MM																					
Quantidade		1																					
ESTRATÉGIA GLOBAL		TEMPOS CALCULADOS/TEMPOS REAIS																					
Peça com rigor?	Não	Operações	Cálculo	Real	Diferença																		
Com facejamento?	Não	CAD	9	11,13	-24%																		
Contemplar desenho 2D?	Sim	CAM (1º Aperto):	26	11,56	56%																		
Contemplar desenho 2D e 3D?	Não	SETUP (1º Aperto):	19	22,56	-19%																		
Cavidades com rigor?	Não	Execução (1º Aperto):	32,26	31,95	1%																		
		ROSCAMAT:	23,95	12,18	49%																		
		Acabamentos:	16,7	16,41	2%																		
MÁQUINAS SELECIONADAS																							
	CÁLCULO:	REAL:																					
1º Aperto	MECA SIEMENS	MECA SIEMENS																					
2º Aperto																							
1º Auxiliar																							
2º Auxiliar																							
3º Auxiliar																							
4º Auxiliar																							
OBSERVAÇÕES																							
PRINCIPAIS MEDIDAS																							
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>TAG</th> <th>SIZE</th> <th>QUANTITY</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>M4 (Ø 3,30 THRU)</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>+0,02 Ø 8 H8 D THRU</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>∇ Ø 11 THRU Ø 22,73 X 90°</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>Ø 5 THRU</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>Ø 7 THRU</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table>		TAG	SIZE	QUANTITY	A	M4 (Ø 3,30 THRU)	4	B	+0,02 Ø 8 H8 D THRU	15	C	∇ Ø 11 THRU Ø 22,73 X 90°	4	D	Ø 5 THRU	2	E	Ø 7 THRU	3		
TAG	SIZE	QUANTITY																					
A	M4 (Ø 3,30 THRU)	4																					
B	+0,02 Ø 8 H8 D THRU	15																					
C	∇ Ø 11 THRU Ø 22,73 X 90°	4																					
D	Ø 5 THRU	2																					
E	Ø 7 THRU	3																					

ANEXO IV

Peças exemplo para MECAS

POLY201500176_001

Plano:

Este documento tem informação propriedade da Tecnol Anemsa e não pode ser utilizada, reproduzida, divulgada, no todo ou em parte, ou comunicada a terceiros sem autorização escrita da Tecnol Anemsa.
 This document contains proprietary information of Tecnol Anemsa and such information may not be used, reproduced, disclosed, distributed or repaired, disseminated or divulged without authorization of Tecnol Anemsa.

Desenho Técnico Geral

Rev.	Alterações / Changes	Data / Date	Nome / Name
a)			
b)			

Desenho do desenhista
 Desenhado por: [Name]

20 / 30

Desenhado por: **Pedro Nogueira**

Assinado: [Signature]

Assinatura: [Signature]

DATA: [Date]

APPROVAL: [Signature]

TIJAR TECH PLATE 8 MM 1220X350

POLY201500176_001

Substitua

A4 Folha 1 de 1

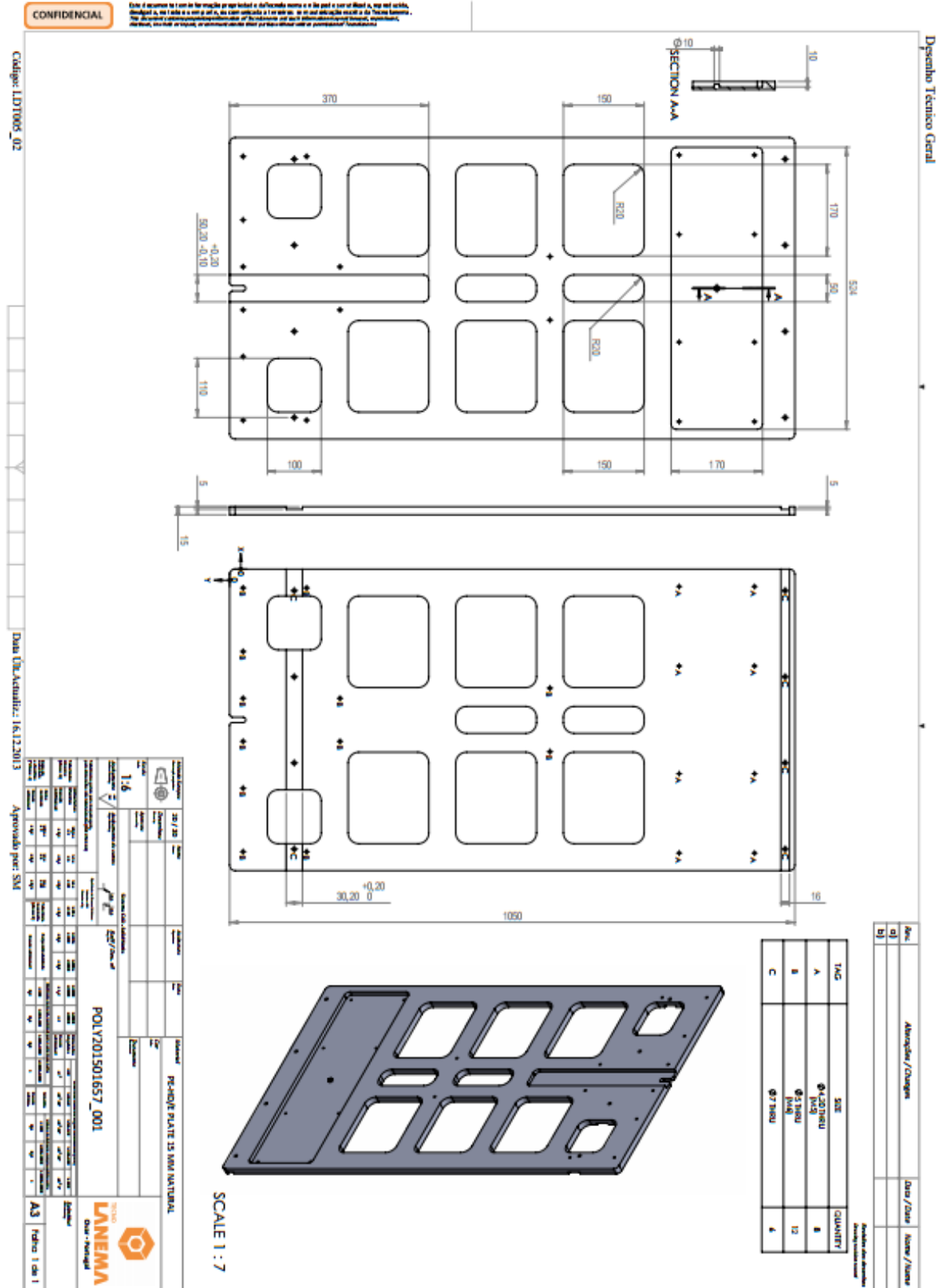
Approved por: SM

Código: LDT005_02

CONFIDENCIAL

POLY201501657_001

Plano:



POLY201501669_001

Plano:

