INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Desenvolvimento de uma metodologia Uniformizada de Componentes para Moldes

ROBERTO JOSÉ SOUSA FARIA ALMEIDA

novembro de 2019

POLITÉCNICO
DO PORTO

Instituto Superior de Engenharia do Porto

DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA UNIFORMIZADA DE COMPONENTES PARA MOLDES

Roberto José Sousa Faria Almeida
1131123

2018/2019

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica

POLITÉCNICO
DO PORTO

Instituto Superior de Engenharia do Porto

DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA UNIFORMIZADA DE COMPONENTES PARA MOLDES

Roberto José Sousa Faria Almeida
1131123

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 Professor Doutor Arnaldo Manuel Guedes Pinto e do Professor Doutor Francisco José Gomes da Silva, ambos docentes do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

2018/2019
Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica

POLITÉCNICO
DO PORTO

JÚRI

Presidente
Professora Doutora Isabel Cristina da Silva Barros Rodrigues Mendes Pinto
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto
Orientador
Professor Doutor Arnaldo Manuel Guedes Pinto
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto
Co-orientador
Professor Doutor Francisco José Gomes da Silva
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto
Arguente
Professor Doutor João Eduardo Pinto Castro Ribeiro
Professor Adjunto, Instituto Politécnico de Bragança

AGRADECIMENTOS

Num trabalho desta importância académica, cabe estas primeiras palavras escritas expressarem o meu forte agradecimento ao Professor Doutor Arnaldo Manuel Guedes Pinto e ao Professor Doutor Francisco José Gomes da Silva, por todo apoio bibliográfico fornecido, assim como pela orientação prestada ao longo deste projeto.

Agradeço ao Instituto Superior de Engenharia do Porto e aos seus docentes, pela formação enquanto aluno e pessoa, dotando-me de capacidades para responder aos desafios da Engenharia.

À empresa Standarmoldes pela possibilidade de realizar o meu trabalho nas suas instalações e aos seus colaboradores pelo apoio prestado. Um forte agradecimento ao Doutor Ricardo Oliveira e ao Engenheiro Filipe Oliveira pelo conhecimento, apoio e paciência prestados ao longo destes meses.

Por último, agradeço aos meus queridos pais, pelo contributo e motivação na minha formação e pela compreensão nos momentos em que tive de estar ausente. E à minha namorada, Mariana, pelo companheirismo e ajuda na concretização deste projeto.

PALAVRAS CHAVE

Maquinagem, Moldes, Otimização de Processo, Maquinagem de Alta Velocidade, Ferramentas

RESUMO

Este projeto de dissertação apresenta como principal objetivo a uniformização do processo produtivo, mais concretamente do fabrico de caixas em estruturas para moldes. A organização dos recursos e a uniformização dos processos de fabrico, permite aos intervenientes ter apenas acesso às informações essenciais para a produção e a uniformização do processo de fabrico permite tornar o conhecimento acessível com utilização de uma linguagem *standard,* por outro lado permite uma rastreabilidade maior das operações com controlo mais rigoroso, permitindo processos de melhoria.

Para o desenvolvimento deste projeto foi necessário realizar pesquisas mais exaustivas sobre a temática maquinagem, ferramentas utilizadas, tipos de fixação de ferramentas, tipos de fixação de peças, operações de maquinagem e de que forma os moldes para injeção de plástico são constituídos. Após esta primeira abordagem foi necessário entender o processo produtivo, de forma a assimilar as práticas da empresa e perceber de que forma poderia atuar para atingir os objetivos propostos. Numa primeira fase, foi realizado um inventário das ferramentas utilizadas e foram desenvolvidos documentos de apoio com as ferramentas e os parâmetros de corte definidos pelos fabricantes. Após esta primeira fase, foi realizado um levantamento dos processos de fabrico de caixas registados na base de dados da empresa, de forma a avaliar os procedimentos adotados e assim adaptar os novos procedimentos à dinâmica da empresa. O principal objetivo foi permitir a uniformização do processo de fabrico de forma a tornar a informação acessível a todos os colaboradores e, de uma forma indireta, permitir avaliar o processo e proceder a melhorias a curto e longo prazo. Para efetuar este trabalho recorreu-se a Software CAD e CAM, essenciais para o apoio à produção.

No final do projeto, verificou-se melhorias na seleção dos parâmetros de corte das ferramentas e foi validado um dos procedimentos.

KEYWORDS

Machining, Moulds, Process optimization, High Speed Machining, Tools

ABSTRACT

The main objective of this dissertation is to standardize the production process, specifically the manufacture of boxes in structures. The organization of resources and the standardization of the manufacturing processes allows the participants to have access only to the essential information for production and the standardization of the manufacturing process, using a standard language this way will make this easy access to everyone on the other hand allows a greater traceability with close control, enabling improvement processes.

Was necessary to carry out an extensive research about CNC machining, tools used, types of tool clamping, types of part clamping, machining operations and how plastic injection molds are made, this was made to facilitate the development and improving the dissertation. In order to assimilate the company's practices and understand how it could act to achieve the proposed objectives was necessary understand the production process.

Initially, an inventory of the tools used was made and supporting documents were developed with the tools and cutting parameters defined by the manufacturers.
In the first stage, a survey of the box manufacturing processes registered in the company database was carried out in order to evaluate the adopted procedures and thus adapt the new procedures to the company dynamics.

The main objective on this project is to enable the standardization of the manufacturing process to make information accessible to all employees and, indirectly, to evaluate the process and make short and long term improvements. To carry out this work, we used CAD and CAM Software, essential for production support.

The organization made some improvements due to the project specific on the selection of the cutting tolls and only one procedure was validated.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CEFAMOL	Associação Nacional da Indústria de moldes
CNC	Computer Numeric Control
FAV	Fresagem a alta velocidade
HE	Hydraulic expansion
HS	Heat shrink
HSM	High Speed Machining
HSS	High Speed Steel
INE	Instituto Nacional Estatística
MAV	Maquinagem a alta velocida
MDI	Metal Duro Integral
PME	Pequena Média Empresa
RIM	Reaction injection molding

Lista de Unidades

˚C	Graus Celsius
m	Metro
mm	Milímetro
min	Minuto
rpm	Rotações por minuto

Lista de Símbolos

α	Ângulo de folga
β	Ângulo de cunha
γ	Ângulo de saída
a_e	Profundidade de corte lateral
a_p	Profundidade de corte
f_n	Avanço por rotação
n	Velocidade de rotação
V_c	Avanço de corte
V_f	Avanço da mesa

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABELAS

ÍNDICE

INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

A indústria na Europa entre meados dos anos 80 do século passado até à primeira década deste século perdeu expressão produtiva. Observou-se a mobilização de algumas empresas para países emergentes e o encerramento de outras e, o único país capaz de manter a maioria da sua Indústria foi a Alemanha, como resultado apresenta nos dias de hoje um dos melhores desenvolvimentos industriais da Europa. A Europa tem vindo a mudar as suas políticas internas e desta feita, observa-se a uma reindustrialização da Europa e por sua vez do nosso País.

Usando o Exemplo dos EUA (Estados Unidos da América) em que estiveram três décadas a desindustrializar o país, fazendo apenas o desenvolvimento do produto dentro de portas e entregando o fabrico a países emergentes como a China, concebeu-se a ideia de que era fundamental o retorno à indústria, mas agora a uma indústria que utiliza o máximo das tecnologias de informação, comunicação, robótica e produção para projetar e produzir produtos de acordo com as necessidades dos clientes sem incrementar o custo do mesmo. Percebe-se que o Ocidente reverteu o seu paradigma e associou a indústria ao desenvolvimento tecnológico, inovação e emprego qualificado. Seguindo esta linha de pensamento, é possível validar outras vantagens como: o acompanhamento rigoroso da produção pelo departamento de controlo de qualidade, fazendo um *report* aos gabinetes de projeto e se necessário os mesmos fazem o dito acompanhamento; diminuição dos tempos e prazos de entrega; formação de quadros técnicos especializados e com isso a criação de emprego qualificado (CIP, 2017).

No que diz respeito ao caso Português eramos um país com tradição na indústria metalomecânica, com presença na indústria naval, caso da LISNAVE, na indústria automobilística e motociclística, como foi o caso da marca UMM e FAMEL, na indústria de máquinas, caso da EFI e da CEGONHEIRA, entre outros casos. Observou-se ao encerramento e desmantelamento de grandes empresas e com isso à perda de muito do conhecimento existente, que não estava devidamente tratado e registado.

Outros sectores da indústria metalomecânica assumiram maior protagonismo, como foi o caso da indústria de moldes, este sector conta com bastantes empresas a laborar, com uma presença bem identificada no distrito de Aveiro.

Atualmente, o principal cliente desta indústria é a indústria automóvel, mas face à grande capacidade de desenvolvimento e produção em curtos espaços temporais,

somos hoje em dia um dos países com maior desenvolvimento nesta indústria, podendo dar resposta a outros tipos de clientes.

A continuidade desta indústria em patamares altos coloca bastantes desafios às empresas, que passam por criar departamentos de desenvolvimento com colaboradores com formação técnica e académica adequada, procurar manter uma capacidade fabril excelente, com recurso a aquisição de centros de maquinagem de tecnologia mais vanguardista, gerir adequadamente o processo fabril, com desenvolvimento de procedimentos de fabrico e uso de ferramentas adequadas, departamentos de controlo de qualidade e um serviço de apoio ao cliente, bastante importante, de forma a funcionar como um serviço de pós-venda.

É através da mobilização da estrutura das empresas, na tentativa de procurar a inovação, que permite que este sector em Portugal seja um sector competitivo face a outros países, e cabe a organizações como a CEFAMOL (Associação Nacional da Indústria de Moldes) a divulgação e projeção para o exterior da nossa imagem, na tentativa de captar mais clientes e investimento.

Foi pelo reconhecimento das potencialidades industriais do nosso país e da vontade de tentar contribuir com algo mais para o nosso tecido industrial, que decidi realizar a minha dissertação de Mestrado em contexto industrial. Para tal, optei por uma PME para realizar a minha Tese de Mestrado, esta enquadra-se na indústria de Moldes, mais concretamente na produção. A opção por realizar o meu trabalho numa PME, justifica-se pelo facto de estas normalmente não estarem num ponto de organização e desenvolvimento muito avançado, permitindo ter mais temas para desenvolvimento.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste projeto consistiu em otimizar o processo de maquinagem de moldes para injeção de plásticos, através da diminuição de tempos de *setup*, de programação e implementação de ferramentas e percursos de maquinagem otimizados e uniformizados. Perante este objetivo, o resultado esperado será uniformizar os conhecimentos e métodos utilizados na produção e, indiretamente, espera-se uma melhoria nos tempos de *setup* e fabricação, traduzindo-se numa redução de custos.
Para alcançar o objetivo principal foi necessário alcançar os seguintes sub-objectivos:

- Identificação da capacidade produtiva;
- Recolha e identificação das ferramentas utilizadas;
- Identificação de estruturas tipo;
- Estudo, acompanhamento e identificação dos processos produtivos;
- Realização de procedimentos de maquinagem uniformizados;
- Validação de forma qualitativa e quantitativa dos procedimentos propostos.

1.3 Metodologia de investigação/Desenvolvimento

Na elaboração deste projeto, usou-se um modelo que explica e define diferentes filosofias e abordagens para pesquisa e elaboração. O modelo usado, designa-se por pesquisa cebola (*The research onion*) e é defendida por Mark Saunders, Philip Lewis e Adrian Thornhill. Este modelo é composto pelos seguintes patamares: Filosofia; Abordagem; Estratégia; Método e Horizonte temporal, tal como se demonstra na Figura 1 (Saunders, Lewis, & Thornhill, 2009).

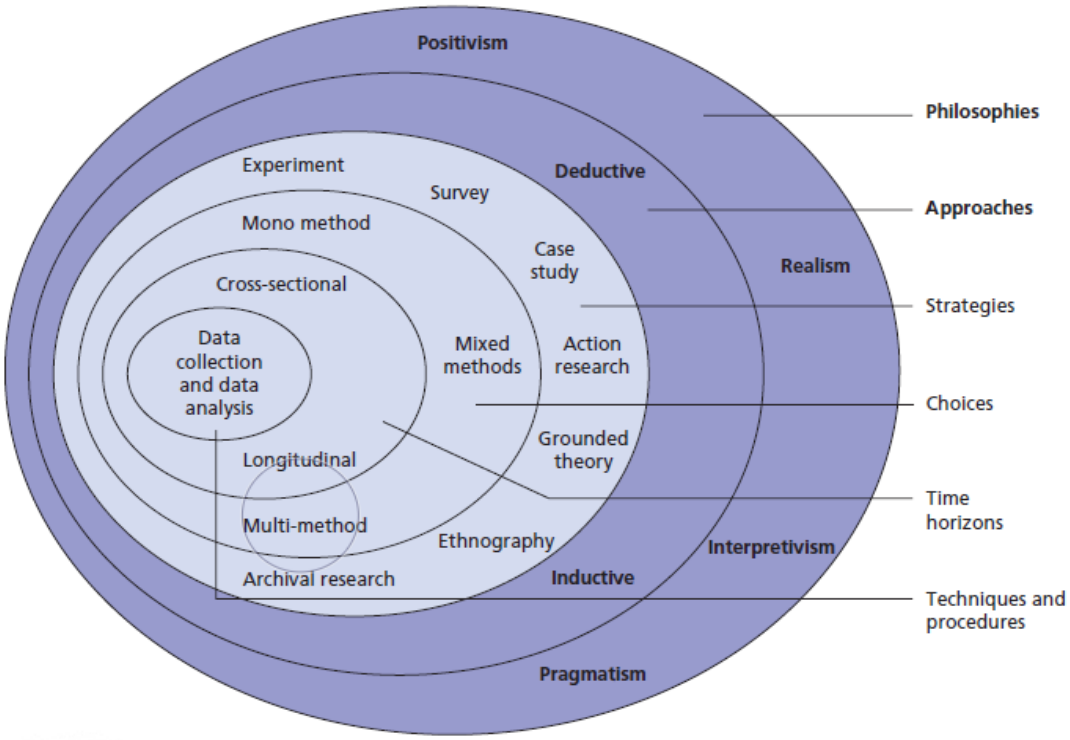


Figura 1 The research onion (Saunders, Lewis, & Thornhill, 2009)

Quanto ao modelo utilizado neste projeto apresenta as seguintes características: no patamar da filosofia seguiu-se por uma corrente do Interpretivismo (*Interpretivism)* porque as amostras recolhidas são poucas, a investigação será profunda quanto ao tema e focada em detalhes. Quanto à abordagem será dedutiva (*Deductive)*, na medida em que se pretende generalizar as conclusões e procedimentos. Quanto à estratégia será uma pesquisa-ação (*Action Research)* porque o trabalho realizado consistirá em elaborar um diagnóstico, seguido de um planeamento e ações que posteriormente serão avaliadas. Quanto ao método, será um método misto pois será utilizado dados quantitativos e qualitativos. Por fim, o horizonte temporal será num intervalo de tempo (*Cross-sectional*) porque está inserido no desenvolvimento de uma Tese de Mestrado.
Desta forma desenvolveu-se a seguinte metodologia de trabalho:

- Levantamento das geometrias das peças;
- Levantamento das sequências de maquinagem presentes em ficheiros CAM;
- Identificação da maquinaria e capacidade produtiva;

- Estudo e definição de ferramentas utilizadas na produção;
- Identificar e catalogar as ferramentas utilizadas no processo produtivo;
- Listar os parâmetros de corte das ferramentas de corte;
- Criar uma base de dados, que reúna a informação indicada nos dois pontos anteriores, para apoio a ferramentas CAM;
- Identificar as melhores rotinas de maquinagem para casos específicos;
- Criar uma metodologia uniformizada para famílias geométricas específicas;
- Análise e comparação de tempos de fabrico;

1.4 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se organizada em quatro capítulos. Neste primeiro capítulo, é apresentado o enquadramento do tema da dissertação, os objetivos, a metodologia para elaboração deste trabalho, a estrutura da dissertação e a empresa de acolhimento.
No segundo capítulo, é realizada uma revisão bibliográfica, onde são apresentados conceitos sobre o tema de projeto que servem de suporte para o desenvolvimento e aplicabilidade do mesmo.
O terceiro capítulo inicia com uma apresentação mais cuidada da empresa de acolhimento e, em seguida, caracteriza o sistema produtivo da empresa com identificação de potenciais problemas. Após esta fase é descrita a estratégia de resolução dos problemas identificados e qual a metodologia adotada.
Por fim, o quarto capítulo apresenta as conclusões alcançadas com este projeto e as propostas para trabalho futuros, sobre o tema e área de atuação.

1.5 Empresa de Acolhimento

O presente projeto desenvolveu-se na empresa *Standarmoldes Lda*, situada no concelho de Braga. Os produtos desta empresa são na sua maioria para exportação e o seu mercado centra-se essencialmente na conceção e fabrico de moldes para injeção de plástico. Na Tabela 1, são apresentados alguns indicadores que caracterizam esta instituição.
Em suma, a *Standarmoldes,* Lda caracteriza-se por ser capaz de realizar projetos e ferramentas à medida do cliente.

Tabela 1 Quadro resumo da empresa

Nome da empresa	Standarmoldes Lda
Morada	Rua 5 de Outubro, Pav. 4 4715-213 Braga
Força laboral	10 colaboradores
Horário de funcionamento	8:30-17:30 (Segunda a Sexta-feira)
Indicadores	+400 moldes fabricados/ +66 clientes

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados alguns temas considerados de relevantes para o desenvolvimento do trabalho. É abordado o conceito de maquinagem a alta velocidade, as operações associadas à maquinagem convencional, os tipos de ferramentas comuns e os sistemas para a sua fixação. No que concerne à fixação das peças são abordados os vários tipos existentes e as vantagens e desvantagens dos mesmos. É também apresentado uma abordagem à otimização de operações em maquinagem com CNC (*Computer Numeric Control*) e a apresentação de alguns dos avanços tecnológicos através da citação de alguns trabalhos de investigação. Por último, é abordada a tipologia dos moldes e aspetos construtivos dos mesmos.

2.1 Maquinagem

O conceito de maquinagem remete-nos para a maquinagem a alta velocidade e surge na literatura estrangeira como *High Speed Machining* (HSM), em Portugal podem ser utilizadas as designações: Maquinagem a Alta Velocidade (MAV) e Fresagem a alta velocidade (FAV), sendo que o termo fresagem está apenas direcionado para um tipo de maquinagem a alta velocidade. O desenvolvimento da maquinagem a alta velocidade só foi possível devido ao desenvolvimento tecnológico que permitiu criar ferramentas de corte para altas velocidades e a máquinas-ferramentas com capacidade de rotação elevada, no entanto, não é isto que define a maquinagem a alta velocidade. A MAV está associada a duas condições: velocidade de rotação elevada e velocidade de avanço elevada e, com isto, pretende-se reduzir ao número de operações de acabamento final. Contudo, os dois parâmetros acima mencionados devem ser ajustados de acordo com o tipo de operação, geometria e material a maquinar (Davim & Correia, 2006). Para validar esta descrição é apresentado na Figura 2 e na Figura 3 gráficos que demonstram a diversidade dos valores de velocidade de corte para diferentes materiais e para diferentes operações.

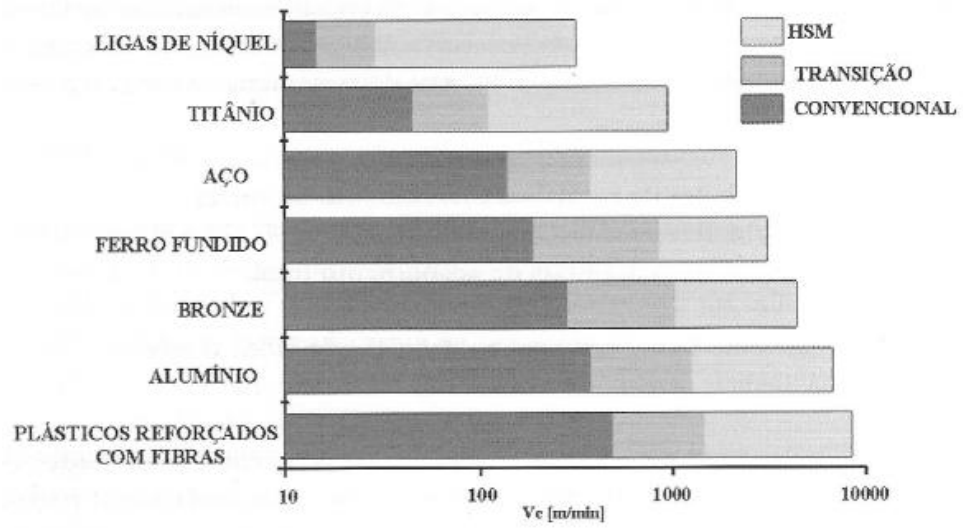


Figura 2 Velocidade de corte para diferentes materiais (Davim & Correia, 2006)

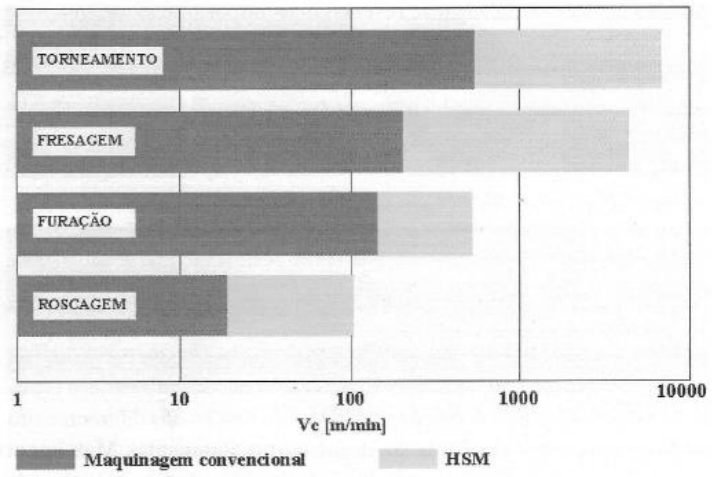


Figura 3 Velocidade de corte para diferentes operações de maquinagem (Davim & Correia, 2006)

Segundo (Davim & Correia, 2006) surge como fator principal na definição da MAV a taxa de remoção de material, pois uma taxa de remoção elevada de material só é possível combinando elevadas velocidades de corte e de avanço.

A MAV é bastante importante no sector produtivo industrial porque conduz a reduções de tempos de maquinagem, a reduções das forças de corte, evita o sobreaquecimento da peça e melhora a qualidade superficial, proporcionando assim taxas de remoção de material elevadas, maquinagem de vários tipos de materiais, melhora o rigor dimensional e reduz ou elimina posteriores operações de acabamento.

2.1.1 Operações de maquinagem convencional

Os processos de maquinagem convencional são processos produtivos que permitem dar forma a um volume de material por ação de uma ferramenta, através do arranque ou erosão do material. Estes processos permitem criar formas simples e/ou complexas com diferentes tipos de acabamentos de uma forma económica, sendo adequados para séries produtivas de pequena a grande série. Verifica-se também, que para determinados acabamentos, os processos a seguir descritos são os únicos para conceber o acabamento desejado. Quanto aos materiais que podem ser maquinados podemos afirmar que a classe dos metais é a classe predominante, no entanto a família dos polímeros pode ser maquinada por processos de arranque de apara.

Nos pontos seguintes é efetuada uma breve apresentação de diversas operações de maquinagem convencionais.

Fresagem

A fresagem é uma operação de maquinagem que consiste em retirar material por ação de uma ferramenta rotativa constituída por uma ou várias arestas, que em cada rotação retira uma determinada quantidade de material. Neste processo de maquinagem é possível realizar operações de facejamento, de contorno e de uma grande variedade de formas complexas (Davim & Correia, 2006).

A fresagem pode ser realizada de dois modos:

- Fresagem cilíndrica: neste tipo de operação o eixo da fresa encontra-se paralelo à superfície de trabalho na peça e o processo de corte é realizado pela periferia da ferramenta (Figura 4A).
- Fresagem de topo: neste tipo de operação o eixo da fresa é perpendicular à superfície a maquinar e a maquinagem pode ser realizada pelo topo da ferramenta ou pela periferia da ferramenta (Figura 4B).

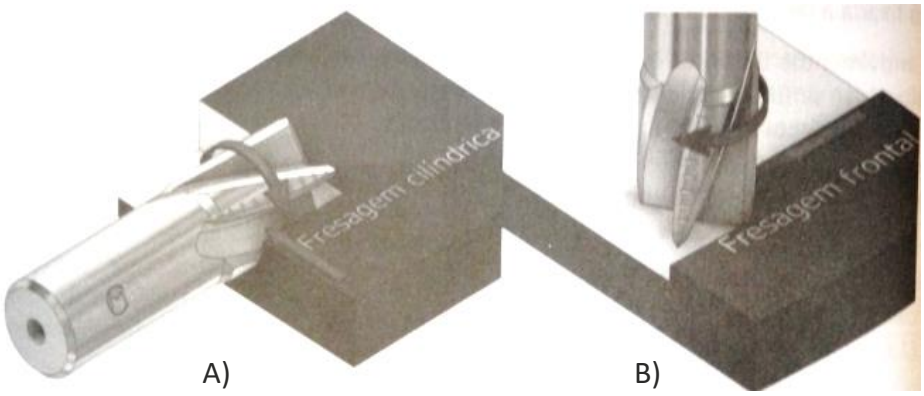


Figura 4 Fresagem cilíndrica e frontal (Rocha, 2016)

Quanto aos métodos de fresagem existem dois tipos:

- Fresagem em concordância: neste método a espessura da apara é máxima no momento de contato da ferramenta com a peça. Nas máquinas de maior potência, e em especial nos centros de maquinagem, utiliza-se este tipo de método por apresentar um melhor acabamento nas superfícies (Figura 5), menos desgaste da ferramenta e melhor rigor dimensional.
- Fresagem em oposição: neste tipo de operação a espessura da apara é mínima no momento de contacto da ferramenta com a peça, existe uma grande geração de calor devido ao atrito produzido e conduz a uma redução do tempo de vida das ferramentas. Em certas situações, este método pode originar o fenómeno de apara aderente, que constitui também uma das razões de aumento de temperatura (Figura 6). Este método pode ser vantajoso quando são utilizadas máquinas com menor rigidez (com algumas folgas) e quando são utilizadas pastilhas de cerâmica.

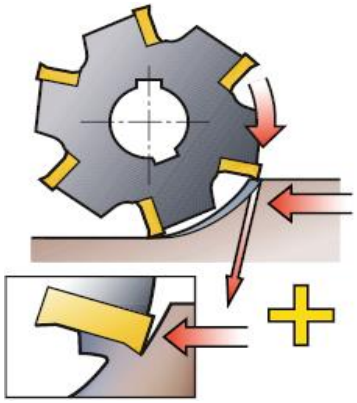


Figura 5 Fresamento Concordante (Coromant, 2010)

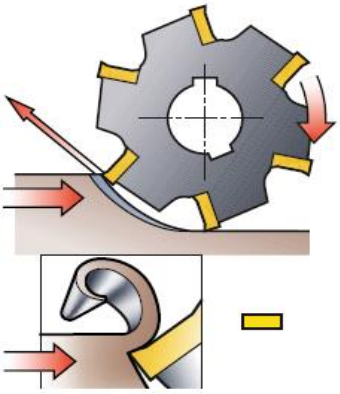


Figura 6 Fresamento em oposição (Coromant, 2010)

As operações de fresagem sofreram ao longo dos tempos mudanças, embora pouco significativas, mas essa mudança só foi possível devido à inovação e implementação de ferramentas e máquinas. Nas imagens seguintes são apresentadas duas máquinas usadas para fresagem, uma convencional e outra já com comando numérico.

Figura 7 Fresadora Convencional (Knuth, 2019)

Figura 8 Fresadora com comando CNC (Haas, 2019)

Torneamento

O torneamento é uma operação mecânica que permite maquinar superfícies através da rotação de uma peça segundo um eixo fixo. Este tipo de operação permite efetuar desbaste de material internamente e à superfície do mesmo, para tal a peça tem de ser fixada à árvore da máquina através de uma bucha, por forma a garantir um correto alojamento (Rosolia, 1974). Com este tipo de operação é possível efetuar várias formas que estão representadas na Figura 9, tais como:

- Superfícies cilíndricas internas e externas (A e B);
- Superfícies cônicas externas e internas (C e D);
- Superfícies com diferentes formas no mesmo eixo (E);
- Roscados internos e externos (F e G);

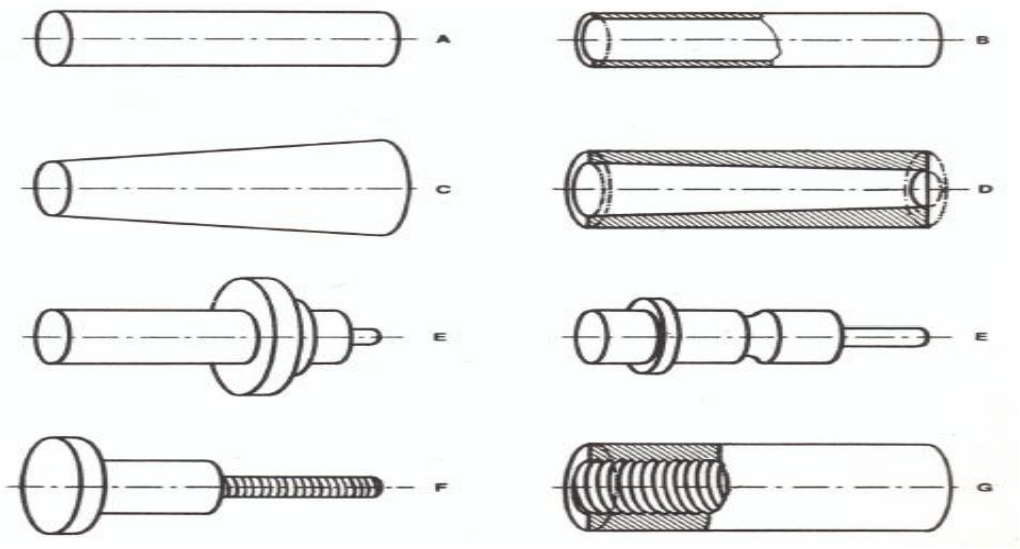


Figura 9 Superfícies torneadas (Rosolia, 1974)

Tal como na operação de fresagem, a evolução tecnológica permitiu o aparecimento de novas máquinas. Assim, a título ilustrativo, são apresentadas a seguir imagens de um torno convencional e de um torno com controlo numérico.

Figura 10 Torno Conencional (Knuth, 2019)

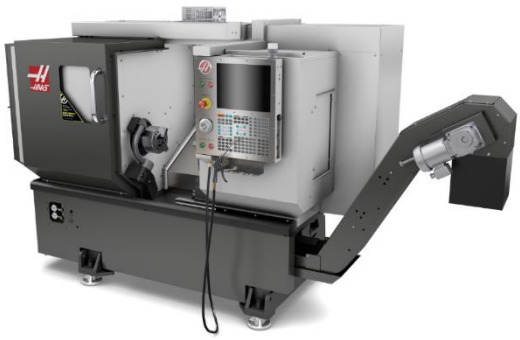


Figura 11 Torno com controlador CNC (Haas, 2019)

Retificação

Este tipo de operação é uma maquinagem por abrasão que consiste em desagregar nas peças metálicas o material em excesso através de uma ferramenta constituída por um aglomerante. Este processo é também definido pelas seguintes condições: durante o processo é criado uma apara finíssima (cerca de 1 micrómetro); o abrasivo da ferramenta apresentar elevada dureza. Estas condições permitem maquinar materiais de diferentes graus de dureza e, devido ao tipo de apara criada, produz um ótimo acabamento superficial e elevada precisão dimensional e geométrica. Neste tipo de operação é utilizada uma mó numa trajetória circular ou retilínea a uma velocidade de cerca de 45 m/s (Davim, 1995). Na Figura 12 e na Figura 13 são apresentadas duas máquinas uma convencional e outra com controlador *CNC*.

Figura 12 Máquina de retificação plana convencional (Knuth, 2019)

Figura 13 Máquina de retificação com controlo CNC (Magerle, 2019)

Furação

Esta operação consiste na formação de um furo cilíndrico ou cónico através de uma ferramenta designada por broca. Nesta operação são necessários dois tipos de movimentos, um perpendicular à superfície designado por avanço e o movimento de rotação da ferramenta ou peça (Roselia, 1974). Com esta operação, como pode ser observado na Figura 14, os furos podem ser de vários tipos:

- Furo passante (A);
- Furo cego; (B)
- Furo escareado (C e D);
- Furo cónico (E);
- Furo escalonado (F).

Na Figura 14 é apresentado os tipos de furação e na Figura 15 é possível observar um processo de furação com formação de apara.

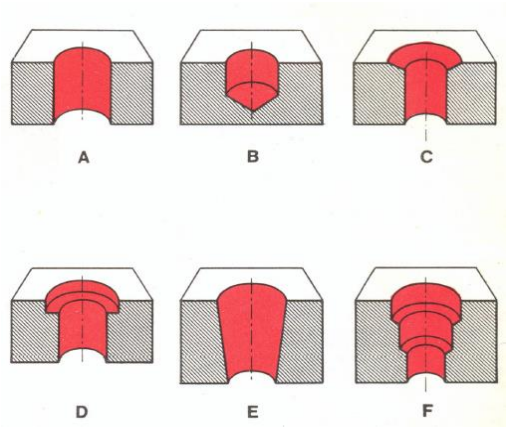


Figura 14 Tipos de furação (Roselia, 1974)

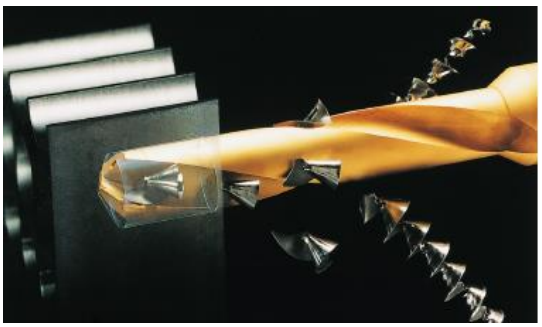


Figura 15 Processo de Furação (Coromant, 2010)

Roscagem

A roscagem é uma operação que consiste em abrir uma rosca. Esta rosca pode ser realizada na parte exterior de um cilindro ou cone ou na parte interior de uma caixa cilíndrica ou furo. Para tal, pode-se utilizar vários tipos de ferramentas, tais como (Rocha, 2016):

- Buril;
- Macho (utilizado para roscar furos até dimensões inferiores a 20 mm).

Na figura seguinte está representado um processo de roscagem externa com recurso a buril de pastilha.


Figura 16 Roscagem Externa (Coromant, 2010)

2.1.2 Operações de maquinagem não convencionais

Nas últimas décadas foram desenvolvidas técnicas e processos de maquinagem baseados em princípios completamente diferentes dos tradicionais. Estes utilizam outras fontes de energia ao invés da energia mecânica, como a energia química e elétrica.

A aplicabilidade destes processos tem como foco o trabalho de metais mais difíceis de maquinar, tais como aços temperados, ferros fundidos brancos, carbonetos sinterizados e materiais cerâmicos (Davim, 1995). Dentro deste conjunto de operações destacam-se as seguintes:

Electroerosão

Processo utilizado em materiais difíceis de maquinar por elevada dureza ou em situações em que os processos de arranque de apara não são adequados para a finura do pormenor da peça. Caracteriza-se por ser um processo de elevada precisão, pode ser aplicado após tratamentos térmicos ou termoquímicos de endurecimento e praticamente não provoca deformações ou fissuras à superfície da peça, no entanto é um processo lento e apresenta alguns problemas em materiais com elevada condutividade térmica (Davim, 1995).

Este processo de maquinagem consiste na utilização de uma corrente de elevada frequência (100 a 500 kHz) num circuito RC (resistência e condensador) que provocará electroerosão no ânodo (peça). Durante a operação verifica-se também desgaste do cátodo (ferramenta), sendo necessário compensar/ajustar o processo. A erosão, e consequente remoção de material, ocorre quando a tensão no condensador aumenta até um valor em que o gradiente entre o ânodo e o cátodo atinge um valor crítico, desta forma origina uma corrente eléctrica através do fluído dieléctrico e gera-se uma densidade de corrente elevada com a formação de plasma, provocando a erosão da peça. Importa referir que a folga típica entre a peça e a ferramenta é de 0,025 a 0,05 mm (Davim, 1995).
Na figura seguinte é apresentado uma máquina para efetuar este tipo de maquinagem.

Figura 17 Máquina de Eletroerosão (Knuth, 2019)

Laser

Este processo consiste na utilização de um dispositivo que emite uma radiação luminosa (Laser) utilizando para isso um meio ativo. Para a criação do laser é necessário um meio ativo (sólido, líquido ou gasoso) e um sistema ótico perpendicular à direção de emissão do feixe, o laser mais utilizado é o de CO_2 por este dispor de maior potência (Davim, 1995).

O processo consiste em projetar o laser e o jato de gás sobre a superfície do material e como resultado uma parte do feixe e do jato são refletidos, enquanto que o restante é absorvido pelo material na frente de corte e pelas paredes. É desta forma que se dá a fusão de uma fina camada de material, que por efeito deste aquecimento e de reações exotérmicas entre o gás e o material conduz a uma vaporização de parte do material. Os efeitos de vaporização juntamente com o de expulsão do material por parte do feixe de gás constituem o mecanismo responsável pelo corte do material, importa referir que a marca da camada em fusão permanece sempre constante. Este processo caracteriza-se por elevadas velocidades de corte, no entanto quanto maior a espessura menor é a velocidade de corte para a mesma potência do Laser. Com este processo a zona termicamente afetada é pequena e verifica-se a presença de estrias na zona de corte (Davim, 1995).
Na imagem seguinte é apresentado um esquema do modo de funcionamento deste processo.

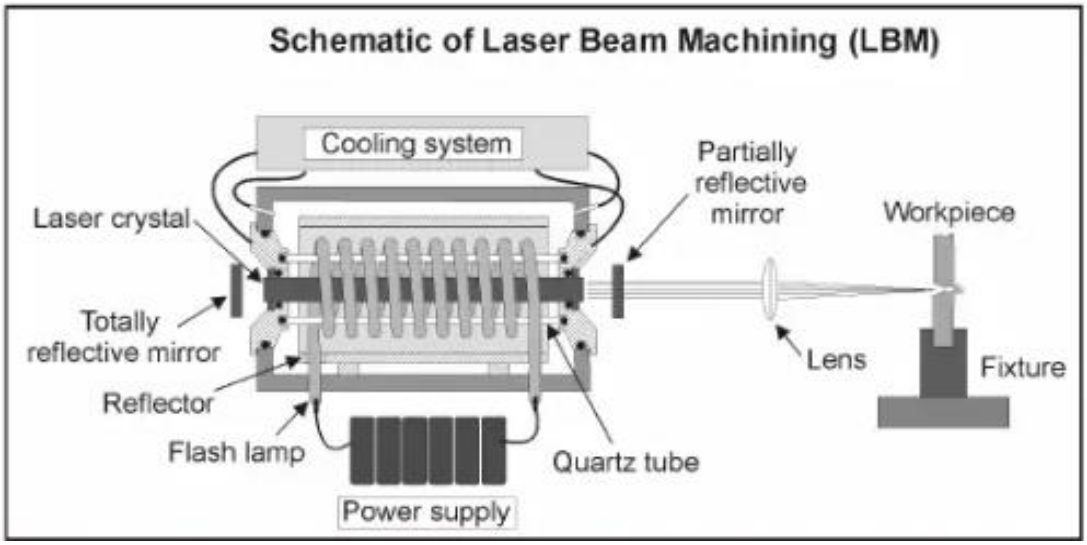


Figura 18 Esquema de Maquinagem por Laser (Swift & Brooker, 2003)

Feixe de electrões

Este processo consiste na projeção de um feixe de eletrões a elevada velocidade num meio em vácuo, que proporciona ao feixe de eletrões um ambiente para que este não disperse. Os eletrões ao incidirem sobre a superfície há transferência de energia cinética em energia calorífica e como consequência ocorre vaporização do material. O feixe de eletrões é emitido por um filamento de tungsténio a 2500˚C. Este processo está indicado para a realização de pequenos orifícios e ranhuras com poucos décimos de milímetros em materiais desde aços macios a temperados, aços inoxidáveis, ligas refratárias, alumina e cristais de quartzo, na figura seguinte é apresentado um esquema deste processo (Davim, 1995) (Swift & Brooker, 2003).

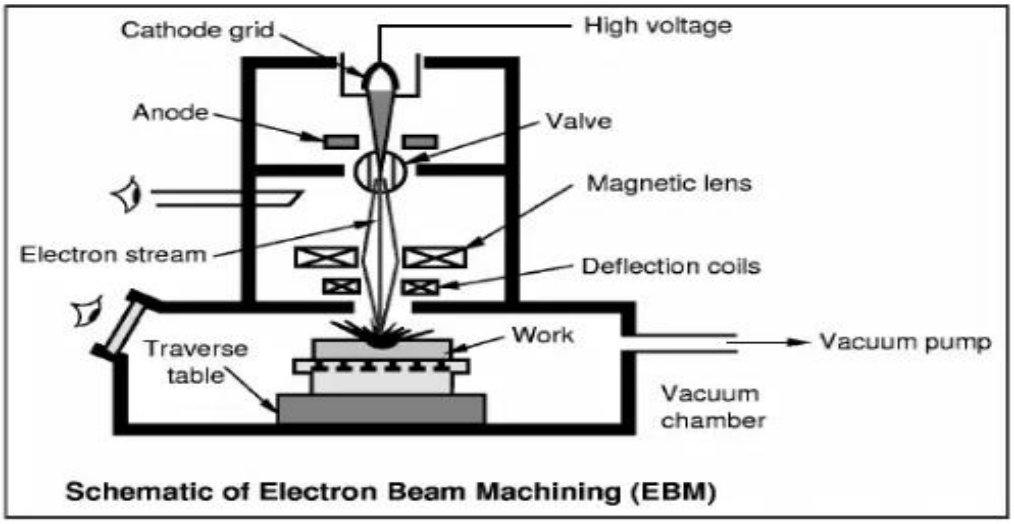


Figura 19 Esquema de Maquinagem por feixe de electrões (Swift & Brooker, 2003)

Ultra-sons

Processo utilizado para execução de furos ou cavidades complexas em materiais extremamente duros. O princípio baseia-se na vibração longitudinal da ferramenta a uma frequência de 20 kHz com uma amplitude à volta dos 0,013 mm e 0,1 mm e o contacto é feito por um líquido contendo abrasivo. A pressão é gerada por um gerador de vibrações, normalmente por questões de consumo energético trabalha-se a uma amplitude correspondente à amplitude de ressonância do conjunto. A ferramenta propriamente dita é de latão ou aço semiduro e é apenas utilizada uma vez. O líquido utilizado deve apresentar boa condutibilidade térmica, elevada densidade e boa fluidez (Davim, 1995) (Swift & Brooker, 2003). De forma a sistematizar esta informação é apresentado na imagem seguinte um esquema tipo deste processo.

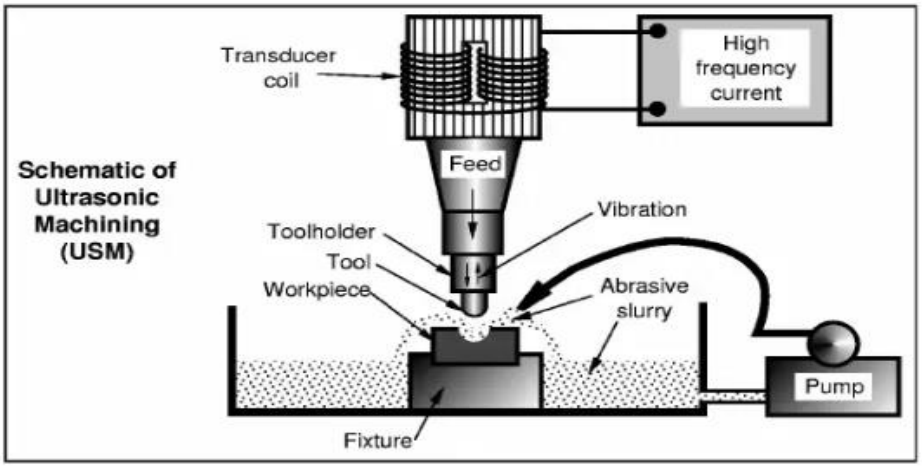


Figura 20 Esquema de maquinagem por ultrassons (Swift & Brooker, 2003)

Electroquímica

Processo utilizado na maquinagem de materiais duros como é o caso dos carbonetos sinterizados, ligas de Níquel e aços tratados. O processo consiste na utilização de um electrólito para ionizar e remover metal, o qual é bombeado entre a ferramenta e a peça ao mesmo tempo que uma corrente contínua passa através do ânodo (peça) e cátodo (ferramenta) a baixa tensão. A intensidade da corrente varia de 50 a 20000 A a uma tensão de 4 a 30 V, por norma os eléctrodos podem ser de cobre, latão e algumas vezes de Titânio e aço inoxidável, na imagem seguinte é apresentado um esquema do processo (Davim, 1995) (Swift & Brooker, 2003).

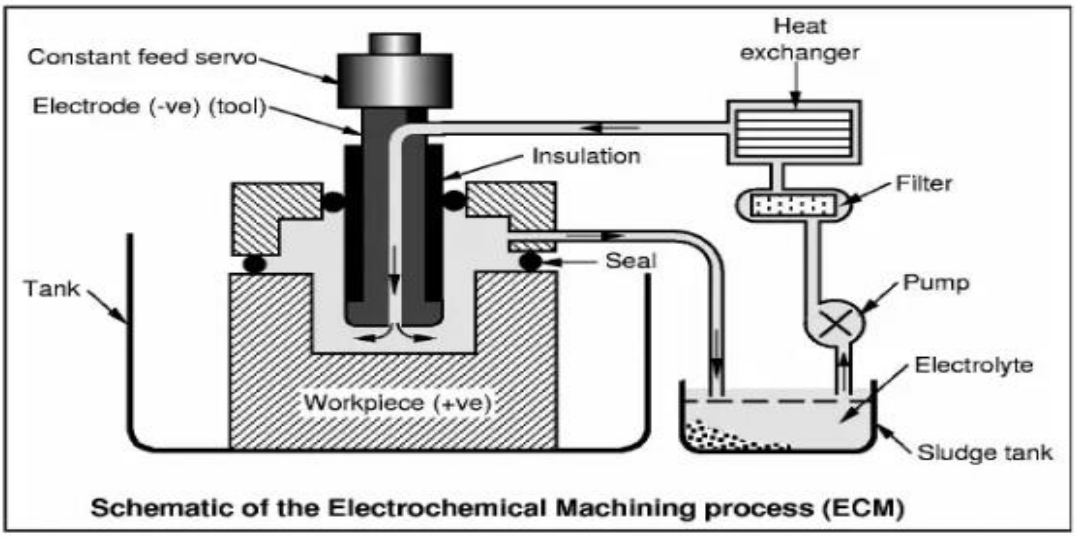


Figura 21 Esquema de maquinagem por processo eletroquímico (Swift & Brooker, 2003)

Evidentemente que os métodos de maquinagem apresentados anteriormente são bastante complexos, e a abordagem feita resume-se a uma breve introdução ao assunto.

2.1.3 Ferramentas utilizadas em maquinagem por arranque de apara

No processo de maquinagem podemos dividir as ferramentas de acordo com o processo utilizado, torneamento ou fresagem, e para efeitos de catalogamento serão abordadas as ferramentas de acordo com o processo de maquinagem adequado, no entanto podemos encontrar algumas ferramentas que podem ser utilizadas em ambos os processos como é o caso das brocas.

No que concerne ao processo de fresagem as ferramentas podem ser classificadas quanto à sua forma, construção e aplicação.

Quanto à forma podem ser:

- cilíndricas, quando apresentam uma forma cilíndrica com ou sem haste;
- cónicas ou angulares, são caracterizadas por apresentarem inclinação nas lâminas de corte;
- fresas de forma, são utilizadas para fresar superfícies especiais, tais como dentes de engrenagem, superfícies concavas e convexas entre outras formas complexas.

Quanto à construção, as fresas podem ser fabricadas só com um tipo de material ou podem ser usados dois tipos de material, um material mais simples para a constituição do corpo da fresa e outro material com características mecânicas específicas para a parte cortante.

Por último, quanto à aplicação as ferramentas são geralmente classificadas em função do material a maquinar, devendo ser consultadas as fichas técnicas das ferramentas, fornecidas pelos fabricantes, de forma a selecionar a ferramenta mais adequada em função do material a trabalhar e da operação de maquinagem a realizar. De facto, para diferentes condições de maquinagem estão associadas diferentes características geométricas das ferramentas que, para o caso das fresas, as mais relevantes são os ângulos de folga (α), de cunha (β) e o de saída (γ). A Figura 22 permite observar estes ângulos. Destes ângulos o mais importante é o ângulo de cunha (β), pois é o que mais condiciona o acabamento superficial. De uma forma geral quanto menor for este ângulo melhor é o acabamento superficial, contudo para materiais mais duros quanto menor for este ângulo menor é a área resistente ao corte podendo provocar a quebra da ponta da lâmina (Rocha, 2016).

Figura 22 Ângulos característicos (Rocha, 2016)

Nas tabelas seguintes são apresentadas as ferramentas mais comuns para o processo de fresagem (Rocha, 2016).

Tabela 2 Fresa cilíndrica de topo direito

Fresa cilíndrica de topo direito	
Descrição: Este tipo de fresa não apresenta raio de canto, é utilizada para maquinar faces verticais a 90 graus e sem raio de fundo. Estas ferramentas podem apresentar várias lâminas, podem ser inteiriças ou de pastilhas intercambiáveis montadas num suporte específico.	**Imagem:** 

Tabela 3 Fresa cilíndrica esférica

Fresa cilíndrica esférica	
Descrição: Este tipo de fresa apresenta a ponta esférica e é utilizada em acabamentos de superfícies tridimensionais e planos inclinados, podem ser inteiriças ou não, normalmente as inteiriças apresentam no máximo quatro lâminas**.**	**Imagem:** 

Tabela 4 Fresa cilíndrica toroidal

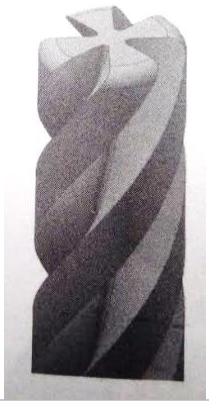
Fresa cilíndrica toroidal	
Descrição: Este tipo de fresa é muito idêntica à fresa cilíndrica de topo direito, só que tem a particularidade de apresentar raio de canto, é essencialmente utilizada para fresar contornos, cavidades e rasgos com raio de fundo.	**Imagem:** 

Tabela 5 Fresa facejar

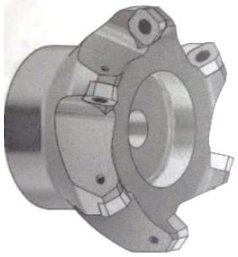
Fresa facejar	
Descrição: Este tipo de fresa é conhecida no meio por "roca" e caracteriza-se por ter pastilhas intercambiáveis. São utilizadas para realizar desbaste de grande quantidade de material e por isso são utilizadas para facejar ou para desbastes horizontais.	**Imagem:** 

Tabela 6 Fresa T

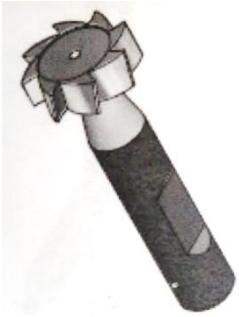
Fresa T	
Descrição: Este tipo de fresa apresenta uma forma geométrica que foi pensada apenas para realizar rasgos horizontais, contudo pode ser utilizada para outros tipos de trabalhos, mas devido à flexão que pode apresentar pode prejudicar a vida útil da ferramenta ou o acabamento da operação.	**Imagem:** 

Tabela 7 Fresa de módulo

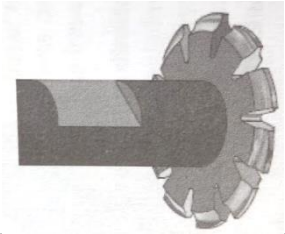
Fresa de módulo	
Descrição: Este tipo de fresa apresenta uma geometria específica para fresar as rodas dentadas de dentado reto.	**Imagem:** 

Tabela 8 Fresa "rabo de andorinha"

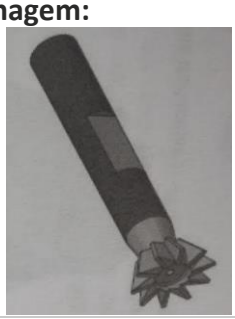
Fresa "rabo de andorinha"	
Descrição: Este tipo de fresa apresenta uma geometria cónica e são compostas por várias lâminas, este tipo de fresa é usada para fresar canais inclinados, usados para guiamentos e acoplamentos.	**Imagem:** 

Tabela 9 Fresa de quebra arestas

Fresa de quebra arestas	
Descrição: Este tipo de fresa apresenta uma geometria cónica com uma inclinação igual à inclinação que se pretende para o chanfro ou para os furos que se pretendem que sejam escareados. São normalmente em aço rápido, mas pode ser usado metal duro, existe também no mercado ferramentas destas com pastilhas intermutáveis.	**Imagem:** 

Tabela 10 Broca de pastilhas

Broca de pastilhas	
Descrição: Este tipo de ferramenta é usada para efetuar furos sem ser necessário efetuar um furo prévio de centramento, e tem capacidade de realizar o furo à profundidade total, no entanto pode furar com incrementos. As pastilhas são intermutáveis e esta ferramenta apresenta um ângulo de ponta de 180 graus**.**	**Imagem:** 

Tabela 11 Broca de centro e broca de ponto

Broca de centro e broca de ponto	
Descrição: Estes tipos de ferramentas são mais utilizados nas operações de torneamento, embora também são usadas em operações de fresagem. São utilizadas para efetuar furos de centramento, de forma a servir de guia para outras brocas**.**	**Imagem:** 

Tabela 12 Broca helicoidal

Broca helicoidal	
Descrição: Este tipo de ferramenta é usado para realizar furos passantes ou furos cegos. Os materiais mais usuais no fabrico destas ferramentas são o aço rápido, com um ângulo de ponta de 118 graus, e de metal duro, com um ângulo de ponta de 130 graus. As de aço rápido necessitam de um furo inicial de centramento enquanto que as de metal duro, devido ao ângulo de ponta, não necessitam de furo prévio.	**Imagem:**  Figura 23 Broca helicoidal (Meusburger, 2019)

Tabela 13 Fresa de disco

Fresa de disco	
Descrição: Este tipo de ferramenta é normalmente usado para realizar canais. A fresa de disco apresenta uma forma circular e pode ser constituída por pastilhas intermutáveis, normalmente são inteiriças e são fixas a um encabadouro cilíndrico e fixadas por meio de uma chaveta e apertadas por um parafuso. Esta ferramenta é útil em maquinagem com máquinas de três eixos, de forma a manipular menos vezes a peça.	**Imagem:** 

Tabela 14 Mandril

Mandril	
Descrição: Este tipo de ferramenta é bastante importante na indústria metalomecânica, pois permite furação para alargar e retificar furos, são normalmente usados até diâmetros de 20 mm e normalmente usam-se mandris com tolerâncias H7 porque é mais usado na indústria metalomecânica. Os mandris usados nas máquinas CNC são totalmente cilíndricos ao contrário dos manuais que são cónicos.	**Imagem:** 

Tabela 15 Buril de roscagem

Buril de roscagem	
Descrição: Este tipo de ferramenta, tal como o próprio nome indica, serve para efetuar roscas interiores e exteriores, são também usados no processo de torneamento. Esta ferramenta pode apresentar várias tipologias, pode ser em fresa de aço rápido ou metal duro ou ainda usar pastilhas intermutáveis com várias geometrias, como por exemplo pastilha em forma de pente ou pastilha com uma única aresta de corte.	**Imagem:** 

Tabela 16 Barra de mandrilar

Barra de mandrilar	
Descrição: Este tipo de ferramenta serve para alargar furos e retificar furos para diâmetros superiores a 20 mm. Esta ferramenta pode ser ajustada para o diâmetro pretendido através de um parafuso que desloca a pastilha para o diâmetro correto, nas barras de mandrilar mais comuns consegue-se ajustar o deslocamento da pastilha com uma precisão de 0,01 mm.	**Imagem:**  Figura 24 Barra de mandrilar (Coromant, 2019)

Tabela 17 Macho

Macho	
Descrição: Este tipo de ferramenta serve unicamente para roscar furos até normalmente 20 mm de diâmetro. Esta ferramenta pode ser fabricada em vários tipos de materiais e dividem-se em machos para furos passantes e machos para furos cegos.	**Imagem:**  Figura 25 Macho Furo Cego (Meusburger, 2019)

Tabela 18 Pastilhas

Pastilhas	
Descrição: A pastilha tem de ser adaptada a um suporte e o seu conjunto constitui a ferramenta, são muito comuns na metalomecânica, pois permite para um mesmo suporte usar vários tipos de pastilhas, para diferentes operações. Existem vários tipos de pastilhas e são definidas a partir da forma como "atacam" a peça. A norma que as define é a DIN 4987/ ISO 1832.2.	**Imagem:**  Figura 26 Pastilhas (Coromant, 2019)

No que concerne ao torneamento o tipo de ferramentas utilizadas são diferentes das utilizadas na fresagem, devido ao fato de no torneamento serem fabricadas peças de perfis em revolução, no entanto existem algumas ferramentas que por serem mais versáteis são utilizadas nos dois processos como por exemplo: brocas (de ponto, de pastilhas, helicoidais), mandris e machos. Na operação de torneamento é possível realizar operações de desbaste, de acabamento laterais e de topo, de furos interiores, de roscas interiores e exteriores, entre outras operações. As ferramentas mais comuns no torno são as denominadas de buris, destacando-se as seguintes:

Tabela 19 Ferramentas de desbaste

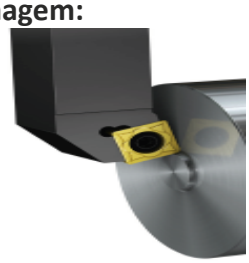
Ferramentas de desbaste	
Descrição: Estas ferramentas apresentam raio e ângulo da ponta maiores e angulo de posição próximo de 90 graus, de forma a suportarem esforços maiores. Apresentam pouca versatilidade em zonas de redução de cantos, geralmente são usadas para facejar**.**	**Imagem:**  Figura 27 Ferramenta desbaste (Coromant, 2010)

Tabela 20 Ferramentas de Acabamento

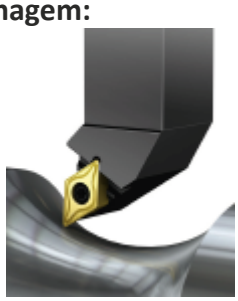
Ferramentas de Acabamento	
Descrição: Este tipo de ferramenta apresenta normalmente raio, ângulo de ponta e ângulo de posição menores do que as de desbaste, apresentando maior versatilidade no acesso a zonas de maquinagem com menores ângulos. São utilizadas para facejar em acabamento com incrementos pequenos.	**Imagem:**  Figura 28 Ferramenta de acabamento (Coromant, 2010)

Tabela 21 Ferramenta de roscar

Ferramenta de roscar	
Descrição: Este tipo de ferramenta é utilizada para efetuar roscas exteriores e interiores, normalmente são ferramentas com pastilhas intercambiáveis e a mesma possui a forma da rosca (métrica, quadrada, redonda, trapezoidal, entre outras). A vantagem de ser uma ferramenta com pastilhas intercambiáveis é precisamente na otimização da ferramenta com a utilização de outras pastilhas para outros tipos de roscas.	**Imagem:**  Figura 29 Ferramenta de roscar (Coromant, 2010)

Tabela 22 Ferramenta de sangrar

Ferramenta de sangrar	
Descrição: Esta ferramenta também vulgarmente designada por lâmina de sangrar é utilizada para efetuar o corte final da peça maquinada. Esta ferramenta tem de ser montada num suporte próprio para efetuar o corte, a sua forma estreita e comprida é precisamente para efetuar cortes para vários diâmetros, com recurso ao menor volume de desbaste, otimizando o desperdício de material.	**Imagem:**  Figura 30 Ferramenta de Sangrar (Coromant, 2010)

Apesar das inúmeras ferramentas apresentadas anteriormente, existe no mercado uma enorme diversidade de ferramentas que permitem satisfazer as várias necessidades ao nível da maquinagem.

2.1.4 Parâmetros de Corte

Nesta secção são abordados os parâmetros de corte no processo de fresagem, pois para o desenvolvimento deste projecto são necessários para definir ferramentas e trajetórias de maquinagem em fresagem. Os parâmetros de corte são definidos em função do material a maquinar e da ferramenta de corte, no entanto são condicionados pelas características da máquina operadora (Davim & Correia, 2006). Uma escolha adequada dos parâmetros de corte é fundamental, na medida em que parâmetros de corte não adequados podem causar problemas do tipo: vibrações indesejadas, desgaste prematuro da ferramenta, mau acabamento superficial, repetição de processos de acabamento, entre outros.

A velocidade de rotação depende da velocidade de corte e do diâmetro da ferramenta e por sua vez a velocidade de corte depende do material a maquinar e do tipo de ferramenta (Rocha, 2016). Normalmente, os catálogos de ferramentas fornecem os dados, tais como: velocidade de rotação (n), velocidade de corte (V_c), avanço da mesa (V_f), avanço por rotação (f_n), mas pode apenas apresentar alguns parâmetros sendo importante conhecer as fórmulas analíticas destes e as suas unidades. Por outro lado, os mesmos catálogos apresentam valores para estes parâmetros que foram validados segundo determinadas condições, em princípio segundo condições ideais e para estas mesmas condições são apresentados valores para a profundidade de corte (a_p) e para a profundidade de corte lateral (a_e).

Em seguida são apresentadas expressões importantes para o cálculo dos parâmetros de corte acima referidos.

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times d_c} \quad [rpm]$$ Equação 1

$$V_c = \frac{d_c \times \pi \times n}{1000} \quad [m/min]$$ Equação 2

$$V_f = f_z \times z \times n \quad [mm/min]$$ Equação 3

Pelas expressões anteriores, verificamos que existe uma relação entre os parâmetros de corte, assim sendo, é importante descrevê-los. A velocidade de rotação definida por n, corresponde à velocidade de rotação da ferramenta no caso da fresagem e à rotação da peça no caso do torneamento, e é apresentada sob a forma de rotações por minuto

[rpm]. A velocidade de corte V_c é expressa em metros por minuto e corresponde à velocidade da ferramenta segundo o seu eixo de rotação para o caso da fresagem. O d_c corresponde ao diâmetro de corte, sendo que no caso da fresagem corresponde ao diâmetro da ferramenta de corte e no torneamento ao diâmetro da peça a maquinar, é expressa em milímetros [mm]. Outro parâmetro é o f_z, este parâmetro é intrínseco à ferramenta e corresponde ao avanço por dente, ou seja, é o avanço que a ferramenta efetua por cada passagem de um dente e é expresso milímetros por dente [mm/dente]. Por último o z corresponde ao número de dentes da ferramenta de corte.

2.1.5 Vida útil e degradação das ferramentas de corte

No processo produtivo é importante otimizar a vida útil das ferramentas, de forma a reduzir o custo da operação através da utilização do menor número de ferramentas. Assim sendo, uma melhor eficiência passa por uma escolha acertada da ferramenta, da geometria indicada e dos parâmetros de corte apropriados ao material a maquinar e são estes os fatores que influenciam a vida útil das ferramentas. Segundo (Davim & Correia, 2006), a definição de vida útil de uma ferramenta é o tempo de corte efetivo das arestas de trabalho, sem que seja necessário proceder à sua substituição ou sem que seja necessário afiar. O conhecimento do tempo de vida útil de uma ferramenta é de extrema importância para que numa operação de maquinagem com utilização de máquinas fresadoras CNC se conheça o momento para se efetuar a troca de ferramentas e para avaliar o desempenho das mesmas.

Os processos de degradação podem ser divididos em dois grupos:

- Avarias: processos que provoquem o colapso da ferramenta de forma abrupta.
- Desgaste: processos que provoquem uma remoção gradual e progressiva das arestas de corte e de saída.

As avarias, normalmente têm origem em três tipos: roturas frágeis das arestas; deformação plástica do gume ou por fissuras em “pente”. As avarias originadas por roturas frágeis das arestas formam-se através de tensões de tração, devidas às forças de maquinagem e por descontinuidades no corte. O segundo tipo de avaria é devido à elevada velocidade de corte que provoca aumento excessivo da temperatura provocando um amolecimento da ferramenta de corte. Por fim, o terceiro tipo de avaria ocorre devido às tensões térmicas originadas pelos ciclos de aquecimento e arrefecimento bruscos nas situações em que o fluido de corte é insuficiente em determinados pontos.

O desgaste, tal como foi referido anteriormente, é um processo contínuo de erosão da ferramenta, ocorrendo em duas regiões adjacentes, a face de ataque e a face de saída. Normalmente a face de saída apresenta um desgaste não uniforme ao longo da aresta, com desgastes maiores na extremidade da aresta/entalhe (VN), e junto ao raio da curvatura/bico (VC), tal como se pode observar na Figura 31.

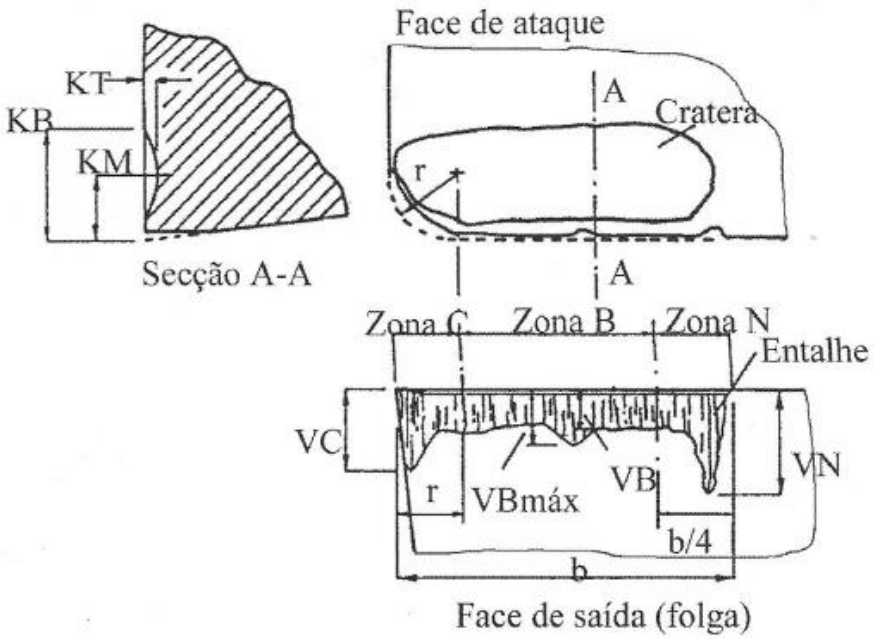


Figura 31 Formas de desgaste de ferramentas (Davim & Correia, 2006)

O desgaste na face de ataque é caracterizado pela formação de uma cratera e utilizam-se os parâmetros profundidade máxima (KT), largura máxima da cratera (KB) e a distância do eixo da cratera à aresta de corte (KM) para caracterizar este desgaste. Quando se utiliza o parâmetro profundidade máxima da cratera é uma boa estratégia usar o parâmetro adimensional K' =KT/KM, isto porque a localização da cratera influencia a fragilidade da ferramenta para o mesmo valor de KT.

Segundo Shaw M.C citado por (Davim & Correia, 2006) estes dois tipos de desgaste são progressivos, no entanto o desgaste em cratera na face de ataque apresenta um comportamento linear enquanto que o desgaste na face de saída apresenta um comportamento diferenciado ao longo do tempo, na qual é possível identificar três zonas distintas (A, B e C), como é possível, identificar no gráfico da Figura 32. A zona A, designada por primária, representa o inicio de trabalho da ferramenta e por efeito das elevadas tensões aplicadas no gume provoca um desgaste rápido até que a aresta fique arredondada. Após esta fase verifica-se que o desgaste na face de saída aumenta ligeiramente a uma taxa reduzida e constante, nesta fase designada por zona B verifica-se que o desgaste é gradual, controlável e previsível. Por último, na zona C, verifica-se um crescimento do desgaste da face a um ritmo maior do que a fase anterior e o desgaste da face está ao nível do desgaste crítico, prevê-se que está breve uma rotura catastrófica da aresta.

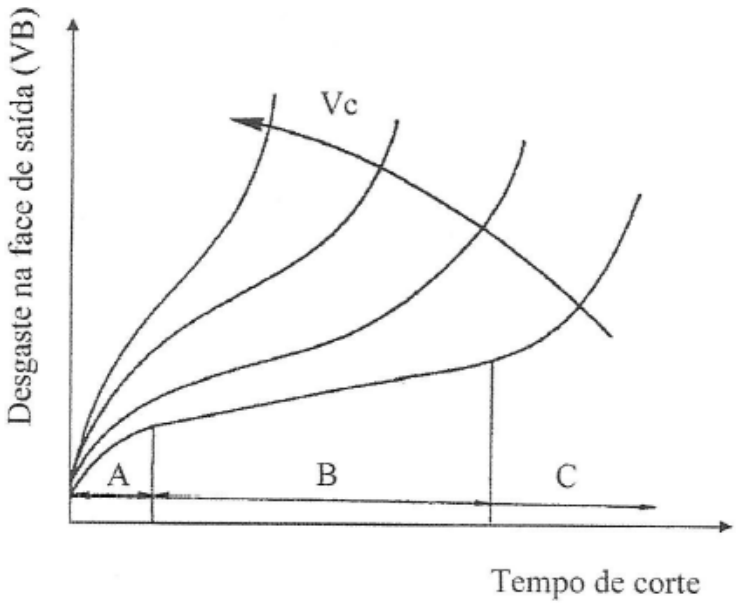


Figura 32 Evolução do desgaste na face de saída da ferramenta (Davim & Correia, 2006)

O conhecimento do desgaste na face de ataque e de saída é importante para conhecer as ferramentas a serem adotadas em cada tipo de trabalho, assim como para prever os momentos para efetuar a troca ou o afiamento da mesma. No entanto, quando a escolha da ferramenta é correta, o desgaste que mais importa controlar é o desgaste na face de saída, sendo este desgaste que serve como critério para fixar a vida útil da ferramenta. Em termos práticos, por vezes, não se efetua uma correta escolha da ferramenta de corte ou dos seus parâmetros de corte, comprometendo a vida útil da ferramenta e dificultando a análise do seu desgaste. De forma a dar resposta a esta dificuldade foram normalizados critérios de avaliação do desgaste que deu origem à norma ISO 3685 de 1993, que recomenda a utilização dos seguintes critérios por ordem hierárquica para cada tipo de ferramenta:

- Ferramenta de aço rápido e cerâmicas:
  1. Destruiçao total;
  2. VB= 0,3 mm, se o flanco se apresentar regular;
  3. VBmáx= 0,6 mm, se o flanco apresentar desgaste irregular;

- Ferramenta de carbonetos sinterizados:
  1. VB= 0,3 mm;
  2. VBmáx= 0,6, se flanco irregular;
  3. KT= 0,06 + 0,3a (a é o avanço);

Na prática utiliza-se os valores limites de desgaste que constam na Tabela 23, para diferentes materiais e para operações de desbaste ou de acabamento.

Tabela 23 Valores limites de desgaste recomendáveis (Davim & Correia, 2006)

Material da Ferramenta		Aço rápido	Carbonetos	Carbonetos Revestidos	Cerâmicos	
Operação	Desgaste (mm)				Al_2O_3	Si_3N_4
Desbaste	VB	0,35-1,0	0,3-0,5*	0,3-0,5	0,25-0,3	0,25-0,5
	VB máx	0,4-1,4	0,5-0,8*	0,4-0,7	-	-
	KT	0,1-0,3	0,1-0,2	0,1-0,15	0,1	0,1-0,15
Acabamento	VB	0,2-0,3	0,1-0,25	0,1-0,25	0,1-0,2	0,1-0,2
	VB máx	-	-	-	-	-
	KT	-	-	-	-	-

*pastilhas soldadas deve-se aumentar em 30%

Por último, importa referir quais os métodos de medição de desgaste utilizados e de que forma podem ser agrupados. Os métodos de medição são divididos em duas classes, em diretos e indiretos. Os métodos diretos baseiam-se na medida da perda de material da ferramenta de corte e para esta medição usam-se técnicas óticas, apalpadores mecânicos de contato ou de proximidade e as resistências elétricas. Os métodos indiretos são utilizados durante a maquinagem e usam parâmetros de controlo relacionados com o desgaste e avarias, tais como: variações dimensionais da peça e da ferramenta, variação da potência de maquinagem, variações de tensões e temperaturas na zona de corte, emissão acústica e ainda possíveis vibrações verificadas na peça ou no *spindle* da máquina.

2.1.6 Fixação de peças em maquinagem

A fixação das peças nas operações de maquinagem demonstrou ter sido sempre um assunto de elevada importância. A forma de fixação das peças pode comprometer a acessibilidade das ferramentas, podendo limitar o número de operações. Esta situação, poderá levar a um maior número de manuseamentos da peça, contribuindo para o aumento de erros. Assim, torna-se necessário conhecer os tipos de fixações existentes, de forma a optar por uma mais adequada ao tipo de trabalho em execução.

No que concerne aos tipos de fixação das peças, existem várias formas e mecanismos de fixação. A escolha de um em detrimento de outro é realizada de acordo com a geometria da peça, da força de fixação, da face ou das faces a maquinar, entre outros fatores. As tabelas seguintes mostram diversos dispositivos de fixação das peças (Rocha, 2016):

Tabela 24 Prensas

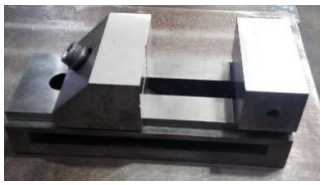
Prensas	
Descrição: As prensas são o mecanismo de aperto mais comum na indústria metalomecânica e podem ser de aperto manual, pneumático ou hidráulico. Estes mecanismos são bastante versáteis e fáceis de se usar. Devem se ser usadas em peças com pelo menos duas faces paralelas.	**Imagem:** 

Tabela 25 Buchas

Buchas	
Descrição: Este é um tipo de ferramenta de fixação usado exclusivamente para fixar peças cilíndricas, a base da bucha é inicialmente fixa à mesa de trabalho do centro de maquinagem e depois a peça é fixada na bucha.	**Imagem:** 

Tabela 26 Cantoneiras

Cantoneiras	
Descrição: As cantoneiras são ferramentas de fixação utilizadas quando se pretende fixar as peças descrevendo um ângulo de 90 ˚relativamente à mesa de trabalho.	**Imagem:** 

Tabela 27 Pratos Magnéticos

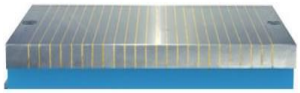
Pratos Magnéticos	
Descrição: Estas ferramentas de fixação apresentam a principal vantagem de permitir que a peça fique livre na periferia e pode ser usado para fixação de peças de pequena espessura. Só pode ser usada em materiais com propriedades ferromagnéticas e apresenta excelente força de aperto.	**Imagem:** 

Tabela 28 Gabaris

Gabaris	
Descrição: Este tipo de fixação é usado em casos especiais, nomeadamente em peças com formas irregulares. Estes tipos de ferramentas são desenvolvidos em função da geometria da peça a maquinar e devem garantir um correto assentamento da peça.	**Imagem:** 

Tabela 29 Mesas de vácuo

Mesas de vácuo	
Descrição: Este tipo de fixação apresenta o mesmo tipo de vantagem dos pratos magnéticos e permite fixação de diversas famílias de materiais, no entanto as forças de aperto são baixas. Apresenta uma aplicabilidade limitada.	**Imagem:** 

Tabela 30 Grampos

Grampos	
Descrição: Os grampos são ferramentas de fixação com diferentes formas e muito empregue quando se tem peças com grande área de aperto. Os grampos permitem um atravancamento da peça, no entanto, a troca da peça é mais demorada do que nos casos em que esta é apertada por prensa.	**Imagem:** 

Tabela 31 Alavancas

Alavancas	
Descrição: As alavancas apresentam como maior vantagem a troca rápida da peça, no entanto só devem ser usadas para maquinagens mais leves. No entanto, podem constituir obstáculo aos movimentos da ferramenta de corte, uma vez que geralmente se colocam sobre a peça. Existem vários tipos de alavancas, desde mecânicas, hidráulicas e pneumáticas.	**Imagem:** 

2.1.7 Fixação das ferramentas

As ferramentas podem ser fixadas utilizando diferentes encabadouros, estes são encaixados na máquina e fixados através de um aperto pneumático, por sua vez a ferramenta é apertada no cone de acordo com o tipo de geometria do cone. A seguir é apresentado de forma sucinta, sob a forma de tabelas, os principais cones utilizados, de acordo com a ISO 40 (Rocha, 2016).

Tabela 32 Cone porta-pinças

Cone porta-pinças	
Descrição: Este tipo de cone é dos mais versáteis porque permite trocar a pinça interna de acordo com o diâmetro do encabadouro da ferramenta.	**Imagem:** 

Tabela 33 Cone porta-fresas

Cone porta-fresas	
Descrição: Este tipo de cone é usado para montar fresas de grandes dimensões, também designadas por “rocas”. O cone é dotado de duas chavetas para não permitir rotação da ferramenta sob o eixo do cone e é fixado através de um parafuso.	**Imagem:** 

Tabela 34 Cone porta-buchas

Cone porta-buchas	
Descrição: Este tipo de cone é utilizado para montar buchas. As buchas são conectadas ao cone através de um furo ao encabadouro cónico do cone.	**Imagem:** 

Tabela 35 Cone Weldon

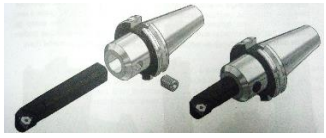
Cone *Weldon*	
Descrição: Este tipo de cone é dos mais robustos, no entanto provoca uma certa gama de vibrações devido ao descentramento de massas provocada pelo perno de fixação da ferramenta. Estes só permitem alojar ferramentas do mesmo diâmetro, a ferramenta é apertada por um perno roscado que se encontra na face lateral do cone e esta deve apresentar uma faceta lateral plana para permitir a correta fixação.	**Imagem:** 

Tabela 36 Cone para barras de mandrilar

Cone para barras de mandrilar	
Descrição: Este cone é constituído por uma barra de mandrilar inteiriça e sólida ao próprio cone. O cone para além de se conectar ao *spindle* da máquina, funciona também como ferramenta, no qual só é necessário trocar a pastilha de corte.	**Imagem:** 

2.2 Otimização de operações em maquinagem

O processo de maquinagem tem evoluído no tempo e apresenta, hoje em dia, algumas tendências que vão desde as máquinas até aos procedimentos usados, podendo-se destacar os seguintes (Coromant, Manual Técnico de Usinagem , 2010):

- Aumento da flexibilidade através do uso de centros de maquinagem de 5 eixos;
- Técnicas de fresagem mais leves e rápidas, através de profundidades de corte mais reduzidas, permitindo reduzir vibrações;
- Uso de ferramentas mais compridas;
- Menos *setups* para a realização da peça;

- Maquinagem de materiais mais duros;
- Maquinagem de peças de parede fina.

A partir das tendências do mercado, pretende-se abordar nos subcapítulos seguintes, o conceito CNC e as suas vantagens e desvantagens, estratégias de fresagem, formas de otimização do processo de maquinagem e, por fim, são apresentados alguns estudos sobre otimização na maquinagem.

2.2.1 CNC

O CNC é um sistema de controlo automático para diferentes máquinas como por exemplo electroerosão, tornos, fresadoras entre outras. Este sistema permite o controlo de vários eixos em simultâneo através de informações numéricas ou alfanuméricas, designado por código G, que estão definidas sequencialmente num programa. A implementação de um sistema deste tipo deve-se ao maior rigor de maquinagem exigido, à elevada complexidade das peças, à diminuição de peças não conformes, aos prazos de entrega mais reduzidos e ao desenvolvimento tecnológico. Este desenvolvimento, tem proporcionado a implementação de sistemas com controlo CNC a custos mais reduzidos, embora constituem ainda um custo significativo na estrutura de uma empresa (Rocha, 2016). Verifica-se que este sistema é uma mais valia na produção industrial com vantagens na sua implementação, mas também apresenta algumas desvantagens, deste modo é exposto na tabela seguinte um quadro resumo das vantagens e desvantagens deste sistema.

Tabela 37 Vantagens e Desvantagens sistema CNC (Rocha, 2016).

Vantagens	Desvantagens
❖ Melhor precisão e qualidade; ❖ Maior produtividade; ❖ Produção mais rápida; ❖ Mais máquinas por operário; ❖ Uniformização dos processos; ❖ Possibilidade de simulação; ❖ Menor fadiga nos operários; ❖ Menor tempo de *setup.*	❖ Custo elevado de máquinas e acessórios; ❖ Mais tempo para amortização do investimento; ❖ Necessidade de operários especializados e de formação para a renovação de conhecimentos; ❖ Custos de manutenção mais elevados.

Para se proceder à programação CNC é necessário conhecer um conjunto de elementos geométricos e tecnológicos. Os elementos geométricos dizem respeito às cotas da peça e essa informação está normalmente disponível em desenho. Quanto aos elementos tecnológicos engloba o material a maquinar, o tipo de ferramentas e os sues parâmetros de corte, as características das máquinas, o tipo de fixação das peças e a sequência ou estratégia de maquinagem. Após a tomada de conhecimento destes elementos, procede-se à elaboração do programa de maquinagem e, para tal, existem três métodos: programação manual; programação gráfica interativa e sistemas CAD/CAM.

Na programação manual as instruções são inseridas diretamente no painel de controlo ou inseridas num processador de texto e à posteriori na máquina. Na programação gráfica interativa é utilizado uma simbologia existente nos painéis de controlo das máquinas que corresponde aos códigos alfanuméricos e de forma interativa o operador procede à programação. Por último, os sistemas CAD/CAM foram essencialmente desenvolvidos para dar resposta à programação de geometrias mais complexas, com a utilização deste método é necessário ter acesso a um software CAM e um ficheiro da peça desenvolvido em software CAD, o operador no processo de programação procede à importação do ficheiro da peça em software CAD para o ambiente de trabalho do Software CAM, em seguida procede à seleção das operações de maquinagem e definição das ferramentas e seus parâmetros de corte, para finalizar é necessário recorrer a um pós-processador para converter o programa na linguagem do controlador da máquina (Davim & Correia, 2006).

Os dois primeiros métodos referidos anteriormente são mais adequados para programação de peças simples, mas para geometrias mais complexas é mais apropriado utilizar o último método.

2.2.2 Estratégias de Fresagem

O nível de complexidade das peças tem aumentado com a exigência dos clientes, tornando por vezes difícil e demorado o processo de programação das operações de maquinagem. Neste sentido é importante definir procedimentos para formas geométricas específicas, pois assim permite melhorar e otimizar os processos (Davim & Correia, 2006) (Rocha, 2016).

As geometrias podem ser divididas em duas categorias: as geometrias 2D e as 3D. As geometrias 2D são as que assentam segundo um plano e apenas variam em profundidade no terceiro eixo. Este tipo de geometria pode ser programado através do método de programação gráfica interativa. Já as geometrias 3D estão envoltas de maior complexidade, pois implica uma mudança contínua entre os três eixos (Davim & Correia, 2006). Neste tipo de geometria é imprescindível utilizar software CAM como, por exemplo, o *Depo-cam®, PowerMill®, MasterCam®, Catia®, Machining Strategist®,* entre outros.

Verifica-se que independentemente dos softwares utilizados, existe uma similaridade nas estratégias de maquinagem usadas pelos mesmos. Assim sendo, apresenta-se uma breve descrição dos tipos de estratégias existentes. Importa referir que as operações de desbaste devem ser uma boa aproximação à geometria final da peça e que as estratégias usadas em desbaste possam ser muito idênticas às de acabamento.

Tabela 38 Estratégias de Maquinagem (Davim & Correia, Maquinagem a Alta Velocidade - Fresagem / CNC, 2006).

Estratégia	Descrição
Contorno Exterior	Neste tipo de estratégia as trajetórias são feitas de acordo com um plano constituído por dois eixos e após cada passagem é incrementado uma terceira coordenada.
Corte Trocoidal	Caracteriza-se por realizar movimentos circulares enquanto realiza o movimento de corte, segundo um plano.
Fresagem a Z constante	Nesta estratégia, o corte é efetuado por patamares ao mesmo nível em Z e verifica-se taxas de remoção de material constante.
Acabamento em 3D offset	Neste tipo de estratégia o incremento é constante em relação à superfície a maquinar, muito utilizado em superfícies inclinadas e caracteriza-se por excelentes acabamentos.
Fresagem Radial	É um tipo de estratégia utilizada essencialmente para acabamentos em peças circulares. A ferramenta parte de uma zona central e incrementa entre 0 a 360˚.
Fresagem em Espiral	Nesta estratégia a ferramenta move-se do centro para a periferia em espiral.
Fresagem em Contorno	É um tipo de estratégia que permite realizar apenas contornos, ou seja, utiliza-se para acabamentos. Apresenta a particularidade de poder ser usada em contorno interior, exterior ou nas duas situações.

2.2.3 Otimização da maquinagem

Nesta secção serão abordados aspetos importantes a ter em conta na seleção de algumas ferramentas e no momento de programação, de forma a diminuir os tempos de maquinagem, o desgaste das ferramentas e melhorar o acabamento superficial.

Na maquinagem a alta velocidade, uma das regras mais importantes é tentar manter as forças de corte constantes. Para que tal seja possível, é necessário que a taxa de remoção seja constante, também designada por caudal efetivo de remoção da apara, esta pode ser determinada pela equação 2.4. (Rocha, 2016).

$$Q = V_f \times a_p \times a_e$$ Equação 4

Através da equação anterior, podemos afirmar que o caudal (Q) é uma consequência direta do avanço da mesa (V_f), do penetramento (a_p) e da largura de corte (a_p), verificando-se assim a importância dos parâmetros de corte e da sua correta definição segundo o fabricante ou de outros critérios, desde que testados e validados.

No processo de fresagem uma condição importante a ter em conta é a máquina usada, que deve apresentar características que permitam o correto acabamento da peça. De

uma forma geral, assume-se que o facejamento, fresagem de cantos a 90 graus e abertura de canais podem ser realizados em centros de maquinagem de 3 eixos, mas a obtenção de geometrias 3D requer máquinas de 4 e 5 eixos. No entanto em certas geometrias 3D é possível utilizar centros de maquinagem de 3 eixos (Coromant, 2010).

No processo de facejamento, a escolha da fresa de facejar é importante, pois estas ferramentas apresentam uma geometria especifica de fixação da pastilha que se designa por ângulo de posição que condiciona os resultados. Na tabela seguinte apresentam-se algumas características, vantagens e desvantagens para três geometrias.

Tabela 39 Características, vantagens e desvantagens fresas de facejar (Coromant, Manual Técnico de Usinagem , 2010).

Ângulo de posição 45˚	Ângulo de posição 90˚	Ângulo de posição 10˚
❖ Escolha geral para facejamento; ❖ Forças radiais e axiais bem equilibradas; ❖ Entrada suave no corte; ❖ Baixa tendência a vibrações em situações desfavoráveis; ❖ Formação de aparas mais finas. **Vantagens:** ❖ Alta produtividade; ❖ Otimizado para facejamento; **Desvantagens:** ❖ Profundidade de corte moderado	❖ Principal área de aplicação é a fresagem de cantos a 90 graus; ❖ Gera forças radiais na direção do avanço; ❖ Gera pouca pressão axial, ideal para fresagem de peças de estrutura fraca. **Vantagens:** ❖ Fresa versátil; ❖ Baixa força axial, ideal para peças de parede fina; ❖ Profundidade de corte grande;	❖ Fresas para altos avanços e para fresagem em mergulho; ❖ Avanços por dente altos para pequenas profundidades de corte, devido à produção de aparas finas; ❖ Deve ser utilizado para fresamentos em mergulho; ❖ Ideal para furos. **Vantagens**: ❖ Alta produtividade; ❖ Avanço alto; **Desvantagens:** ❖ Baixa profundidade de corte;

Outro aspeto importante é o passo da fresa de facejar, que se caracteriza pela distância entre as arestas de corte. Esta característica da fresa afeta principalmente a produtividade, a estabilidade, o consumo energético e deve estar de acordo com o material a maquinar. Sinteticamente, ao aumentar o número de arestas de corte, o avanço da mesa pode ser aumentado enquanto que a velocidade de corte e o avanço por dente permanecem iguais, sem aumento da temperatura nas arestas de corte. Com o aumento do avanço da mesa, consequência do uso de uma fresa de passo fino ou extrafino, requer mais potência à máquina, limitando a utilização de certas fresas. Uma

consequência da utilização de fresas com passo mais fino é o escoamento das aparas. De forma a sintetizar a informação, são apresentadas na tabela seguinte algumas considerações sobre a utilização de fresas com diferentes passos: fresas de facejamento de passo extrafino, fino e largo (Coromant, 2010).

Tabela 40 Características dos passos das fresas (Coromant, Manual Técnico de Usinagem , 2010).

Fresas Passo Largo	Fresas Passo Fino	Fresas Passo Extrafino
❖ Primeira escolha para operações instáveis; ❖ Potência limitada; ❖ Utilização em ferramenta longa; ❖ Materiais com aparas longas.	❖ Primeira escolha para operações estáveis; ❖ Boa produtividade.	❖ Primeira escolha para alta produtividade para baixo a_e; ❖ Operações de desbaste e acabamento.

No momento da programação é importante definir bem o momento de entrada da fresa na peça, na medida em que, por exemplo, uma entrada em linha reta da ferramenta produz aparas espessas até que a fresa esteja em contacto total e como consequência provoca desgaste precoce da ferramenta e vibrações. De forma a solucionar este problema deve-se diminuir o avanço em 50% até a fresa estar em contato total com a peça e programar a entrada da fresa no sentido horário, de forma a que a espessura da apara na saída seja zero. Esta situação permite avanços maiores e uma vida útil da ferramenta superior (Coromant, 2010).

No processo de fresagem deve-se ter em consideração que a mudança na direção de corte provoca o mesmo tipo de problema que a entrada em linha reta da fresa, assim é importante:

- ❖ Manter a fresa sempre em contato;
- ❖ Na fresagem periférica deve-se contornar os cantos;
- ❖ A largura de corte (a_e) deve ser 70% do diâmetro de corte (D_c) para garantir abrangência;
- ❖ Se possível, deve-se contornar furos ou outro tipo de interrupções.

No processo de fresagem de cantos interiores, o arco de contato radial aumenta exigindo mais aresta de corte e, como consequência, provoca forças de corte instáveis e vibrações, resultando em formação de marcas na peça e micro lascamentos ou quebra total da aresta de corte. Como solução, deve-se inicialmente realizar um desbaste com uma ferramenta de maior diâmetro, o ideal é usar uma ferramenta cujo diâmetro de corte seja o dobro do raio da peça e no momento de fresagem do canto deve-se garantir que o a_e não seja superior a 55% do D_c, já no restante percurso o a_e não deve ser superior a 20% do D_c. Quando o processo é de acabamento deve-se usar uma fresa de menor diâmetro, idealmente não deve ser superior a 150% do raio da peça e deve-se garantir que o a_e não seja superior a 40% do D_c na fresagem do canto. No restante percurso o a_e

mantém-se igual ao processo de desbaste. Na fresagem de cantos deve-se garantir a redução do avanço antes de se iniciar a fresagem do canto e tal deve acontecer a uma distância do canto de 50% do D_c da fresa (Coromant, 2010).

Na fresagem de caixas o escoamento das aparas é critico, assim sendo deve-se montar horizontalmente a peça e usar fluído de corte ou ar comprimido para facilitar a expulsão das aparas, deve-se realizar um furo inicial de cerca 150 % do D_c e reduzir o avanço nas primeiras etapas de mergulho da ferramenta.

No que concerne às opções de fresagem para acabamento utiliza-se frequentemente as opções de fresagem por contorno e em cópia. Na tabela seguinte são descritas algumas considerações sobre estes dois processos.

Tabela 41 Considerações sobre fresagem por contorno e passo cópia (Coromant, Manual Técnico de Usinagem , 2010).

Fresagem por Contorno	Fresagem passo Cópia
❖ Ideal para fresagem a alta velocidade; ❖ Permite avanços rápidos; ❖ Alta produtividade; ❖ Maior vida útil da ferramenta; ❖ Maior segurança.	❖ Menor impacto mecânico; ❖ Avanços menores; ❖ Menor vida útil da ferramenta; ❖ Programas mais longos; ❖ Menor tempo de corte.

Em suma verifica-se que as opções tomadas no momento de programação do processo de maquinagem são importantes, de forma a garantir bons resultados nas peças obtidas e rentabilidade dos recursos. Desta forma, percebe-se que o conhecimento teórico aliado à experiência são uma mais valia para optimização e rentabilização do processo de maquinagem.

2.2.4 Estudos recentes com vista à otimização em maquinagem

Neste subcapítulo são expostos de forma sucinta alguns artigos científicos relativamente recentes. Estes artigos abordam diversos assuntos sobre maquinagem como, por exemplo, o tempo de vida da ferramenta, acabamento superficial, fixação da ferramenta, maquinagem de materiais duros. Estes trabalhos, entre muitos outros, são fundamentais para a construção de conhecimentos válidos para a prática industrial.

Tabela 42 Resumo de artigos sobre maquinagem.

Título e Autores	Resumo
Protocol for tool wear measurement in micro-milling; L.L. Alhadeff, M.B. Marshall, D.T. Curtis, T. Slatter **(Alhadeff, Marshall, Curtis, & Slatter, 2019)**	Este artigo propõe um novo protocolo de medição das ferramentas usadas em micro-fresagem com critérios diferentes dos critérios ISO. Os pressupostos do protocolo defendido são os seguintes: ❖ Combinar a análise do desgaste do flanco e o desgaste da face; ❖ Deve-se ter em conta a distância de deslocamento da ferramenta ao invés da distância de corte ou tempo de corte; ❖ Deve ser usada a medição direta da ferramenta ao invés do acabamento na peça.
The Influence of milling tool geometry on the quality of the machined surface; Jirí Vobroucek **(Vobroucek, 2014)**;	Este trabalho estudou as características geométricas das ferramentas e de que forma as mesmas influenciam o acabamento final. Verificou-se que nas fresas de topo direito a mudança do ângulo de inclinação (*rake angle*) tem um efeito na deformação plástica, na formação de cavitações e nas forças de maquinagem. De forma a alterar a qualidade da superfície, atrito e rugosidade, o estudo refere que só é possível através do ângulo de hélice (*helix angle*). Conclui-se nos materiais testados que as ferramentas com ângulo de hélice de 0 graus apresentaram melhores resultados e maior vida útil.
Life cycle oriented milling tool management in small scale production; Dominik Heeschen, Fritz Kloche, Kristian Arntz; **(Heeschen, Kloche, & Arntz, 2015)**	Este artigo foca a padronização e gestão das ferramentas de corte e segundo os autores assenta em 4 campos de ação principais: ❖ Padronização das ferramentas de acordo com cada subtarefa; ❖ Desenvolvimento de parâmetros de corte otimizados; ❖ Padronização de processos de fresagem; ❖ Processo de fresagem suportado por decisões quantitativas.
The influence of tool holder technologies on milling performance; J. Fleischer, V. Schulze, M. Klaiber, J. Bauer, F. Zanger, N. Boev, U. Leberle, A. Spohrer, B. Rothaupt; **(Fleischer, et al., 2016)**	Este artigo estudou as vibrações na máquina quando são utilizados os sistemas de fixação de ferramentas HS e HE. Verificou-se que o aperto hidráulico tem maiores taxas de amortecimento do que o aperto térmico, melhor acabamento superficial, mais 10% de produtividade, maior vida útil das ferramentas (cerca de 300%) e menor ruído durante o processo de maquinagem.

Tabela 42 Resumo de artigos sobre maquinagem (continuação)

Título e Autores	Resumo
Tool technologies for milling of hardmetals and ceramics; T. Bergs, V. Richter, M. Ottersbach, J. Potschke, C. Hochmuth, K. Busch; **(Bergs, et al., 2016)**	Este artigo aborda a temática das ferramentas para maquinagem de materiais duros, como aços duros e materiais cerâmicos. Foram estudadas várias concentrações de Wc-Co, diferentes tamanhos de grão, revestimentos de TiAlN, Al_2O_3 e TaC Os resultados demonstraram que os dois primeiros revestimentos apresentam boa aderência e durezas superiores a 25 GPa, enquanto que com o terceiro as ferramentas apresentaram durezas de 60 GPa.
Substitution of coolant by using a closed internally cooled milling tool; E. Uhlmann, H. Riemer, D. Schroter, F. Sammler, S. Richarz; **(Uhlmann, Riemer, Schroter, Sammler, & Richarz, 2017)**	Este artigo estudou ferramentas com sistemas de arrefecimento interno, designadas por *heat pipes.* Foram realizados testes em aço duplex e retiradas as seguintes conclusões: ❖ Esta ferramenta permite dissipar mais de 15% da temperatura e aumentar em 50% a vida útil da ferramenta; ❖ Permite melhor dissipação de calor no sistema de fixação das ferramentas.
Comparison in surface integrity and fatigue performance for hardened steel ball-end milled with different milling speeds; W. Huang, J. Zhao, J. Niu, G. Wang, R. Cheng; **(Huang, Zhao, Niu, Wang, & Cheng, 2018)**	Este artigo estudou o efeito da maquinagem em aço AISI D2 quando maquinados com fresas cilíndricas esféricas a diferentes rotações. Os resultados dos ensaios demonstraram para rotações de 3000 r.p.m. e 8000 r.p.m. piores resultados comparativamente com rotações a 6000 r.p.m. Quanto à rugosidade da peça verificou-se que a 6000 r.p.m, apresentou os melhores resultados. Constatou-se que a microdureza diminui com o aumento da rotação, no entanto, o aumento da rotação provoca aumento de tensões residuais. Desta forma, os autores defendem uma escolha intermédia dos parâmetros de corte, de forma a melhorar o acabamento superficial e a diminuir as tensões residuais na peça.
Evaluation of the influence of different clamping chuck types on energy consumption, tool wear, and surface qualities in milling operations; B. Thorenz, H. Westermann, M. Kafara, M. Nutzel, R. Steinhilper; **(Thorenz, Westermann, Kafara, Nutzel, & Steinhilper, 2018)**	Este artigo estudou a utilização do cone *Weldon*, do cone porta-pinça e do cone de precisão (*Precison chuck*). Dos ensaios realizados verificou-se que o cone *Weldon* tinha mais baixo poder de corte, maior desvio radial que por sua vez provocava maior desgaste no flanco das ferramentas. O cone de precisão apresentou os melhores resultados. Constatou-se que o desgaste da ferramenta provoca o aumento do consumo energético e foi possível determinar que por cada 0,01 mm de largura de desgaste há um aumento de 8,91% de emissão de CO_2.

Tabela 42 Resumo de artigos sobre maquinagem (continuação)

Título e Autores	Resumo
Wear behaviour of uncoated and diamond coated Si_3N_4 tools severe turning conditions. R. Martinho; F. Silva; A. Baptista; **(Martinho, Silva, & Baptista, 2007)**	Os autores deste artigo estudaram o desgaste das ferramentas com revestimento de diamante (Si_3N_4) e sem revestimento, para as seguintes velocidades 500, 600 e 900 m/min, nos seguintes avanços (0,1; 0,25 e 0,4 mm/rev) e para uma profundidade de corte de 1 mm. Constatou-se que o processo de desgaste nas ferramentas de cerâmica ocorreu na ponta da ferramenta, o desgaste do flanco foi menor do que nas ferramentas sem revestimento e o fenómeno de desgaste deveu-se a processos mecânicos e químicos. Quanto à vida útil da ferramenta é significativamente superior nas ferramentas com o revestimento analisado.
Comparative Study of PVD and CVD cutting tools performance in milling of duplex stainless steel. R. Martinho; F. Silva; C. Martins; H. Lopes; **(Martinho, Silva, Martins, & Lopes, 2018)**	Este artigo tem como objetivo avaliar o desempenho de corte de duas pastilhas com revestimento em PVD e CVD, usadas para maquinagem de aço inoxidável duplex. Para a realização deste estudo usou-se os parâmetros de corte preconizados pelo fabricante. As pastilhas revestidas através de técnicas PVD apresentaram mais problemas de falha e um comportamento frágil do que as revestidas através de CVD, no entanto, para operações de acabamento as pastilhas revestidas PVD tem maior potencial do que as de CVD, devendo as de CVD ser usadas para desbaste. Este artigo, também propõem a alteração da geometria da ferramenta.
Machining GX2CrNiMoN26-7-4 DSS Alloy: Wear Analysis of TiAlN and TiCN/Al2O3/TiN Coated Carbide Tools Behavior in Rough End Milling Operations F. Silva; R. Martinho; C. Martins; H. Lopes; R. Gouveia. **(Silva, Martinho, Martins, Lopes, & Gouveia, 2019)**	Este artigo estuda o comportamento de pastilhas de carboneto de tungstênio revestidas através de PVD e CVD na maquinagem de aço inoxidável super duplex, de forma a identificar os mecanismos de desgaste para cada um dos casos. Constatou-se que o substrato usado no processo CVD degradou-se mais rápido do que o que foi usado no PVD, o acabamento superficial piora à medida que o substrato desaparece da pastilha. Em suma, as ferramentas revestidas com TiAlN via PVD apresentaram melhor comportamento ao desgaste e melhores acabamentos.

Tabela 42 Resumo de artigos sobre maquinagem (continuação)

Título e Autores	Resumo
Machining Duplex Stainless Steel: Comparative Study Regarding End Mill Coated Tools. R. Gouveia, F. Silva, P. Reis, A. Baptista. **(Gouveia, Silva, Reis, & Baptista, 2016)**	Este trabalho visou estudar o comportamento e o desgaste de várias ferramentas, sobre determinadas condições previamente definidas e com sistema de arrefecimento utilizando emulsão de 5% de óleo em água. Conclui-se que as fresas de quatro lâminas de corte apresentaram os menores resultados de Ra, Rz e Rmáx. Por fim, verificou-se nas fresas com duas e três lâminas de corte uma melhor extração da apara, no entanto, estas apresentam menor vida útil comparativamente às fresas com quatro lâminas de corte.
Cutting forces and wear analysis of Si_3N_4 diamond coated tools in high speed machining. R. Martinho; F. Silva; A. Baptista. **(Martinho, Silva, & Baptista, 2008)**	Neste trabalho foi estudado ferramentas com revestimento de Si_3N_4 por HFCVD na maquinagem de ferro fundido nodular cinzento. Foi verificado para altas temperaturas reações químicas e difusão entre a ferramenta e a peça, proporcionando desgaste da ferramenta. No material testado e devido à sua heterogeneidade da microestrutura, verificou-se que a rugosidade aumentou à medida que a velocidade de corte aumentou, estabilizando apenas no último teste a 900m/min.
A novel concept of CNC Machining Center Automatic Feeder. M. Barbosa; F. Silva; C. Pimentel; R. Gouveia **(Barbosa, Silva, Pimentel, & Gouveia, 2018)**	Este trabalho consistiu em desenvolver uma célula capaz de ser conectada a mais do que um centro de maquinagem, de forma a que fosse possível alimentar de forma autónoma os centros de maquinagem. Esta célula permite ser adaptada às necessidades dos clientes, podendo ser codificada através código QR e estar conectada a AGVs. Este trabalho desenvolvido vai ao encontro da designada Indústria 4.0, permitindo reduzir mão de obra e utilizar as tecnologias de informação atualmente disponíveis.

2.3 Moldes

Antes de iniciar a apresentação do capítulo, importa definir o conceito de Molde. O molde define-se como uma ferramenta, em termos industriais, que tem como objetivo dar a forma pretendida a um material (Polímeros, 2004).

Neste capítulo é abordado o molde desde a sua génese à importância que o mesmo assume no contexto português. No que concerne ao desenvolvimento e criação de moldes, a indústria portuguesa apresenta um forte *know-how* que lhe permite estar bem posicionada no ranking europeu, no entanto em termos de mercados verifica-se que o seu maior cliente é o sector automóvel, sendo este um mercado volátil com bastantes imposições. Seria interessante apostar noutros mercados mais tecnológicos para que possa impulsionar ainda mais os nossos conhecimentos e consequentemente sermos mais competitivos pela via da qualidade.

Neste capítulo são abordados conceitos específicos dos moldes, a sua tipologia, considerações técnicas e os sistemas que constituem o molde.

2.3.1 Importância da indústria de moldes no contexto Português

A génese da indústria de moldes para plásticos em Portugal deve-se a Aníbal H. Abrantes que, em 1943, na empresa de moldes para vidro que detinha com seu irmão, Aires Roque, na Marinha Grande deu os primeiros passos para o início deste sector. Surgiu assim, mais empresas produtoras de moldes para plásticos neste concelho e no concelho de Oliveira de Azeméis e como consequência deste crescimento surgiu a necessidade de importar tecnologia para dotar as empresas de melhores recursos para fazer face aos desafios produtivos da fabricação de moldes. Tal permitiu a exportação dos primeiros moldes já em 1955 para a Grã-Bretanha (Moldes, 2019).

Esta indústria tem demonstrado ao longo dos anos capacidade de adaptação às exigências do seu mercado, como tal verificou-se um aumento nas vendas, sendo que o ano de 2017 foi o ano recorde com um crescimento 5,7 % face a 2016 representando, em vendas para o exterior, 668,5 milhões de euros.

Esta indústria em Portugal tem apresentado elevada capacidade de adaptação às necessidades dos clientes e das novas tecnologias, apresenta um carácter de inovação e alta intensidade tecnológica que lhe permite ser um dos principais fabricantes mundiais, ocupando o oitavo lugar a nível mundial e o terceiro a nível Europeu.

Segundo os dados do INE, no que concerne aos países importadores de moldes Portugueses, os mercados principais são: Espanha (22%), Alemanha (21%) e a França (11%) e no que diz respeito à tipologia de clientes é a indústria automóvel o principal cliente, com uma cota de 82% (CEFAMOL, 2018).

Segundo o INE em 2016 existiam em Portugal 740 empresas de fabricação de moldes que empregavam 10809 pessoas, no entanto a CEFAMOL aponta para 515 empresas dedicadas à conceção, desenvolvimento e fabrico de moldes, sendo a maioria PME.

A localização geográfica desta indústria no nosso país está bem identificada no distrito de Leiria, no entanto também se encontra um pouco espalhada ao longo do território norte de Portugal (CEFAMOL, 2018).
Por último, o sucesso desta indústria deve-se ao grande *Know-how*, ao cumprimento dos objetivos dos clientes e prazos de entrega, ao investimento em tecnologia de ponta para desta forma sermos competitivos quer ao nível da qualidade técnica e ao nível económico (Moldes, 2019).

2.3.2 Tipologia e considerações técnicas dos moldes

Quanto à tipologia dos moldes, importa referir que depende do segmento a que se destinam. Pois podemos referir os moldes para a produção de peças em vidro; moldes para materiais cerâmicos; moldes para a produção de peças poliméricas; moldes para fundição injetada. No entanto, o tema deste projeto remete-nos para os moldes destinados à produção de peças poliméricas, mais concretamente moldes 3D para injeção (Polímeros, 2004). Na figura seguinte pode-se observar diferentes processos que utilizam moldes para plásticos.

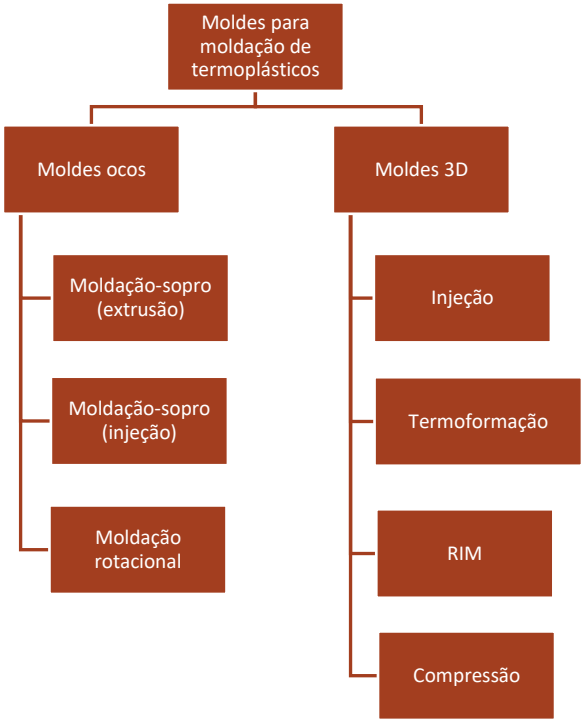


Figura 33 Organograma de moldes para moldação de termoplásticos

O molde deve ser capaz de produzir peças com qualidade num tempo de ciclo baixo, ter o mínimo de manutenção e apresentar ainda as seguintes funções:

- Produzir peças com reprodutibilidade a volumes constantes;
- Permitir o enchimento com polímero;
- Permitir o arrefecimento;
- Permitir a extração da peça.

Os moldes de injeção são estruturas constituídas por vários sistemas funcionais de forma a cumprir com as funções acima mencionadas, estes formam um espaço definido pela cavidade e pela bucha a onde será gerada a peça, designando-se por zona de impressão. Os sistemas funcionais de um molde são (Polímeros, 2004):

- Impressão (zonas moldantes), confere a geometria à peça;
- Centragem e guiamento;
- Alimentação;
- Escapes de gases;
- Controlo de temperatura;
- Extração.

No que concerne à estrutura do molde, este é composto tipicamente por um conjunto de placas e calços que podem variar em número, por exemplo para um molde de duas placas a parte fixa é constituída pela placa de aperto da injeção e pela placa das cavidades, já a parte móvel é constituída pela placa da bucha, placa de reforço da bucha, calços e a placa de aperto de extração (Figura 34). Na placa das cavidades é maquinada a cavidade correspondente à parte exterior da peça a injetar (fêmea do molde) e na placa das buchas é maquinada a parte interior da peça (macho do molde) (Polímeros, 2004).

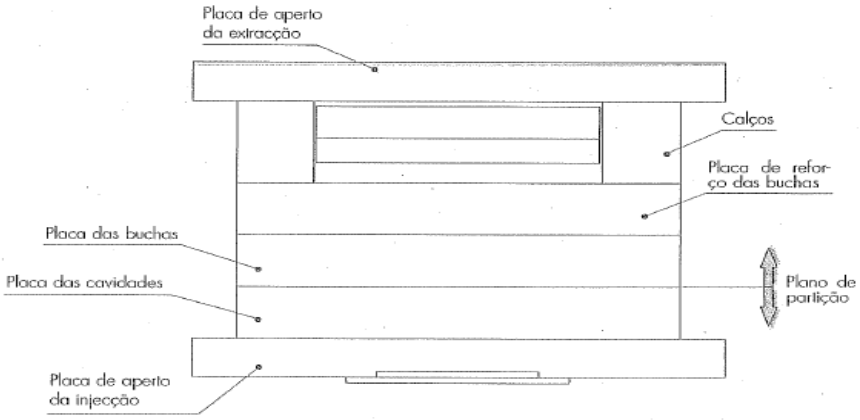


Figura 34 Partes típicas de um molde

A configuração acima descrita não invalida o facto de se poder alterar a posição do macho e da fêmea do molde, no entanto este posicionamento permite uma melhor

extração da peça. O calço tem como função assegurar o espaço mínimo dos movimentos do sistema de extração e a altura do molde (Polímeros, 2004). Para dar rigidez ao conjunto, os vários componentes do molde devem de ser aparafusados e encavilhados entre si.

No que concerne à tipologia dos moldes existe um primeiro nível de divisão, sendo que é importante fragmentar os moldes entre moldes sólidos e moldes estruturados (Figura 35), que depois se subdividem em vários tipos.

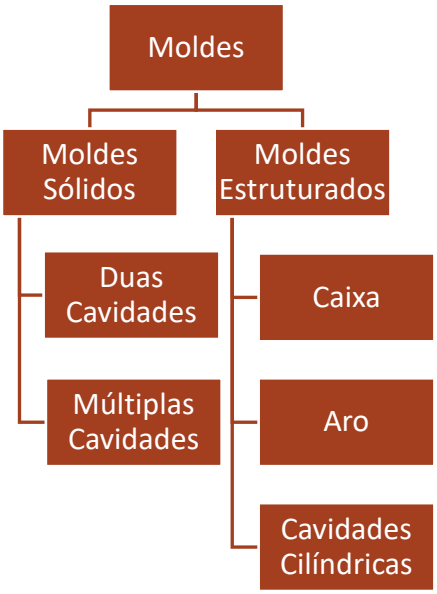


Figura 35 Divisão entre Moldes Sólidos e Estruturados

A divisão entre moldes sólidos e moldes estruturados prende-se com o facto da zona moldante ser maquinada diretamente na placa ou não, assim o molde sólido caracteriza-se por apresentar a zona moldante maquinada na placa enquanto que os moldes estruturados apresentam a cavidade e a bucha encastrada nas placas da estrutura (Polímeros, 2004). Em seguida, na Tabela 43 e Tabela 44 são apresentadas considerações sobre as subdivisões dos tipos de moldes.

Tabela 43 Caracterização de moldes sólidos

Tipo de Molde	Definição do Molde	Subdivisão	Características
Moldes Sólidos	Moldes sólidos são todos os moldes em que a zona de impressão das zonas moldantes constituem as placas, ou seja, a cavidade e a bucha é maquinada diretamente na placa, como exemplo deste tipo de molde (ver Figura 36).	Duas cavidades	Neste tipo de molde é importante abordar os tipos de centramentos e travamentos. Tipos de centramentos: ❖ Centragem Caixa ❖ Centragem Guiamento ❖ Centragem Réguas ❖ Centragem Cantos Tipos de travamento: ❖ Travamento Direto ❖ Blocos de travamento
		Múltiplas Cavidades	Estes moldes permitem a moldação de várias peças. Moldes deste tipo, com cavidade e bucha suficientemente rígidas, com travamento e sistema de controlo de temperatura, permitem obter peças com qualidade.

Tabela 44 Caracterização de moldes estruturados

Tipo de Molde	Definição do Molde	Subdivisão	Características
Moldes Estruturados	Moldes estruturados são todos os moldes em que a zona de impressão das zonas moldantes não são feitas diretamente nas placas, ou seja, são abertas caixas nas placas a onde são acopladas a cavidade e a bucha. A opção do tipo de molde deve ser realizada de acordo com as necessidades de projeto. Na Figura 37, é possível visualizar um molde deste tipo em que a bucha é aparafusada na placa através de parafusos.	Caixa	❖ Robusto; ❖ Económico; ❖ Caixa de precisão média; ❖ Não permite retificação;
		Aro	❖ Mais fraco, sobretudo em moldes de grandes dimensões; ❖ Económico; ❖ Maior precisão; ❖ Permite Retificação;
		Cavidades Cilíndricas	Usados para produzir peças de perfis circulares, alguns moldes podem apresentar algumas especificações como uso de vedantes.

Figura 36 Molde Sólido (Standarmoldes, 2019)

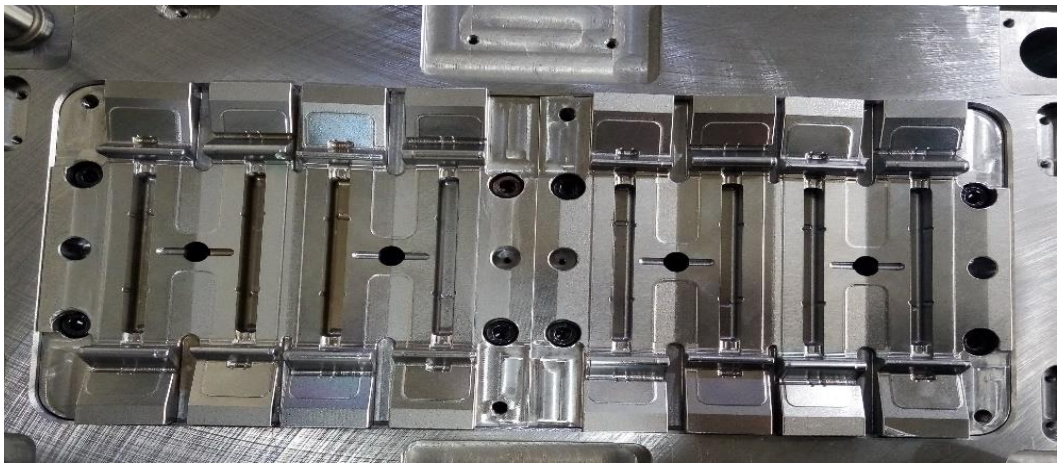


Figura 37 Molde Estruturado (Standarmoldes,2019)

Feita esta primeira divisão dos moldes, com apresentação dos moldes sólidos e moldes estruturados e os seus subtipos em termos construtivos, importa agora apresentar os restantes tipos de moldes que podem existir nestas categorias. Para o efeito, apresentam-se expostos nas alíneas seguintes os restantes subtipos.

a) Molde de três Placas (canais frios):

Os moldes de canais frios devem de ser utilizados quando a solidificação do material injetado não é obtida por arrefecimento, mas sim por um processo de cura do material a uma temperatura superior à temperatura de injeção. Estes moldes apresentam maior desperdício de material, pois a quantidade de material injetado corresponde ao somatório do volume da peça a injetar mais o volume dos respetivos canais. Verifica-se que estes moldes são adequados para injeção de material com elevado nível de fluidez normalmente para tempos de ciclo inferiores a 20 segundos e normalmente apresentam um plano de partição para extração do canal frio.

Na tabela seguinte são enumeradas as vantagens e desvantagens deste tipo de configuração de molde no campo económico e tecnológico.

Tabela 45 Vantagens e desvantagens económicas e tecnológicas dos moldes de canais frios

Económico		Tecnológico	
Vantagens:	**Desvantagens:**	**Vantagens:**	**Desvantagens:**
Baixo custo.	Nível de produtividade baixa durante o arranque de produção.	Projeto e fabrico simples.	Limitação do uso de moldes; Reduzido controlo térmico dos canais; Apenas para materiais com tempos de ciclo curtos.

b) Molde de canais quentes:

Os moldes de canais quentes têm como função manter o material no estado fundido desde o bico da injetora até à zona moldante, evitando a solidificação prematura do material. Estes moldes permitem a obtenção de peças sem remoção do sistema de alimentação. A aplicação deste tipo de molde é adequada para a maioria dos termoplásticos, apenas apresenta limitações de aplicabilidade em materiais termodegradáveis e materiais com retardantes de chama.

Na tabela seguinte são apresentadas as vantagens e desvantagens destes moldes nos campos económico e tecnológico.

Tabela 46 Vantagens e desvantagens económicas e tecnológicas dos moldes de canais quentes.

Económico		Tecnológico	
Vantagens:	**Desvantagens:**	**Vantagens:**	**Desvantagens:**
Baixo consumo de material e eliminação de granulação; Tempos de ciclo curtos; Menor curso de abertura (diminuição consumo energético).	Maior complexidade de projeto e custo do molde; Possibilidade de falhas elétricas (resistências de aquecimento); Na fase de arranque do molde, maior número de peças rejeitadas.	Maior facilidade de automatização do processo; Flexibilidade na localização dos pontos de injeção; Possibilidade de tempos de compactação longos, se necessário.	Possibilidade de degradação térmica; Prever expansão térmica do material no projeto de molde; Possibilidade de assimetrias térmicas nos canais.

c) Moldes Família:

Este tipo de molde permite obter um conjunto de peças distintas, no mesmo molde, optimizando assim a capacidade produtiva do mesmo. No entanto, é necessário balancear as impressões para que o fluxo de material chegue a todo lado ao mesmo tempo.

d) Split Molde:

Este molde caracteriza-se por apresentar os elementos móveis, usados na extração da peça, do lado da injeção (lado fixo do molde) e podem ser acionados em simultâneo com abertura do molde.

e) Molde em Andares (Sandwich):

Este molde caracteriza-se por ter a capacidade de duplicar a quantidade de peças injetadas para a mesma força de fecho. A abertura e fecho do molde faz-se com o auxílio da abertura da máquina de injeção, mas é importante garantir durante a abertura e fecho do molde que as partes não se desconectem dos guiamentos. Para a abertura da máquina utilizam-se guiamentos que podem ser efetuados através de:

- Roda dentada;
- Fuso;
- Hidráulicos;
- Alavancas;
- Tirantes.

Já os movimentos podem ser feitos através:

- Tirantes;
- Sistema hidráulico;
- Alavancas.

f) Molde Bi-material:

Este tipo de molde é utilizado para a injeção de dois ou mais materiais que podem apresentar diferentes composições químicas entre si e diferentes comportamentos mecânicos.

Os conceitos apresentados anteriormente tentam abordar as matérias mais significativas no que diz respeito à divisão e caracterização dos moldes.

Na tabela seguinte são apresentadas algumas considerações técnicas sobre os três tipos de moldes mais usuais no mercado (Polímeros, 2004):

Tabela 47 Características genéricas de tipos de Moldes

Tipos de Moldes	Características
Moldes duas placas	❖ Necessário fazer reciclagem do material do sistema de alimentação;
Moldes três placas	❖ Permite obter as peças separadas do sistema de alimentação; ❖ Necessário fazer reciclagem do material do sistema de alimentação;
Moldes canais quentes	❖ Permite obter as peças separadas do sistema de alimentação; ❖ O material do sistema de alimentação fica dentro do molde, desta forma não é necessário fazer reciclagem do material;

2.3.3 Estudos recentes sobre moldes

Tabela 48 Resumo de artigos sobre moldes de injeção.

Título e Autores	Resumo
Increasing the wear resistance of molds for injection of glass fiber reinforced plastics. F. Silva; R. Martinho; R. Alexandre; A. Baptista **(Silva, Martinho, Alexandre, & Baptista, 2011)**	A abrasão provocada na injeção de plástico reforçado com fibras de vidro tem originado desafios no desempenho dos moldes. Desta forma, neste trabalho foram estudados dois revestimentos, TiAlSiN e CrN/ CrCN/ DLC. Os testes realizados demonstraram que após 45000 ciclos de injecção a resistência ao desgaste dos moldes aumentou num fator de 25 e 58 para os revestimentos TiAlSiN e CrN / CrCN / DLC respectivamente.
Improving the wear resistance of moulds for the injection of glass fibre- reinforced plastics using PVD Coatings: A comparative Study. F. Silva; R. Martinho; M. Andrade; A. Baptista; R. Alexandre. **(Silva, Martinho, Andrade, Baptista, & Alexandre, 2017)**	Os revestimentos de PVD são bastante usados, de forma a melhorar a resistência ao desgaste. Este artigo compara quatro revestimentos por PVD, sendo eles: TiAlN, TiAlSiN, CrN/ TiAlCrSiN e CrN/ CrCN / DLC. Os primeiros dois revestimentos são monocamada enquanto que os restantes são multicamada. Constatou-se que os revestimentos testados são compatíveis para o uso em cavidades de moldes, conferindo rugosidades num intervalo de 0,033 a 0,061 µm. Verificou-se boa aderência do revestimento ao aço e o revestimento com melhor performance nos testes de micro abrasão foi o TiAlN. No entanto, em termos industriais, o melhor revestimento foi o CrN/ TiAlCrSiN.

Tabela 48 Resumo de artigos sobre moldes de injeção (continuação)

Título e Autores	Resumo
TiB_2 Nanostructured Coating for GFRP Injection Moulds. R. Martinho; F. Silva; R. Alexandre; A. Baptista **(Martinho, Silva, Alexandre, & Baptista, 2011)**	Neste estudo pretendeu-se analisar o revestimento de TiB_2 por PVD, em moldes para injecção de polipropileno reforçado com fibra de vidro. Para este estudo foram realizados 13500 ciclos de injeção e utilizou-se técnicas de análises com recurso a SEM, Espectroscopia de raio-x, entre outras. Verificou-se que este revestimento apresenta uma excelente aderência ao aço, apresenta uma resistência ao desgaste cerca de 42 vezes superior ao molde sem revestimento e só após 90000 ciclos é que se verificou algum descolamento do revestimento.

DESENVOLVIMENTO

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Caracterização da empresa de acolhimento

O presente projeto foi desenvolvido na empresa Standarmoldes, situada na rua 5 de Outubro em Nogueira, concelho de Braga. Esta empresa teve o seu início na atividade de fabricação de moldes metálicos em 1998, dedicando-se à construção de pequenos moldes para o mercado de consumíveis.

Em 2005 contava já com 100 moldes construídos e fruto de um crescimento sustentado, em 2006, adquiriu dois centros de maquinagem para fresagem com controlo numérico, possibilitando desta forma aumentar a sua capacidade e complexidade produtiva para assim produzir moldes para a indústria automóvel. Foi já no ano de 2009 que mudou de instalações para a atual localização, com vista a aumentar a área produtiva e melhorar o acesso às vias de comunicação existentes. Passados já 20 anos desde o início da atividade de produção de moldes, a Standarmoldes conta com mais de 400 moldes projetados e fabricados e neste momento o seu principal mercado é o sector automóvel. Contudo, a empresa reúne condições de capacidade produtiva, como equipamentos rigorosos aliados a uma experiência de mais de 20 anos, que lhe permite fazer face às exigências e projetos de outros sectores. A Figura 38 apresenta alguns dados da empresa.

Figura 38 Dados da empresa Standarmoldes

Em suma, como se pode observar na Figura 39, a Standarmoldes tem como principais clientes a indústria automóvel (57%), indústria de consumíveis (32%), a indústria de ferramentas (6%) e a indústria médica (5%).

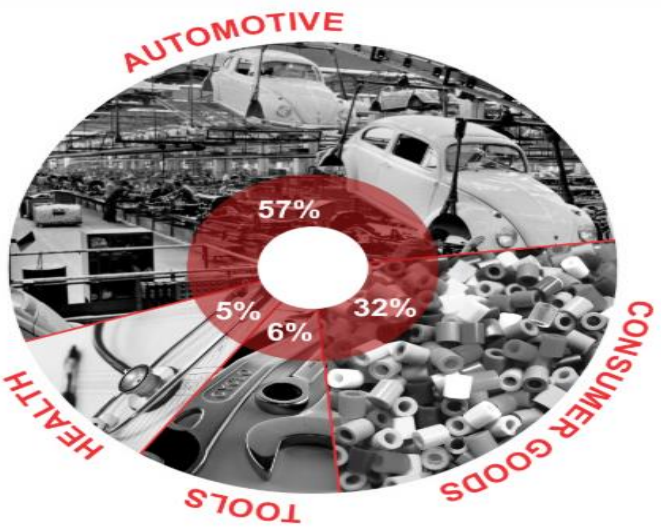


Figura 39 Mercado Standarmoldes

Para o futuro, a Standarmoldes apresenta como objetivo o início da certificação, mais concretamente certificação do Sistema de Gestão da Qualidade - ISO 9001. Este objetivo vai ao encontro das exigências do mercado, melhorando desta forma a competitividade da empresa e a assim habilitando a mesma para a captação de novos clientes.

Foi com base numa filosofia de respeito e crescimento sustentado que a Standarmoldes tem apresentado até aos dias de hoje uma conduta suportada em determinados valores, que deram origem a um código ético alicerçado em quatro pilares: Direitos Humanos; Segurança, Saúde e Higiene no Trabalho; Conduta Empresarial e Confidencialidade.

No que concerne à organização interna da empresa, esta encontra-se dividida em cinco departamentos (Figura 40), totalizando 10 colaboradores. No entanto, alguns colaboradores apresentam múltiplas competências, desempenhando funções em diversos departamentos.

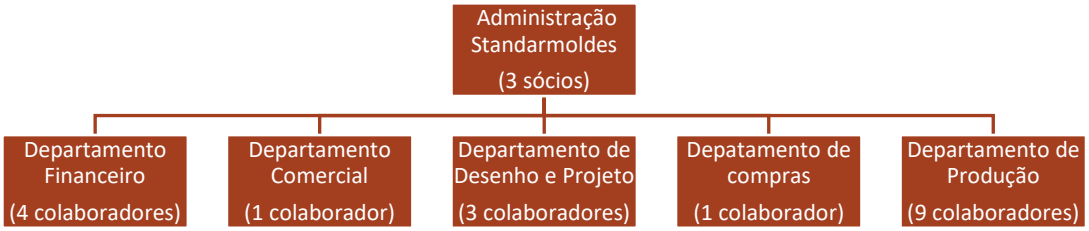


Figura 40 Organograma Standarmoldes.

Em termos de capacidade produtiva a Standarmoldes está particularmente apta para o fabrico de ferramentas com dimensões máximas de 500 x 700 mm e peso máximo do conjunto de 1 tonelada.

3.2 Processos e Produtos envolvidos

Neste subcapítulo são apresentadas as matérias-primas utilizadas para a atividade fabril, os produtos desenvolvidos e os processos inerentes à produção. Assim sendo, decidiu-se fragmentar a apresentação destas temáticas em produtos e processos.

3.2.1 Produtos

Os produtos realizados na Standarmoldes são predominantemente moldes para injeção de plástico para as indústrias referidas na Figura 39. Por vezes são fabricados outro tipo de ferramentas como cunhos e cortantes, embora com pouca expressividade.

No que concerne aos materiais utilizados, o aço é a matéria-prima predominante e é adquirido sob a forma de placas normalizadas, usadas sobretudo para a produção de moldes. Estes tipos de placas são normalmente adquiridas a empresas como a *HASCO®* ou a *MEUSBURGER®*. Na Figura 41 pode-se observar uma placa normalizada do tipo utilizado pela Standarmoldes.

Figura 41 Placa normalizada Meusburger

No que diz respeito aos tipos de aços utilizados são escolhidos de acordo com as características que se pretendem para essa secção do molde, ou seja, no conjunto do molde podemos encontrar aços de vários tipos, que foram selecionados segundo os critérios de projeto. Nas tabelas seguintes são apresentados os aços mais utilizadas pela

Standarmoldes, segundo a classificação DIN 17007 (Soares, 2009), que atribui um código a cada tipo de material.

Tabela 49 Características do aço 1.1730.

1.1730	
Composição Química	❖ C 0.45 ❖ Si 0.3 ❖ Mn 0.7
Características	❖ Boas características para maquinagem; ❖ Boa tenacidade; ❖ Endurecimento por chama ou por processo indutivo.
Tipos de utilização	❖ Peças não endurecidas, para construção de moldes, matrizes e gabaris.

Tabela 50 Características do aço 1.2311.

1.2311	
Composição Química	❖ C 0.40 ❖ Si 0.40 ❖ Mn 1.50 ❖ Cr 1.90 ❖ Mo 0.20
Características	❖ Aço de ferramenta ligado e pré-temperado; ❖ Alta estabilidade dimensional; ❖ Adequado para nitruração.
Tipos de utilização	❖ Insertos/ partes moldantes dos moldes; ❖ Peças de máquinas de alta resistência.

Tabela 51 Características do aço 1.2344.

1.2344	
Composição Química	❖ C 0.40 ❖ Si 1.00 ❖ Cr 5.30 ❖ Mo 1.40 ❖ V 1.00
Características	❖ Aço para trabalho a quente de alta liga; ❖ Alta resistência ao desgaste; ❖ Boa tenacidade; ❖ Resistência a fraturas a quente; ❖ Uso limitado para arrefecimento a água.
Tipos de utilização	❖ Ferramentas para trabalho a quente; ❖ Moldes.

Para a finalização e assemblagem dos moldes são usados outros produtos previamente adquiridos, tais como: fichas de conexão elétrica, tubagens, interruptores para contagem de ciclos de injeção, resistências elétricas, vedantes, grelhas de aço, parafusos normalizados, entre outros produtos.

3.2.2 Processos

No sector de produção de moldes existe já uma lógica de processamento na produção dos mesmos, no entanto existem etapas que necessitam de novos acabamentos de fresamento, assim depreende-se que existe espaço para otimizações do processo de maquinagem de moldes (Silva, Picinin, & Machado, 2018). Na figura seguinte é apresentado um esquema da forma de produção mais comum de moldes.

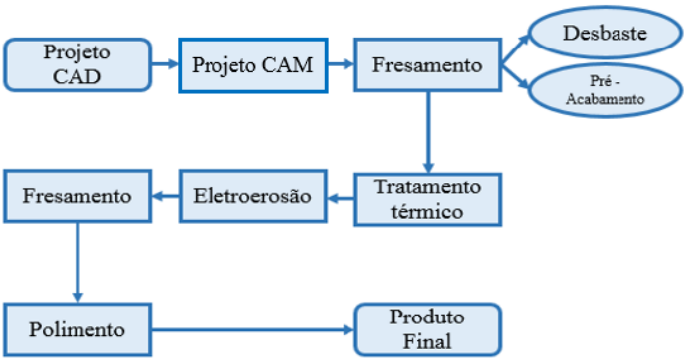


Figura 42 Esquema produtivo de moldes

O processo produtivo comum para a maquinagem de caixas em placas, na Standarmoldes, está apresentado no fluxograma da Figura 43. As outras peças do molde, também apresentam um fluxograma de produção, contudo muito semelhante ao exposto para as caixas.

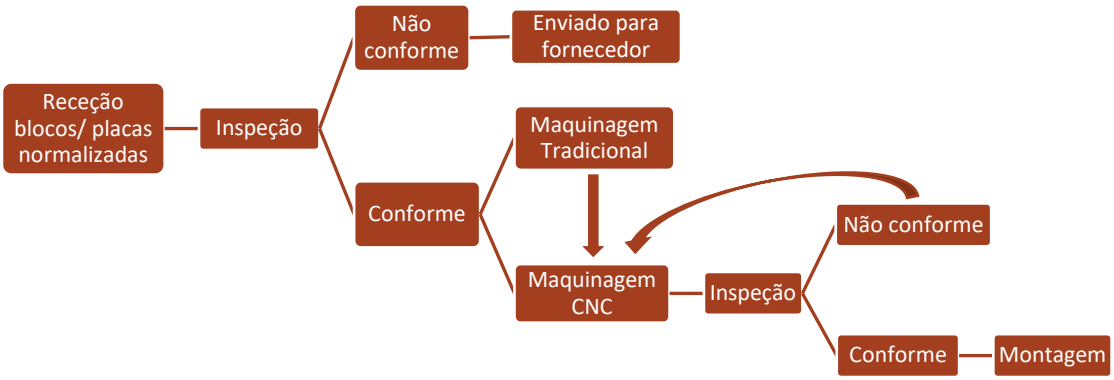


Figura 43 Fluxograma de produção caixas

Os processos utilizados pela Standarmoldes para a produção dos moldes são vários, tais como: eletroerosão por penetração e por fio com recurso a CNC, maquinagem convencional e fresagem automatizada com recurso a CNC.

Na eletroerosão realizam-se operações de corte e operações de erosão da superfície para uma forma pretendida. Na maquinagem convencional realizam-se operações de furação, fresagem, torneamento cilíndrico e retificação plana. Na fresagem automatizada realizam-se operações de fresagem para conferir dimensões e geometrias de acordo com o projeto, com recurso a operações de desbaste e de acabamento através de múltiplas ferramentas, tais como: fresas de facejar; fresas cilíndricas de topo direito; fresas cilíndricas esféricas e fresas cilíndricas toroidais.

A seguir é apresentado um quadro resumo com referência à maquinaria existente e algumas considerações técnicas.

Tabela 52 Caracterização das máquinas da Standarmoldes.

Processo	Máquina	Aspetos importantes
Fresagem CNC	❖ Maximart VMC 105E (1)	❖ 1050 x 450 mm ❖ 10000 r.p.m ❖ Usada em operações de desbaste.
	❖ Maximart VMC 650S (2)	❖ 650 x 400 mm ❖ 10000 r.p.m ❖ Usada para operações de acabamento.
	❖ Deckel Maho 635V Eco (3)	❖ 635 x 510 mm ❖ 8000 r.p.m ❖ Usada para operações de desbaste e acabamento em peças de menor rigor.
	❖ Haas Super Mini Mill (4)	❖ 406 x 305 mm ❖ 10000 r.p.m ❖ Usada para maquinar elétrodos para a eletroerosão.
Eletroerosão por penetração	❖ MaxSee CNC	❖ 800 x 400 mm ❖ Sistema Erowa
	❖ MaxSee CNC	❖ 600 x 350 mm
Eletroerosão por fio	❖ Charmilles Robofil 230	❖ 350 x 220 mm
Maquinagem convencional	❖ Fresadora Alcera	❖ Desbaste de placas;

	❖ Fresadora Lagun	❖ Desbaste de placas;
	❖ Torno convencional	❖ Usado para maquinar perfis circulares;
	❖ Engenho de furar radial Gysin	❖ Furar circuitos de água;
	❖ Retificadora Plana	❖ Usada para retificar superfícies planas;

Em seguida é apresentado uma imagem do chão de fábrica da Standarmoldes, em que é possível visualizar três dos quatro centros de maquinagem, que da esquerda para a direita correspondem aos centros 1, 2 e 3 indicados na tabela anterior.

Figura 44 Disposição dos Centros de Maquinagem na Standarmoldes

No apoio ao processo de fabrico, a tecnologia utilizada na conceção de moldes recorre a software CAD e CAM, nomeadamente ao *SolidWorks®* para desenhos 2D e 3D e o *Depocam®* para os processos de Maquinagem.

3.3 Análise Crítica da Situação Inicial

Neste subcapítulo apresenta-se a situação inicial da empresa tendo em consideração alguns aspetos muito específicos.

Ao nível da produção, mais concretamente nas operações de maquinagem, foi verificado que não existia documentação interna de apoio para as ferramentas

utilizadas, exceto para as brocas HSS. Para estas ferramentas já existia um documento para consulta com os parâmetros de corte definidos. Verificou-se que não existia documentação de apoio para procedimentos de maquinagem e, no que diz respeito à organização, as ferramentas utilizadas nos centros de maquinagem encontravam-se organizadas em armários próprios e divididas por tipologia e fabricante.

Na empresa, tal como já referido, existem quatro centros de maquinagem e a cada um dos centros está alocado a um colaborador que, por sua vez, procede à seleção das ferramentas necessárias para o processo de maquinagem e executa o programa de maquinagem no software CAM, de acordo com os seus conhecimentos e experiência. Um dos quatro colaboradores destaca-se por possuir mais conhecimentos técnicos e experiência e, por estes motivos, realiza essencialmente trabalhos de acabamento e presta apoio técnico aos restantes colaboradores.

Ao nível da fixação das peças nas mesas dos centros de maquinagem são utilizados predominantemente prensas, calços escalonados e gabaris.

Quanto ao sistema de fixação das ferramentas, são utilizados dois tipos predominantes de cones, o cone porta-pinças e o cone porta-fresas e para algumas operações de acabamento recorre-se a um Electromandril, da marca e modelo, Nakamish HES 510, que permite trabalhar com rotações entre as 10000 r.p.m. e as 50000 r.p.m.

3.3.1 Identificação e caracterização dos Problemas

Após descrição da situação inicial da empresa, a etapa seguinte passou pela identificação e análise de problemas ou situações que possam ser melhoradas.

Para a realização deste trabalho, houve a necessidade de aprofundar os conhecimentos relacionados com a maquinagem e com os moldes para injeção de plásticos. Parte destes conhecimentos estão na revisão bibliográfica desta dissertação. Contudo, o trabalho foi desenvolvido em ambiente industrial e envolveu o acompanhamento do fabrico de moldes. Esta etapa do trabalho permitiu esclarecer possíveis dúvidas e, fundamentalmente, possibilitou identificar situações que careciam de melhoria. De salientar que o acompanhamento do processo produtivo decorreu durante várias semanas, consumindo uma parte muito significativa do tempo destinado a este trabalho. As situações identificadas são expostas nos parágrafos seguintes.

Verificou-se que a inexistência de suporte escrito, mais concretamente de uma ficha de identificação e caracterização das ferramentas e seus parâmetros de corte, conduz a que o colaborador despende de mais tempo de consulta em catálogos dos fabricantes de ferramentas, utilize parâmetros de corte empíricos ou solicite a opinião do colaborador de maquinagem mais experiente. Esta situação provoca aumento no tempo de *setup* e quebra da produtividade.

Outra situação constatada foi a inexistência de procedimentos uniformizados no fabrico de moldes, assume-se que nesta indústria o grau de complexidade das geometrias e das operações é grande, no entanto, existe um tipo de forma que é comum em todos os moldes que é o fabrico de caixas em estruturas. A inexistência de um procedimento uniformizado proporciona diferentes formas de maquinagem, provocando variabilidade nos processos. Esta variabilidade é mais difícil de ser rastreada para identificar problemas potenciais, e a inexistência de procedimentos documentados torna o processo de melhoria difícil ou mesmo impossível.
Durante a observação de alguns processos de fabrico, foi possível verificar que os colaboradores procediam ao afiamento das brocas. Contudo, embora estivessem disponíveis equipamento e procedimentos validados pela empresa, estes não eram utilizados pelos colaboradores. Constatou-se que este modo de afiamento não permite assegurar o grau de inclinação correto da extremidade da broca e que pode conduzir a problemas de operação durante o processo de furação.

3.4 Tempestade de ideias

Após a descrição da situação inicial e caracterização dos problemas identificados, apresenta-se na Tabela 53 os problemas, consequências e o tipo de desperdício associado.

Tabela 53 Síntese dos problemas identificados

Problema	Consequência	Tipo de desperdício associado
Inexistência de material para apoio de caracterização das ferramentas	Tempo elevado de consulta de parâmetros de corte; Solicitação de ajuda; Quebra de produtividade.	Tempo de programação; Custo financeiro.
Inexistência de procedimentos uniformizados	Variabilidade nos processos de fabrico; Baixa rastreabilidade dos processos de fabrico; Processo de melhoria comprometido.	Tempo de programação; Custo financeiro; Qualidade.
Inadequado processo de afiamento de Brocas	Incorreto afiamento das Brocas; Rejeição das ferramentas; Aumento do número de procedimentos.	Ferramentas (Custo financeiro).

Para cada problema indicado na tabela anterior deverá ser apresentada uma proposta de melhoria e analisada a prioridade da sua implementação. Para definir a prioridade das propostas de melhoria foi analisada a relação entre os problemas identificados, a

facilidade e importância da sua de implementação, bem como os custos envolvidos para a sua execução. Para esta análise utilizou-se uma classificação numérica de 1 a 5 para:

- a relação com outros problemas: 1- sem relação; 5- com forte relação;
- a facilidade de implementação: 1- difícil implementação; 5- fácil implementação;
- os custos envolvidos: 1- custos elevados; 5- custos reduzidos
- a importância da implementação: 1- pouco importante; 5- muito importante

A classificação final de cada uma das propostas apresenta-se cotada na última coluna, este resultado, é obtido pela multiplicação do valor dado a cada um dos campos referidos anteriormente. Esta análise está apresentada na Tabela 54.

Tabela 54 Classificação da ordem de implementação das propostas de melhoria

Proposta	Relação com outros problemas	Facilidade de Implementação	Custos Envolvidos	Importância	Resultado
Criação de uma biblioteca de ferramentas, sob a forma de um documento.	5	4	5	5	500
Criação de um procedimento uniformizado para o fabrico de caixas em estruturas.	4	3	3	5	180
Envolvimento das pessoas para mudança de hábitos no afiamento das ferramentas.	1	2	3	3	18

Da Tabela 54 conclui-se então que o primeiro passo era a criação de uma biblioteca de ferramentas em que estaria explicito as ferramentas usadas pela Standarmoldes e para cada ferramenta os parâmetros de corte associados à mesma, esta medida é importante porque permite ao operador consultar num documento de tamanho mais reduzido, as ferramentas que tem ao seu dispor. Após a criação da biblioteca de ferramentas, será

conceptualizado um procedimento de maquinagem para caixas, nesta etapa será usado o trabalho anterior, para a seleção das ferramentas. A última proposta, embora seja importante é uma medida que requer tempo e por este motivo não será alvo do presente projeto.

3.5 Desenvolvimento das Propostas

Neste capítulo, serão demonstradas todas as propostas desenvolvidas no decorrer deste projeto.

3.5.1 Criação de uma Biblioteca das ferramentas

Tal como já foi referido anteriormente, nomeadamente no subcapítulo 3.3.1 - Identificação e caracterização do problema, não existia documentos de catalogação e descrição dos parâmetros de corte das ferramentas usadas pela Standarmoldes. No entanto, as ferramentas estavam organizadas por famílias e marcas ou grupo de famílias e marcas, o que facilitava a sua identificação.

A inexistência deste tipo de documentos de apoio, conduzia a situações de uso mais empírico de parâmetros de corte ou o uso dos catálogos dos fabricantes, tornando o processo demorado. De forma a resolver este problema, foi realizado um inventário das ferramentas existentes, de forma a que a informação seja consultada de forma rápida e percetível.

Inicialmente foi realizado um inventário das ferramentas existentes nos armários de acordo com o tipo, dividindo-se entre fresas inteiriças ou pastilhas. Após esta primeira divisão foi desenvolvido e organizado dois documentos de apoio, um para as fresas e o outro para as pastilhas. Estes documentos foram desenvolvidos em Excel. No que concerne ao documento das fresas foi elaborado e organizado da seguinte forma:

- A primeira coluna faz referência ao fabricante, a segunda coluna faz referência à família da fresa e a terceira coluna apresenta em caracteres alfanuméricos o diâmetro, raio e comprimento da fresa.
- Na quarta coluna é apresentado uma referência interna para cada fresa, ou seja, uma referência criada no decorrer deste trabalho, na qual a ferramenta passará a ser assim designada dentro da Standarmoldes. O significado desta referência será referido mais abaixo. Na quinta coluna é apresentado a referência do fabricante das ferramentas.
- Na sexta coluna é apresentada uma imagem ilustrativa da ferramenta, de forma a facilitar a identificação da ferramenta.
- Da sétima coluna à décima quarta coluna são apresentadas as características geométricas das ferramentas.

- Nas colunas seguintes são apresentados os parâmetros de corte para dois intervalos de dureza (30 a 45 HRC e entre 45 a 55 HRC).

No desenvolvimento deste trabalho, verificou-se que os fabricantes apenas facultam alguns parâmetros de corte e para a definição dos restantes parâmetros foi utilizado as expressões matemáticas que constam no Capítulo 2. Na consulta dos parâmetros de corte deve-se assumir que estes valores correspondem aos valores máximos, de acordo com os fabricantes.

A Figura 45 apresenta parte do documento de identificação das fresas. Para consulta integral do documento, deve-se consultar o anexo I.

Para o desenvolvimento do documento referente às pastilhas importa referir que a maioria das pastilhas usadas pela Standarmoldes são da marca *DIJET*®. Existem pastilhas de outras marcas mas são de stocks antigos e, por este motivo, a base de dados para estas ferramentas foi desenvolvida tendo em consideração apenas as ferramentas da marca *DIJET*®. A metodologia adotada para a criação do documento, com a informação das pastilhas em formato digital, foi idêntica à utilizada para as fresas. A informação foi inserida na folha Excel da seguinte forma:

- A primeira coluna diz respeito ao fabricante, a segunda coluna corresponde ao tipo de suporte das pastilhas e na terceira coluna é representada uma imagem com o tipo de suporte e a pastilha.
- Na quarta coluna surge a referência do fabricante para a pastilha que, por sua vez, identifica um grupo de pastilhas que podem ser usadas no suporte referenciado na segunda coluna. Na quinta coluna é identificado o grau da pastilha, que está diretamente relacionado com o tipo de material a maquinar. Na sexta coluna apresenta-se a referência interna da Standarmoldes, cujo significado é exposto mais abaixo.
- Da sétima coluna à nona coluna são apresentadas as características da ferramenta. Nas colunas seguintes são apresentados os parâmetros de corte para três grupos de durezas, da décima coluna à décima quarta estão identificados os parâmetros de corte para durezas até 26 HRC, da décima quinta à décima nona são identificados os parâmetros de corte para durezas entre os 30 e os 45 HRC e, por fim, as últimas cinco colunas identificam os parâmetros de corte para durezas compreendidas entre 45 e 55 HRC.

Na Figura 46 é apresentado uma parte do documento de identificação das pastilhas, onde é possível constatar a organização do documento explicado anteriormente.

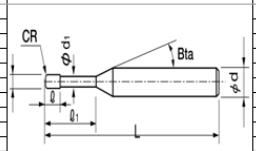
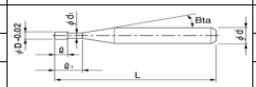
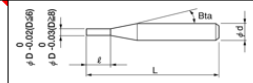
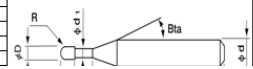
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Ferramentas																							
						Características Geométricas da Ferramenta								AÇO 30 a 45 HRC					AÇO 45 a 55 HRC				
Fabricante	Família	Tipo	Referência Standarmoldes	Referência Fabricante	Imagem	Raio de canto (CR)	Altura de Corte (l)	Diâmetro pescoço (d1)	Altura efectiva (l1)	Altura da fresa (L)	Raio da ferramenta (R)	Diâmetro ferramenta (D)	Nº dentes ferramenta (z)	Velocidade de avanço (fz)	n (rpm)	ae (mm)	ap (mm)	Vf (mm/min)	Velocidade de avanço (fz)	n (rpm)	ae (mm)	ap (mm)	Vf (mm/min)
Union Tool	Tórica	D0,6XR0,1X4	UT/0,6/0,1/4	HLRS2006-01-040		0,10	0,60	0,58	4,00	50,00	0,3	0,60	2,00	0,008	20400	0,104	0,005	330	0,007	16800	0,104	0,005	250
		D0,6XR0,1X6	UT/0,6/0,1/6	HLRS2006-01-060		0,10	0,60	0,58	6,00	50,00	0,3	0,60	2,00	0,007	16800	0,099	0,003	250	0,007	13900	0,099	0,003	190
		D1xR0,2X6	UT/1/0,2/6	HLRS2010-02-060		0,20	1,00	0,95	6,00	50,00	0,5	1,00	2,00	0,029	11300	0,216	0,021	650	0,028	9800	0,216	0,024	540
		D1XR0,2X10	UT/1/0,2/10	HLRS2010-02-100		0,20	1,00	0,95	10,00	50,00	0,5	1,00	2,00	0,018	8800	0,126	0,011	320	0,018	7600	0,126	0,013	270
		D1,5XR0,2X6	UT/1,5/0,2/6	HLRS2015-02-060		0,20	1,50	1,45	6,00	50,00	0,75	1,50	2,00	0,049	10600	0,405	0,041	1030	0,046	9700	0,405	0,055	900
		D1,5XR0,2X10	UT/1,5/0,2/10	HLRS2015-02-100		0,20	1,50	1,45	10,00	50,00	0,75	1,50	2,00	0,044	8500	0,288	0,032	750	0,042	7800	0,288	0,042	650
		D1,5XR0,2X16	UT/1,5/0,2/16	HLRS2015-02-160		0,20	1,50	1,45	16,00	55,00	0,75	1,50	2,00	0,038	6800	0,180	0,015	510	0,036	6200	0,180	0,020	450
		D2xR0,2x10	UT/2/0,2/10	HLRS2020-02-100		0,20	2,00	1,92	10,00	50,00	1	2,00	2,00	0,044	10000	0,585	0,033	870	0,042	9300	0,585	0,047	790
		D3XR0,2X20	UT/3/0,2/20	HLRS2030-02-200		0,2	3	2,92	20	60	1,5	3,00	2,00	0,052	8400	0,580	0,073	880	0,043	7900	0,580	0,073	680
		D4XR0,2X20	UT/4/0,2/20	HLRS2040-02-200		0,2	4	3,82	20	65	2	4,00	2,00	0,072	6900	0,900	0,054	990	0,074	5800	0,900	0,080	860
		D6XR0,5X12	UT/6/0,5/12	HLRS2060-05-120		0,5	6	5,82	10	65	3	6,00	2,00	0,101	8000	1,350	0,500	1620	0,145	4700	1,350	0,200	1360
		D6XR0,5X30	UT/6/0,5/30	HLRS4060-05-300		0,5	4,8	5,82	30	100	3	6,00	4,00	0,072	4500	2,268	0,158	1290	0,071	2600	1,260	0,158	740
	Reta	D3X20	UR/3/20	HLS4030-200		-	3	2,92	20	60	1,5	3,00	4,00	0,020	6100	0,203	0,035	490	0,018	4900	0,191	0,025	350
		D4X35	UR/4/35	HLS4040-350		-	4	3,82	35	80	2	4,00	4,00	0,031	3400	0,120	0,050	420	0,028	2700	0,113	0,036	300
		D5X16	UR/5/16	HLS4050-160		-	5	4,82	16	60	2,5	5	4	0,041	4100	3051,000	0,108	670	0,036	3300	2,861	0,077	480
		D6X26	UR/6/26	HMS6060-2600		-	26,00	26,00	-	70,00	-	6,00	6,00	0,027	1600	0,120	18,000	255	0,027	1100	0,120	18,000	180
	Esférica	R0,05X0,5	UE/0,05/0,5	HSLB2001-005		0,05	0,08	0,095	0,5	45	0,05	0,1	2	Segundo fabricante não se adequa para durezas 30-45 HRC					0,0004	48000	0,002	0,002	35
		R0,5X6	UE/0,5/6	HSLB2010-060		0,50	0,80	0,98	6,00	45,00	0,50	1	2						0,0192	30000	0,230	0,060	1150
		R0,5X10	UE/0,5/10	HSLB2010-100		0,50	0,80	0,98	10,00	45,00	0,50	1	2						0,0136	22000	0,130	0,018	600
		R0,5X16	UE/0,5/16	HSLB2010-160		0,50	0,80	0,98	16,00	50,00	0,50	1	2						0,0094	12750	0,080	0,008	240
		R0,75X12	UE/0,75/12	HSLB2015-120		0,75	1,20	1,47	12,00	45,00	0,75	1,5	2						0,0183	13100	0,210	0,030	480
		R0,75X6	UE/0,75/6	HSLB2015-060		0,75	1,20	1,47	6,00	45,00	0,75	1,5	2						0,0408	30000	0,450	0,150	2450
		R1X6	UE/1/6	HSLB2020-060		1,00	1,60	1,98	6,00	45,00	1,00	2	2						0,0518	28000	0,600	0,200	2900

Figura 45 Parte do documento de identificação das fresas

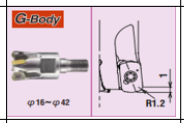
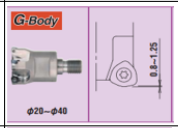
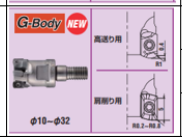
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Ferramentas																							
									AÇO até 26 HRC					AÇO 30 a 45 HRC					AÇO 45 a 55 HRC				
Fabricante	Tipo Roca	Imagem	Refência Plaquete	Grau	Referência Standarmoldes	Nº pastilhas Roca	Diâmetro Roca (mm)	Altura da Roca (mm)	Velocidade de avanço (fz) (mm/dente)	n (rpm)	ae (mm)	ap (mm)	vf (mm/min)	Velocidade de avanço (fz) (mm/dente)	n (rpm)	ae (mm)	ap (mm)	vf (mm/min)	Velocidade de avanço (fz) (mm/dente)	n (rpm)	ae (mm)	ap (mm)	vf (mm/min)
DIJET	MXG		ENMU100412ZER	JC8118	MXG/1/JC8118	5	35	110	1,200	1910	25	0,6	11460	0,900	900	25	0,5	4050	0,900	900	25	0,5	4050
	MSH		WDMW0503162TR	JC5040	MSH/2/JC5040	3	25	95	1,000	2300	-	0,5	6900	Aplicável até durezas 26 HRC									
					MSH/2/JC5040	3	25	200	1,000	1900	-	0,3	5700										
				JC8015	MSH/2/JC8015	3	25	95	Aplicável para durezas superiores a 40 HRC										0,606	1100	-	0,5	2000
					MSH/2/JC8015	3	25	140											0,600	1000	-	0,3	1800
					MSH/2/JC8015	3	25	200											Não aplicável para alturas 200mm				
	MPM		YOHW060205	DH102	MPM/3/DH102	4	16	60	0,150	7160	0,1	1	4300	0,120	5560	0,1	1	2670	0,100	3980	0,1	0,8	1590
					MPM/3/DH102	4	16	120	0,120	5000	0,08	0,7	2400	0,101	3900	0,08	0,7	1580	0,080	2780	0,08	0,5	890
					MPM/3/DH102	4	16	máx 160	0,100	5000	0,08	0,5	2000	0,080	3900	0,08	0,5	1250	Não aplicável para alturas 160mm				
			EOMT060210ZER	JC8118	MPM/4/JC8118	4	16	60	0,900	2190	12	0,4	7880	0,700	1790	12	0,3	5010	0,601	1390	12	0,3	3340
					MPM/4/JC8118	4	16	120	0,810	1970	12	0,3	6380	0,630	1610	12	0,25	4060	0,540	1250	12	0,2	2700
					MPM/4/JC8118	4	16	máx 160	0,700	1750	12	0,25	4900	0,559	1430	12	0,2	3200	Não aplicável para alturas 160mm				
			EOMT060220ZER	JC5118	MPM/5/JC5118	4	16	60	0,900	2190	12	0,4	7880	0,700	1790	12	0,3	5010	0,601	1390	12	0,3	3340
					MPM/5/JC5118	4	16	120	0,810	1970	12	0,3	6380	0,630	1610	12	0,25	4060	0,540	1250	12	0,2	2700
					MPM/5/JC5118	4	16	máx 160	0,700	1750	12	0,25	4900	0,559	1430	12	0,2	3200	Não aplicável para alturas 160mm				

Figura 46 Parte do documento de identificação das pastilhas

As referências internas das fresas e das pastilhas foram criadas e englobadas nestes documentos de apoio com os seguintes objetivos:

- Facilitar a identificação das ferramentas;
- Uniformizar a linguagem;
- Criação de um código distinto dos fabricantes de ferramentas;
- Proteção de dados.

A Figura 47 mostra algumas referências internas para o caso das fresas. Estas referências foram desenvolvidas da seguinte forma:

- a primeira letra corresponde à marca do fabricante (U - Union tool; T – Talicarb; W – Widin; V – Van Hoorn; O – OSG; G – Guhring; M – Meusburger);
- A segunda letra corresponde à família, ou seja, pode ser uma fresa tórica (T), reta de topo direito(R), esférica (E), fresa de MDI ou fresas calibradas de MDI (M);
- Após a segunda letra, e separado por barras, surge o diâmetro, o raio e o comprimento.

Referência Standarmoldes
UT/0,6/0,1/4
UT/0,6/0,1/6
UT/1/0,2/6
UT/1/0,2/10

Figura 47 Exemplos de referências internas para fresas

Para o caso das pastilhas a codificação das referências internas apresenta similaridade com as referências para as fresas, o método utilizado foi o seguinte:

- As primeiras três letras dizem respeito ao tipo de suporte;
- Após as letras anteriores, aparece um número que corresponde à referência da pastilha, seguindo a seguinte regra:
  1 – ENMU100412ZER; 2 – WDMW050316ZTR; 3 – YOHW060205;
  4 – EOMT060210ZER; 5 – EOMT060220ZER);
- Após o caracter numérico, a referência interna possui caracteres alfanuméricos que identificam o grau da pastilha, tal como o fabricante identifica as suas.

Na Figura 48 é possível identificar o aspeto da referência utilizada para as pastilhas. Importa referir que as barras utilizadas nas referências servem para separar os vários códigos (tipo de suporte/tipo de pastilha/grau da pastilha).

Referência Standarmoldes
MXG/1/JC8118
MSH/2/JC5040
MSH/2/JC5040

Figura 48 Exemplos de referências internas para pastilhas

Por último, na elaboração destes documentos foi necessário recorrer ao uso das expressões matemáticas 1 e 3, da página 28, de forma a complementar os parâmetros de corte, nomeadamente a rotação do *spindle* da máquina e a velocidade de avanço. Importa também referir, mais uma vez, que estes documentos foram realizados utilizando a ferramenta Excel de forma a tornar o método de preenchimento e de consulta mais expedito.

Com esta ferramenta, pretende-se atingir outros resultados para além dos referidos anteriormente. Assim, com a implementação de forma continuada pretende-se verificar quais as ferramentas mais utilizadas, melhorar o processo de compra das ferramentas e reduzir o stock das mesmas.

Durante a realização deste trabalho verificou-se que existem ferramentas que estão obsoletas, no sentido em que a produção praticamente já não as utiliza e se utiliza é para terminar com o stock dessas ferramentas. Verificou-se também que a forma como são organizadas as ferramentas deveria se ser melhorada, para correção desta situação é proposto no subcapítulo 4.2 uma proposta para um trabalho futuro de melhoria desta situação.

3.5.2 Criação de um procedimento uniformizado para o fabrico de caixas em estruturas.

Neste subcapítulo é apresentado e explicado o desenvolvimento dos procedimentos de maquinagem de caixas em estruturas. Ao longo deste trabalho é reforçado a ideia da importância da criação de procedimentos uniformizados, para permitir a otimização dos processos e obter ganhos económicos. No gráfico da figura seguinte é possível verificar

que a maquinagem é dos processos que requer mais tempo na conceção dos moldes. Verifica-se, pela análise do gráfico da figura seguinte, que o tempo de maquinagem ocupa cerca de 25 a 42 % do tempo total de produção. Assim, percebe-se a importância da otimização deste processo na produção de moldes (Silva, Picinin, & Machado, 2018).

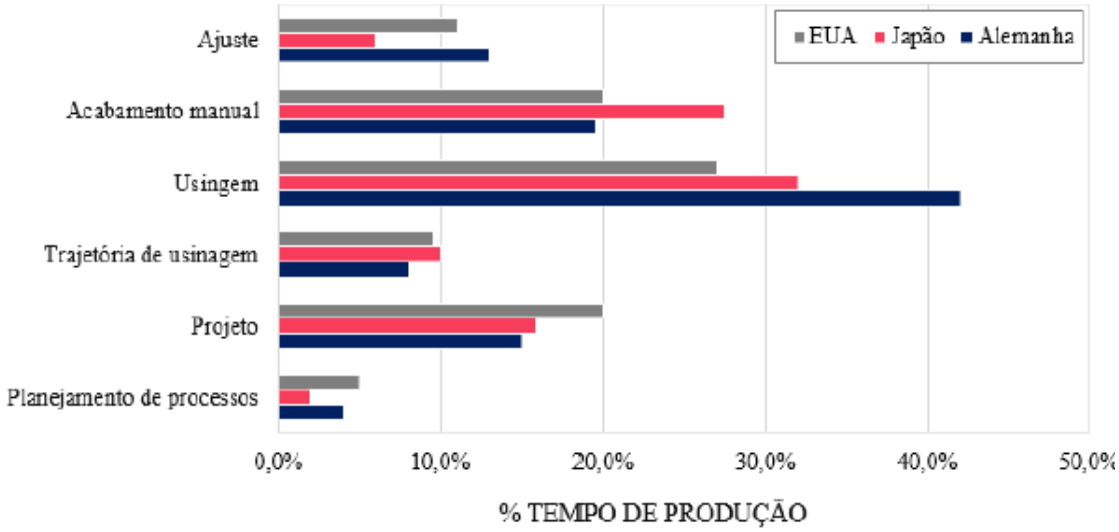


Figura 49 Relação entre operações e tempos de produção por país (Silva, Picinin, & Machado, 2018)

A empresa Standarmoldes utiliza como ferramenta de apoio à produção o software *Depocam®* e para criação do procedimento de fabrico das caixas em estruturas é importante ter em consideração as especificações e funcionalidades deste software. Assim sendo, será descrito de forma sucinta as funcionalidades e operações que este software permite realizar e que serão tidas em conta na elaboração dos procedimentos uniformizados para o fabrico de caixas em estruturas para moldes. Para tal recorreu-se a informação que consta em manuais de formação desenvolvidos pela TECNODEPO (TECNODEPO, 2010).

Para o início da programação é imprescindível definir a ferramenta de corte, designada por fresa, os dados a serem introduzidos devem de ser:

- altura de corte;
- diâmetro da fresa;
- raio de canto;
- comprimento do corpo.

O suporte de ferramentas, designado por *toolholder*, também pode ser definido e é importante ter em consideração a geometria deste para durante as operações de maquinagem não provocar nenhum choque com a peça. Caso o suporte de ferramentas não seja definido, deve-se considerar no parâmetro de comprimento do corpo da fresa uma dimensão que salvaguarde a situação referida anteriormente.

Quanto à espessura de material a manter após a maquinagem está diretamente relacionada, com o tipo de operação que se deseja realizar, sendo possíveis as seguintes três situações:

- ❖ Espessura positiva, deve ser utilizada para desbastes e para operações de pré-acabamentos em que a espessura deve ser maior que zero.
- ❖ Sem espessura, deve ser utilizada para operações de acabamento, em que a espessura tem um valor igual a zero.
- ❖ Espessura negativa, deve ser utilizada em circunstâncias especiais, como por exemplo para a maquinagem de elétrodos.

O incremento é outro parâmetro a ser definido e corresponde à passagem em Z para os casos de duas dimensões (2D), como por exemplo em operações de desbaste, redesbaste ou contorno, mas também pode ser para passagens laterais nos casos de três dimensões (3D), como por exemplo em operações de passos cópia ou contorno 3D.

Um parâmetro importante a parametrizar é o offset, que corresponde à distância entre as passagens e deve ser no mínimo de 50% da área útil da fresa e no máximo 90%. Por defeito o *Depocam®* seleciona o máximo valor definido de forma a melhorar os acabamentos, no entanto, o software ajusta o valor do offset ao longo da maquinagem, de acordo com o intervalo de valores definido no momento da programação. Para efeitos de programação este parâmetro deve ser definido com um intervalo de 50% a 90%.

Os limites devem de ser selecionados de acordo com o ponto de início e de término do trabalho de maquinagem da fresa, assim sendo, o limite mínimo representa o ponto mais baixo da superfície que se quer maquinar e, em oposição, o limite máximo representa o ponto em Z mais elevado que corresponde ao início da maquinagem. No painel de programação existem outras funcionalidades que se podem selecionar, tais como:

- “Apenas áreas de contato”: permite que os percursos da ferramenta de corte se efetuem estritamente em áreas onde a fresa está em contato com as superfícies;
- “Incremento adaptável”: possibilita ajustar os incrementos de forma a garantir a espessura previamente selecionada nos planos;
- “Suavização”: permite arredondar os cantos da maquinagem e que a ferramenta mantenha a força de corte constante, permitindo reduzir o seu desgaste. Importa referir que o raio máximo de suavização deverá ser de 10% do diâmetro da ferramenta, de forma a garantir bons acabamentos.

Quanto às operações de maquinagem o *Depocam®* proporciona as seguintes possibilidades de operações/ passos:

- ❖ Passo de desbaste/ contorno;
- ❖ Passo cópia;
- ❖ Passo radial/ espiral;

- Passo de contorno 3D;
- Passo bi-tangência;

Como já foi feita uma abordagem às operações de maquinagem no subcapítulo 2.2.2 e 2.2.3, apenas será abordado aspetos a ter em conta no momento de programação, nomeadamente quais os parâmetros imprescindíveis que devem ser definidos ou opções de otimização dos processos.

As operações de passos desbaste/ contorno consistem em desbastar a peça por camadas segundo uma cota em Z, deve-se ter especial cuidado em ativar as opções de "incremento adaptável" e de "suavização" pelos motivos referidos no subcapítulo 2.2.2 e 2.2.3. A operação de passo cópia consiste em fazer um varrimento da zona a maquinar e, para tal, deve-se selecionar o ângulo de funcionamento das passagens, este ângulo pode ser ajustado entre 0 e 360˚ positivos ou negativos, normalmente é selecionado 45˚ ou -45˚.

Nas operações de passos radiais/ espiral deve-se especificar o cento das operações, pois as passagens radiais começarão ou terminarão nesse ponto. Quanto aos ângulos define-se o valor mínimo e o valor máximo. O ângulo mínimo corresponde à primeira passagem e o máximo é a última passagem, no limite o intervalo poderá estar entre 0 e 360˚. Também pode ser ajustado o valor radial mínimo e máximo, de forma a criar geometrias em forma de anilha.

Nas operações de passo contorno 3D, o *Depocam®* permite escolher incrementos diferenciados, ou seja, definir um incremento para planos verticais e outro para planos horizontais. Também é possível limitar o número de offsets, entenda-se o número de passagens. Por último, o passo de bi-tangência ou também designado por acabamento de redução de raios de cantos é usado para operações de maquinagem de cantos, na qual se pretende criar dois pontos de contacto nas superfícies, devendo-se definir no momento de programação o ângulo mínimo entre as duas superfícies, para que nas zonas com ângulos superiores ao definido não seja efetuada nenhuma passagem da ferramenta. Esta operação é usada como complemento a operações de desbaste e contorno.

Após reunidos os pressupostos de programação no *Depocam®*, realizou-se um levantamento dos processos e dos métodos de programação usados pelos colaboradores da Standarmoldes. Dos programas de maquinagem que estavam totalmente completos e registados na base de dados procedeu-se à seleção e registo de oito exemplos de peças, que são apresentadas nas figuras mais abaixo e onde se pode observar uma vista isométrica e uma vista de topo. Cada peça é identificada com um código constituído por: três primeiros algarismos que correspondem ao cliente, os seguintes três algarismos que identificam o projeto e o último algarismo que identifica

a peça do molde. Neste caso vamos apenas a analisar estruturas dos moldes que são identificadas pelo algarismo 2 e 3, do lado móvel ou do lado fixo correspondentemente.

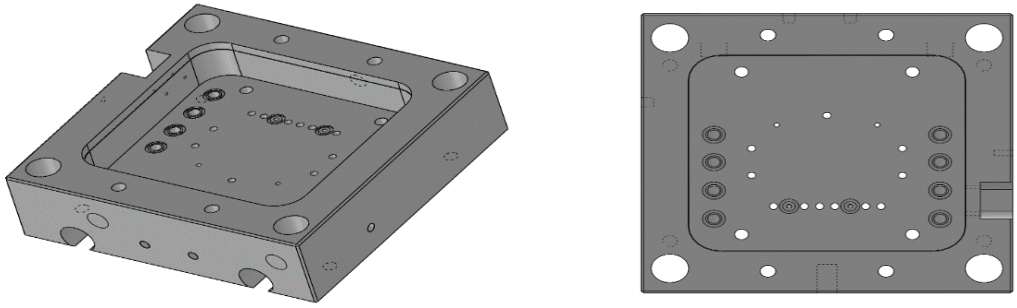


Figura 50 Peça 009-069-3

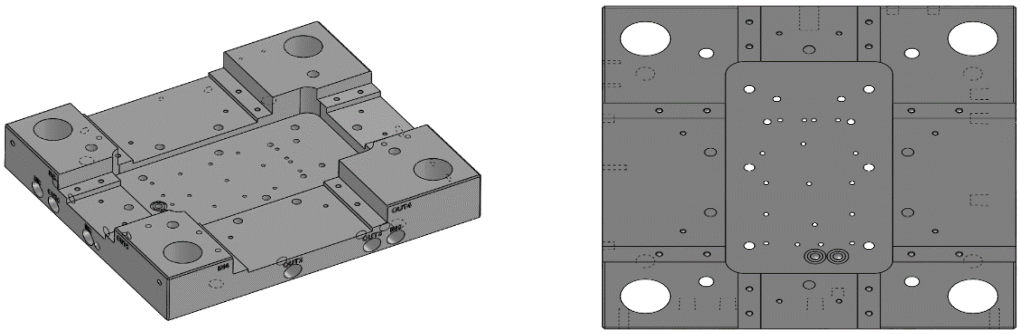


Figura 51 Peça 009-071-3

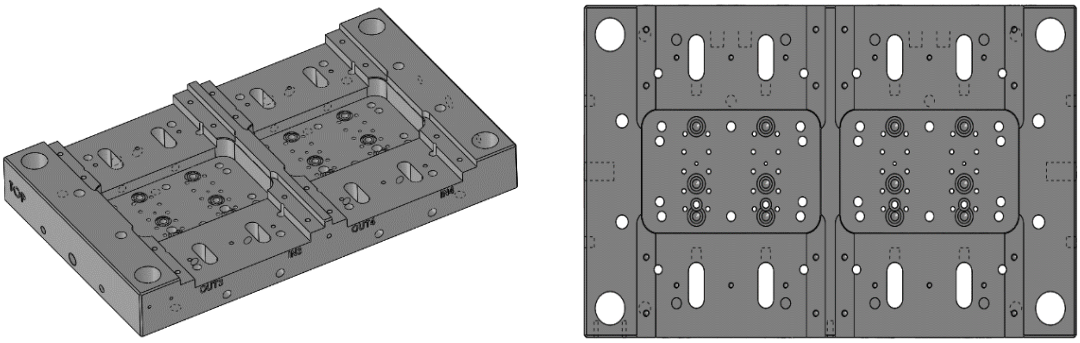


Figura 52 Peça 009-074-3

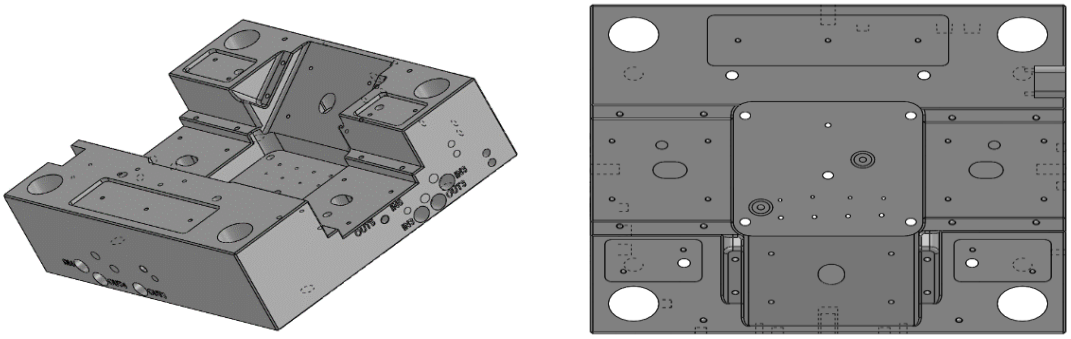


Figura 53 Peça 009-077-3

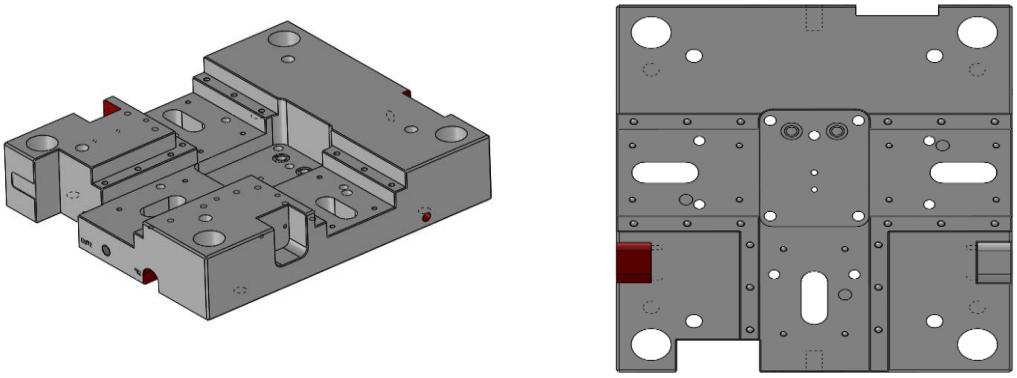


Figura 54 Peça 022-035-3

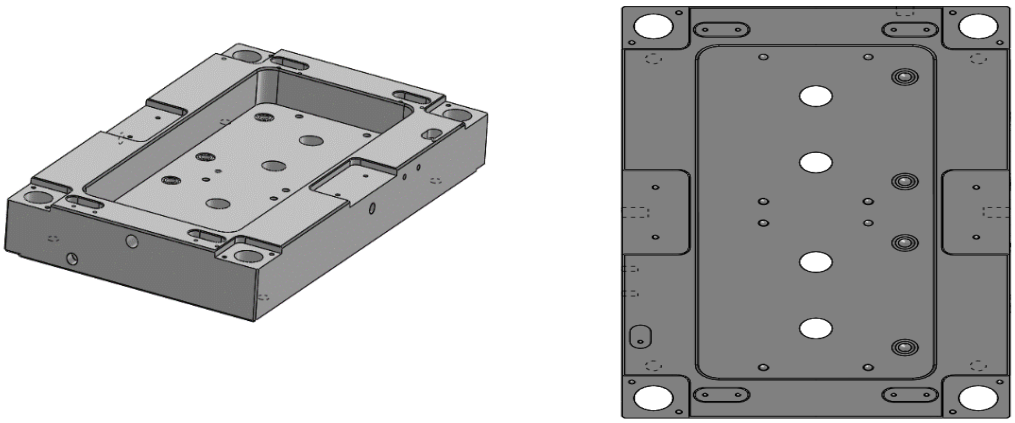


Figura 55 Peça 062-011-2

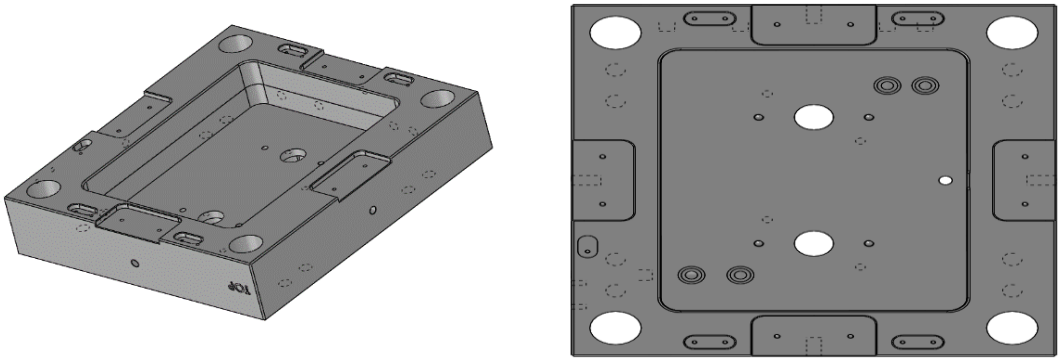


Figura 56 Peça 062-012-2

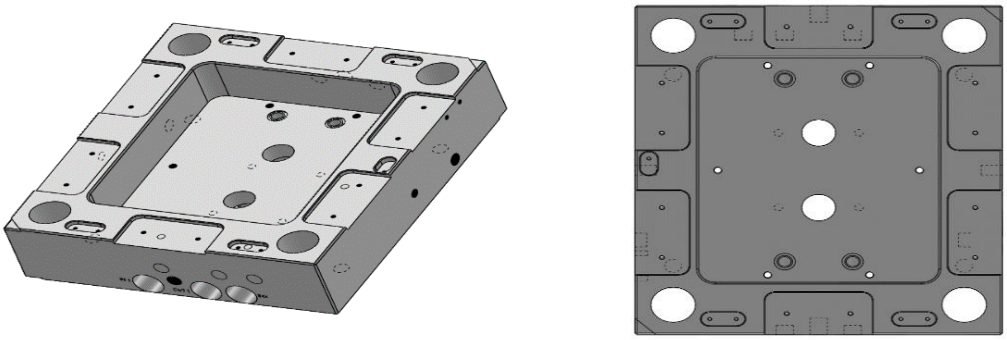


Figura 57 Peça 062-013-2

Das oito peças apresentadas só a peça 009-077-3 apresenta uma superfície inclinada, constata-se que o procedimento de maquinagem deve de salvaguardar situações deste tipo, na medida em que a estratégia de maquinagem deve de ser adaptada a este tipo de configuração.

Os registos da sequência de programação estão disponíveis no anexo 2 e devem ser consultados para verificação das operações efetuadas pelos colaboradores da Standarmoldes. Após análise dos procedimentos constatou-se a existência de operações comuns entre as demais, o que originou algumas conclusões que serviram de ponto de partida para a criação dos procedimentos de maquinagem de caixas em estruturas. Das conclusões verificadas destacam-se as seguintes:

- A maquinagem inicia sempre com operações de desbaste;
- A primeira operação de desbaste utiliza normalmente uma fresa/ roca de 35 mm;
- Os parâmetros de corte são diferentes de peças para peças, embora o material e a ferramenta sejam os mesmos;
- Para fresagem das paredes é utilizado passos de contorno;
- Incorreta seleção das ferramentas de corte para algumas operações;

- Repetição excessiva de operações similares;
- Programação com recurso a várias estratégias, dificulta análise posterior. Por exemplo, ao invés de alterar os parâmetros da sobreespessura, alteram os limites de maquinagem na cota em Z, ou o diâmetro da ferramenta.
- Operações com desbaste de espessuras de 0,05 mm.

Para a criação do procedimento de maquinagem decidiu-se que o ponto de partida seria utilizar operações e padrões de maquinagem já utilizados pelos colaboradores, de forma a que seja feita uma adaptação natural e consensual, e a partir desta base já consolidada, evoluir a estratégia de maquinagem.

A ordem de trabalhos seguiu o seguinte encadeamento, em primeiro lugar, repensar e otimizar os procedimentos de maquinagem e os parâmetros de corte utilizados. Em seguida, discutir as propostas com os responsáveis da produção e no final apresentar o procedimento. Após debater esta temática com os responsáveis da produção, decidiu-se apresentar dois grupos de procedimentos, o primeiro grupo com orientações da Standarmoldes e outro mais focado num paradigma académico.

Para a criação do procedimento sobre orientação da Standarmoldes teve-se como referência os parâmetros de corte indicados pelo seu fornecedor de ferramentas, o qual, em resultado da sua experiência e juntamente com os seus clientes, definiu quais os melhores parâmetros de corte. Contudo, convém salientar que os parâmetros indicados pelo fornecedor são diferentes dos definidos pelo fabricante de ferramentas (que constam na biblioteca desenvolvida). Na tabela seguinte são apresentados os parâmetros de corte utilizados para este procedimento.

Tabela 55 Parâmetros de corte segundo fornecedor de ferramentas

Parâmetros de corte	
Fresa/ Roca 35 mm	n= 1600 rpm; V_f= 6500 mm/min;
Fresa/ Roca 25 mm	n= 2300 rpm; V_f= 3000 mm/min;
Fresa/ Roca 16 mm	n= 2500 rpm; V_f= 2000 mm/min;
Fresa topo direito 20 mm e 16 mm	n= 1600 rpm; V_f= 700 mm/min;
Fresa esférica 16 mm	n= 1370 rpm; V_f= 690 mm/min;
Fresa esférica 8 mm	n= 2630 rpm; V_f= 715 mm/min;

De forma a abranger o máximo de geometrias possíveis para as caixas em estruturas decidiu-se criar no procedimento uma divisão para caixas com e sem planos inclinados. Desta forma, resultou a seguinte árvore de decisão:

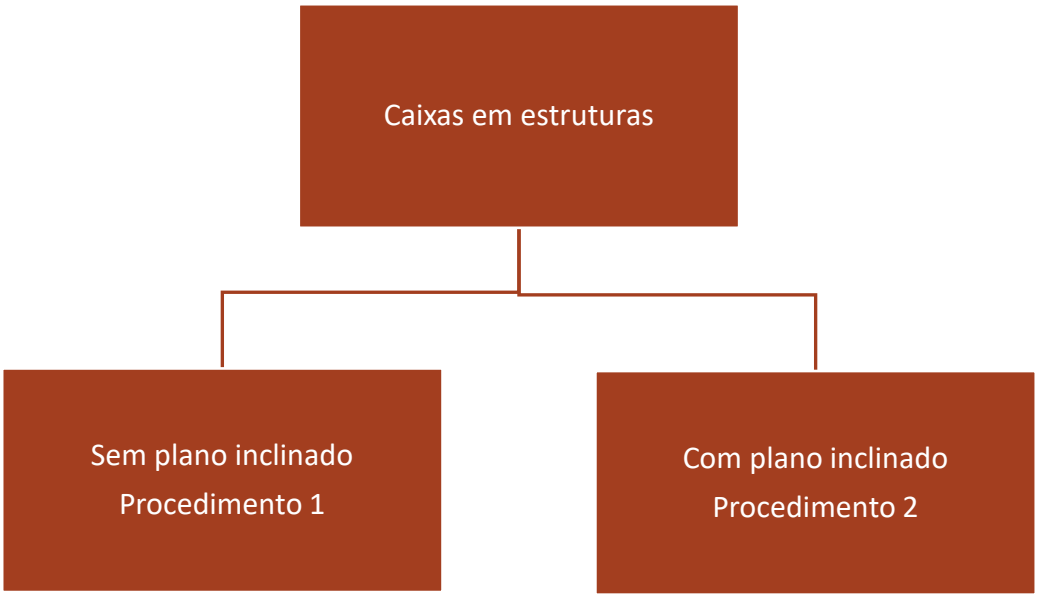


Figura 58 Algoritmo de decisão

As opções tomadas para as principais operações a realizar nos dois procedimentos, são as seguintes:

1. Iniciar o processo com a ferramenta de maior diâmetro disponível, fresa/ roca de 35 mm, salvaguardando que um dos lados da caixa apresente uma cota superior a 42 mm, de forma a permitir a utilização da ferramenta. Quanto às sobreespessuras no plano xy e na cota z a tolerância definida foi de 0,3 mm, de forma a permitir operações posteriores de redesbaste e de acabamento.
2. Executar o procedimento de contorno em Z, com uma fresa/ roca de 25 mm de diâmetro, de forma a dar início à calibração das paredes da caixa. Os limites em z utilizados para esta operação deverão corresponder às cotas totais da caixa e deverá ser dada uma sobreespessura de 0,2 mm no plano xy e na cota em z.
3. De forma a salvaguardar situações em que os cantos da caixa sejam inferiores a 12,5 mm, optou-se por englobar uma operação de redução de cantos para estes casos. A ferramenta a utilizar deverá de ser uma fresa/ roca de 16 mm e deverá ser usada a cota total da caixa e a sobreespessura deverá de ser igual à operação anterior, ou seja, 0,2 mm no plano xy e na cota em z.
4. Após a realização das operações de desbaste da caixa, optou-se por uma operação para calibração do fundo da caixa. Nesta operação definiu-se utilizar uma fresa calibrada de 20 mm; quanto aos limites, deverá ser usado para o limite

máximo a cota em z pretendida menos 0,2 mm e para o limite mínimo deverá ser usada a cota pretendida mais 0,1 mm, assim a ferramenta inicia o trabalho numa posição mais próxima do material a maquinar e desta forma rentabiliza-se tempo de operação. No que concerne às sobreespessuras, no plano xy deverá ser dada uma sobreespessura de 0,5 mm e na cota em z não existe sobreespessura.

5. Nas caixas que apresentem uma geometria composta por planos inclinados e de forma a salvaguardar estas situações, foi definido utilizar uma operação de passo cópia perpendicular. Para esta operação definiu-se uma fresa esférica de 16 mm de diâmetro e utilizando como limites a cota total da rampa e tolerâncias nulas; se a passagem da superfície inclinada para uma superfície vertical ou horizontal apresentar um raio inferior a 8 mm, deverá ser usada à posteriori uma fresa esférica de 8 mm de diâmetro nas mesmas condições.
6. Por fim, resta proceder apenas à calibração das paredes laterais da caixa. Para as operações que se seguem definiu-se duas ferramentas: fresas calibradas de 16 mm e de 20 mm. O critério de seleção de uma ferramenta em detrimento da outra, prende-se com a altura de corte e a profundidade da caixa. Assim sendo, para profundidades inferiores a 48 mm deve-se utilizar a fresa de 16 mm, já para profundidades superiores a 48 mm deve-se usar a fresa de 20 mm. Quanto aos limites em z, estes deverão estar ajustados de acordo com o a_p de cada ferramenta e nas sobreespessuras deve-se iniciar com uma sobreespessura de 0,2 mm para o plano xy e 0,05 mm para a cota z. Esta operação deve ser repetida ajustando o valor da sobreespessura no plano xy para um valor inferior ao anteriormente definido em 0,1 mm até a uma sobreespessura zero, em oposição a cota z deve manter sempre a sobreespessura de 0,05 mm. Quando executar a operação com sobreespessura nula no plano xy, deverá ser realizada outra operação igual.

Importa agora justificar algumas opções tomadas e descritas anteriormente. A opção de utilizar um contorno em Z com uma fresa/ roca de 25 mm, após um primeiro desbaste, serve para preparar a peça para futuras operações de calibração das paredes e a utilização da ferramenta descrita permite otimizar as ferramentas disponíveis. Acrescentou-se uma operação de redução de cantos de forma a salvaguardar as situações em que a caixa apresentasse um raio inferior a 12,5 mm, ou seja, metade do diâmetro da ferramenta utilizada na operação anterior, pois se não fosse acautelado esta situação o procedimento demonstrava-se inadequado. Considerou-se a utilização de um passo cópia perpendicular para a maquinagem de caixas, pois esta estratégia de maquinagem apresenta a vantagem de executar uma primeira passagem e apenas realiza a segunda passagem nos pontos onde a primeira passagem não foi eficaz, a utilização de fresas esféricas de 16 mm e de 8 mm são para permitir a correta maquinagem da peça. Nas operações de contorno em Z para calibração das paredes laterais da caixa, a opção de utilizar duas fresas, é também justificada do ponto de vista financeiro, pois a utilização da fresa de 16 mm torna o processo mais económico do que

a de 20 mm e, assim, a utilização da fresa de 20 mm fica apenas exclusiva a caixas com profundidades superiores a 48 mm. Por fim, a duplicação da operação de contorno em z serve apenas para garantir que as cotas pretendidas foram atingidas. Para validação do que foi referido anteriormente, deve-se consultar o procedimento de maquinagem segundo os padrões da Standarmoldes no anexo 3.

Tal como referido anteriormente, ao longo deste trabalho foram desenvolvidos dois grupos de procedimentos, o primeiro grupo segundo as orientações da Standarmoldes e em seguida apresenta-se o grupo de procedimentos segundo uma vertente mais académica. Neste segundo grupo considerou-se a divisão dos procedimentos de maquinagem em função das dimensões das caixas. Pelo padrão de moldes fabricados na Standarmoldes, decidiu-se dividir as geometrias em dois conjuntos: o primeiro conjunto com dimensões até 296 x 296 mm e um segundo conjunto com dimensões de 296x296 mm até 646 x 646 mm. Assim surgiu a seguinte árvore de decisão:

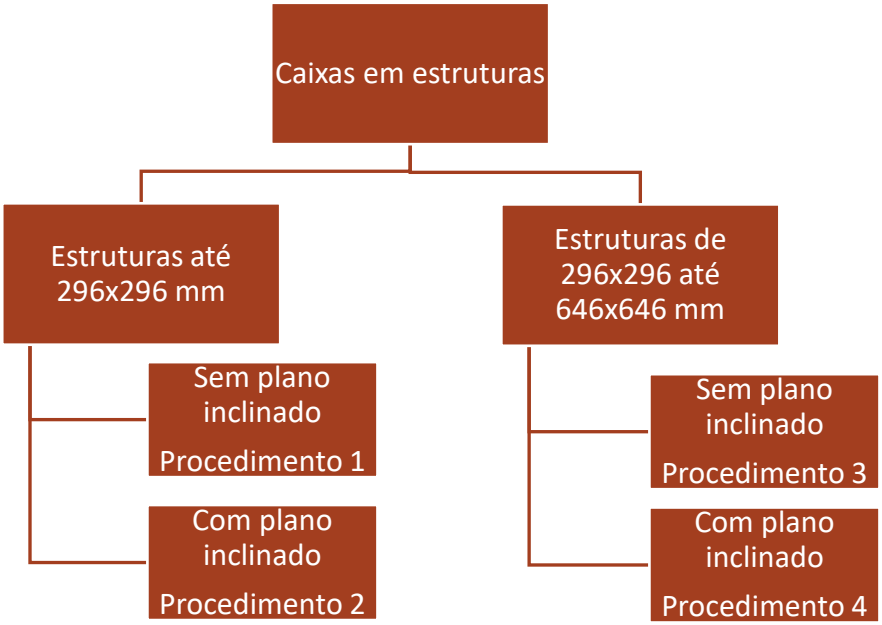


Figura 59 Algoritmo de decisão

Neste novo grupo de procedimentos decidiu-se abordar os parâmetros de corte e a forma como eles podem ser ajustados de acordo com a geometria das caixas. Analisando os procedimentos do primeiro grupo, verificou-se que os parâmetros de corte não são os recomendados pelos fabricantes das ferramentas, no entanto, foram os recomendados pelo fornecedor de ferramentas da Standarmoldes. Esta facto provocou interrogações sobre qual a melhor forma de abordar a questão dos parâmetros de corte, desta forma, estudou-se duas abordagens para o tema:

1. A partir dos parâmetros de corte máximos disponibilizados pelos fabricantes de ferramentas, usar o resultado da fração entre o parâmetro avanço por dente (f_z) e a velocidade de corte (v_c) e para diferentes velocidades de corte ajustar o f_z.

2. A partir dos parâmetros de corte máximos definidos pelos fabricantes de ferramentas, usar o resultado da fração entre a rotação do *spindle* da máquina (n) e o avanço da mesa (V_f), e utilizar este resultado para determinar o avanço da mesa de acordo com uma rotação especifica.

A primeira perspetiva demonstrou-se inadequada por dois motivos. O primeiro motivo resulta do facto do resultado da fração entre o avanço por dente (f_z) e a velocidade de corte (v_c) apresentar um valor na casa das centésimas, desta forma são necessários bastantes algarismos significativos para manter o rigor científico. O segundo motivo, o mais importante, é apoiado pelos seguintes argumentos: ao alterar o avanço por dente e como este está diretamente relacionado com o material da peça a maquinar, com o tipo de ferramenta e o tipo de aplicação, quando alterado proporciona alteração das forças de corte. Como este parâmetro foi devidamente estudado pelos fabricantes de ferramentas de forma a manter-se constante e adequado para cada tipo de situação, conclui-se que esta perspetiva deve ser rejeitada pelos motivos anteriormente expostos.

A segunda perspetiva demonstrou-se adequada porque preserva o avanço por dente (f_z) e desta forma, é feita a otimização do avanço da mesa (V_f), de acordo com uma rotação específica. Sabe-se que na programação das operações, os parâmetros de maior importância são a rotação do *spindle* e o avanço da mesa e com esta abordagem, consegue-se otimizar estes parâmetros sem compromisso do parâmetro f_z. Por outro lado, verifica-se que a velocidade de corte diminui, a consequência desta situação é no aumento do tempo de maquinagem. Apesar do tempo de maquinagem ser importante para a rentabilidade da empresa, esta situação deve-se à limitação das máquinas e do tipo de trabalho realizado, pois as máquinas apresentam limitações de rotação do *spindle* e por outro lado, o tipo de geometria das peças maquinadas obriga a reduzir ao valor dos parâmetros de corte, para que não se verifique demasiadas vibrações na ferramenta de corte. Verifica-se que esta abordagem é utilizada por alguns fabricantes de ferramentas, como por exemplo a MEUSBURGER®. Este disponibiliza calculadores de parâmetros de corte, tal como se pode observar nas figuras seguintes.

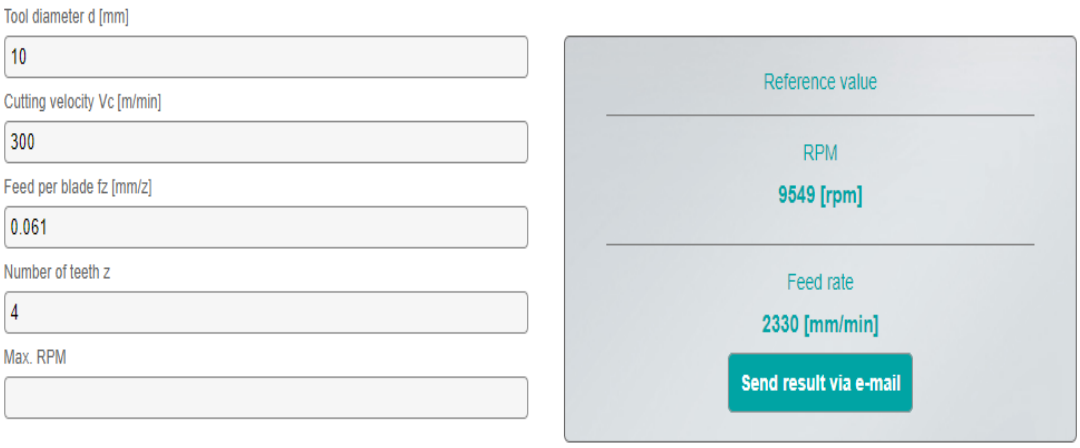


Figura 60 Calculador MEUSBURGER para parâmetros de corte máximos (Meusburger, 2019).

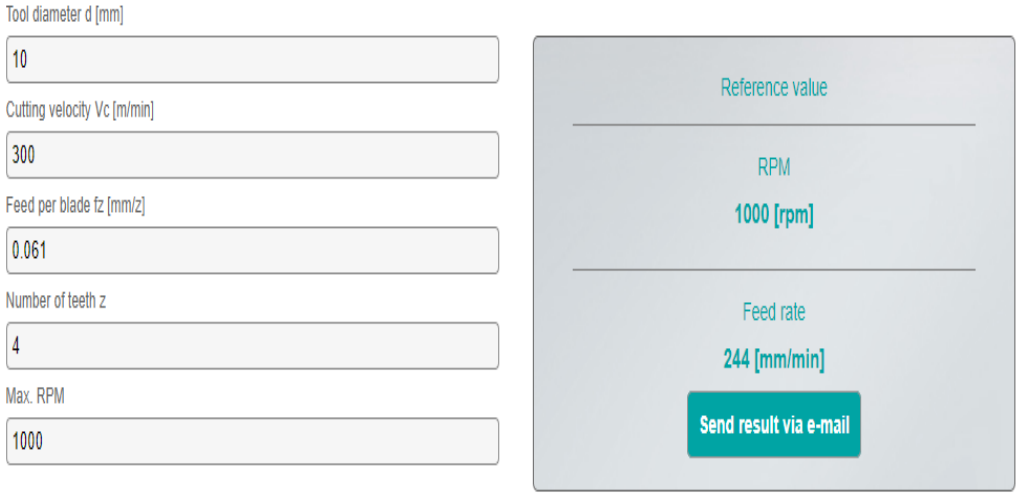


Figura 61 Calculador MEUSBURGER para 1000 rpm (Meusburger, 2019)

Na Figura 60 verifica-se que para uma determinada ferramenta apresenta determinados parâmetros de corte e na Figura 61 verifica-se que para a mesma ferramenta, mas com uma restrição da rotação para as 1000 rpm, o avanço da mesa diminui para o valor de 244 mm/min. Para este exemplo, se realizarmos o exercício de cálculo da fração entre a rotação e o avanço da mesa, facilmente verificamos que o valor desta fração é aproximadamente de 4,098. Assim, para 1000 rpm o valor do avanço corresponderá ao valor da fração entre as 1000 rpm e 4,098, o resultado do avanço da mesa será de 244 mm/min.

Neste segundo grupo de procedimentos, as operações são as mesmas que foram utilizadas nos procedimentos do primeiro grupo, apenas foi alterado os parâmetros de corte. Quanto aos parâmetros decidiu-se que para o primeiro conjunto de geometrias a rotação seria de 50% do máximo preconizado pelo fabricante e o avanço seria o correspondente de acordo com a estratégia atrás definida. Para o segundo conjunto de geometrias a rotação corresponderia a 75% do máximo preconizado pelo fabricante e o avanço seria o correspondente. Esta abordagem realizada vai ao encontro do que os autores do artigo “Comparison in surface integrity and fatigue performance for hardened steel ball-end milled with different milling speeds” (Huang, Zhao, Niu, Wang, & Cheng, 2018) defendem, os mesmos, referem que a padronização das operações e o ajuste dos parâmetros de corte devem de ser feitos, de forma a permitir otimizações futuras. Para confirmação dos assuntos mencionados, o anexo 4 deve ser consultado. Neste anexo é possível verificar a seleção dos parâmetros de corte para cada ferramenta de acordo com o que foi exposto anteriormente.

3.6 Análise de Resultados

Neste subcapítulo serão apresentados os resultados referentes à implementação de cada uma das propostas e se de alguma forma a sua implementação provocou algum benefício.

No que concerne à criação da biblioteca de ferramentas, sob a forma de um documento de consulta, verificou-se que a empresa passou a estar dotada de uma base de dados que funciona também como um inventário, permitindo desta forma apresentar dados para tratamentos contabilísticos e de análise das ferramentas, ou seja, quais as mais utilizadas e as mais adequadas ao tipo de trabalho executado. Por outro lado, como foi compilada toda a informação das ferramentas utilizadas pela Standarmoldes num documento curto, de fácil leitura e interpretação, permitiu aos colaboradores ter um acesso mais rápido e fácil à informação das ferramentas de corte. Quanto à avaliação quantitativa dos tempos de consulta antes e após a implementação da base de dados, não foi realizado, no entanto pela avaliação qualitativa da implementação desta ferramenta demonstrou-se útil para o sector produtivo e para a gerência, porque de uma forma direta é possível verificar quais as ferramentas existentes e permitiu aos operadores terem um acesso direto aos parâmetros de corte e geometrias das ferramentas que existem nos seus postos de trabalho.

Quanto à proposta de criação dos procedimentos de maquinagem de caixas em estruturas, foram criados dois grupos de procedimentos. Um foi desenvolvido em parceria com os responsáveis da produção, no que diz respeito à seleção dos parâmetros de corte de acordo com o fornecedor de ferramentas. O segundo mais numa vertente de experimentação, foi desenvolvido sendo fidedigno aos princípios dos fabricantes de ferramentas. No que concerne ao segundo grupo de procedimentos, não foi possível pôr em prática não permitindo a validação deste grupo de procedimentos, no entanto, o primeiro grupo de procedimentos foi utilizado pelos colaboradores e, segundo a opinião qualitativa dos mesmos, verificou-se a adequabilidade do mesmo, com bons resultados de acabamento.

Em suma, as implementações efetuadas influenciaram positivamente o comportamento do sector produtivo da Standarmoldes, sendo enumeradas as principais vantagens deste projeto.

- Possibilitou a identificação das ferramentas em stock;
- Identificou operações de maquinagem menos conceptualizadas;
- Sensibilizou os operadores para o facto de registarem os programas de maquinagem devidamente terminados, para permitir consulta das operações efetuadas;
- Sensibilizou os operadores para a otimização do setor produtivo;
- Permitiu reduzir os tempos de consulta dos parâmetros de corte;
- Melhorou o envolvimento dos colaboradores;
- Uniformizou parte do processo produtivo.

3.7 Análise económica das propostas desenvolvidas

Neste subcapítulo pretende-se abordar o custo da implementação das propostas desenvolvidas, assim como o retorno económico da implementação das mesmas.
Do ponto de vista do custo de implementação das propostas o custo foi residual porque como se trata de um trabalho de inventário, de organização das ferramentas, dos recursos, da organização e uniformização da produção e como apenas foi testado e validado os procedimentos do primeiro grupo proposto e que por falta de disponibilidade para testar o segundo grupo de procedimentos, verificou-se que o único custo foi o tempo para validação dos parâmetros de corte, mas como estes se manifestaram adequados, não ocorreu paragem da produção e a mesma nunca foi afetada pela realização das propostas desenvolvidas.

Já no que concerne ao retorno financeiro das propostas desenvolvidas, estima-se que quando forem completamente adotadas, permitirá uniformizar o conhecimento tornando o processo produtivo mais estável. Por outro lado, se nos quadros da empresa existir trocas de colaboradores, permitirá de uma forma simples e rápida o treino e adaptação dos novos colaboradores às dinâmicas de fabrico da empresa. De forma quantitativa não é possível aferir quais os retornos financeiros, mas sabe-se que com a padronização de métodos e processos de fabrico permitirá o *upgrade* da empresa.

CONCLUSÕES

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo são descritas as conclusões relativas ao projeto apresentado e propostas de trabalhos futuros. As conclusões incidem numa análise do trabalho elaborado face aos objetivos inicialmente traçados e as propostas de trabalhos futuros incidem em propostas de complemento ao trabalho realizado e com foco na melhoria contínua.

4.1 Conclusões

A primeira fase desta dissertação, revisão bibliográfica, e a parte inicial do subcapítulo 3.5.2, servem como um compêndio relativo ao processo de maquinagem de moldes. Nestas secções é possível ter acesso, por exemplo, a informação sobre tipos de ferramentas, sistemas de fixação de peças e ferramentas, tempo de vida das ferramentas e tipos de moldes. Também é exposto um leque de informação sobre a parte mais prática do processo de maquinagem, com pareceres mais técnicos a ser tidos em conta no momento de programação.

Durante a observação em chão de fábrica, na Standarmoldes, foi possível constatar que os sistemas de fixação das peças utilizados para a maquinagem são essencialmente calços escalonados e prensas mecânicas. Para a fixação das ferramentas é utilizado essencialmente os cones porta pinças e porta fresas e, no que concerne às ferramentas, são utilizadas em maior quantidade as fresas retas e as esféricas. Durante esta observação realizou-se um inventário das ferramentas disponíveis com correspondência aos seus parâmetros de corte.

Foi identificado a capacidade produtiva da empresa, através do acompanhamento das rotinas de trabalho desde o início da produção do molde até à entrega do mesmo, sendo possível identificar as estruturas tipo do molde e documentado as operações de maquinagem de caixas que estavam disponíveis na base de dados da empresa. No que concerne aos procedimentos de maquinagem uniformizados, foram elaborados dois grupos procedimentos, mas apenas foi possível avaliar qualitativamente o primeiro grupo de procedimentos, através do *feedback* dos colaboradores.

Na aplicação do primeiro grupo de procedimentos verificou-se que os parâmetros de corte selecionados e que foram sugeridos pelo fornecedor de ferramentas, demonstrou bons resultados, tendo-se questionado os parâmetros de corte que o fabricante preconiza. Sabemos que os parâmetros de corte fornecidos pelo fabricante são parâmetros de corte testados e validados em condições ótimas e que de certa forma

permitem alguma variabilidade. Foi neste sentido, que foi criado o segundo grupo de procedimentos para validar esta premissa, em que é possível variar a rotação do *spindle* da máquina e o avanço da mesa, no entanto, não foi possível implementar e avaliar os resultados. Com a aplicação dos procedimentos de maquinagem pretende-se que a análise dos processos seja mais simples, permitindo uma melhoria contínua. De salientar que os parâmetros de corte utilizados nos dois grupos de procedimentos são significativamente diferentes mas, tal como referido, não foi possível validar o segundo grupo de procedimentos e, consequentemente, compará-los.

No que concerne às opções tomadas para a formação dos procedimentos, destaca-se a utilização de ferramentas de maior diâmetro para diminuir os tempos de maquinagem. Após estudo do processo de maquinagem, verificou-se que na maquinagem de cantos a máquina reduz o avanço por limitação do software em interpolar os segmentos de reta que constitui os cantos, no entanto, fica salvaguardado a necessidade de redução do avanço nestas situações, de forma a reduzir as vibrações e desgaste da ferramenta.

É de realçar que a procura pela melhoria contínua deve ser constante, contribuindo de forma gradual para que se estabeleça níveis maiores de produtividade e qualidade, proporcionando prazos de entrega mais curtos com padrões de qualidade ótimos. Desta forma, permite captação de clientes em áreas distintas.

Sabemos que a falta de organização da informação e a inexistências de procedimentos validados, conduz ao aumento da variabilidade do processo e, no caso em estudo, ainda mais por existirem quatro colaboradores agregados ao processo de fresagem.

Para finalizar é importante referir as limitações verificadas ao longo deste trabalho. Em primeiro, referir que este trabalho foi realizado em contexto industrial numa empresa externa ao contexto do ISEP e em regime parcial, em segundo, o trabalho foi realizado de acordo com a disponibilidade da empresa e dos seus recursos, nomeadamente na validação dos procedimentos, por fim devemos referir que este trabalho foi elaborado sem antes ter tido contacto com este tipo de indústria.

4.2 Proposta de trabalhos futuros

As propostas para trabalhos futuros apresentadas, referem-se apenas ao temas e trabalho desenvolvido na Standarmoldes. Assim sendo, propõem-se os seguintes trabalhos:

- Acompanhar a base de dados de ferramentas desenvolvida e se necessário atualizá-la com a introdução de novas ferramentas;
- Criar por cada posto de trabalho um armazém de ferramentas de acordo com o trabalho realizado nesse mesmo posto. Desta forma, pode-se obter ganhos de tempo e analisar a performance de utilização das ferramentas por operador;
- Desenvolver estratégias de envolvimento dos colaboradores, de forma a que seja utilizado os procedimentos já validados, como por exemplo procedimento

de afiamento de brocas e o primeiro grupo de procedimentos de maquinagem de caixas, desenvolvido neste projeto;

- Testar e validar o segundo grupo de procedimentos;
- Se validado o segundo grupo de procedimentos de maquinagem de caixas, criar uma ferramenta informática para consulta dos parâmetros de corte.

Desta forma, com as propostas definidas pretende-se acrescentar valor à empresa e permitir em situações futuras, na admissão de novos colaboradores, a rápida e fácil adaptação dos mesmos.

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

Alhadeff, L., Marshall, D., Curtis, D., & Slatter, T. (2019). Wear. *Protocol for tool wear measurement in micro-milling*, pp. 54-67.

Barbosa, M., Silva, F., Pimentel, C., & Gouveia, R. (2018). 28th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing. *A novel concept of CNC Machining Center Automatic Feeder.*, pp. 952-959.

Bergs, T., Richter, V., Ottersbach, M., Potschke, J., Hochmuth, C., & Busch, K. (2016). Procedia CIRP 46. *Tool technologies for milling of hardmetals amd ceramics*, pp. 299-302.

CEFAMOL, A. N. (2018). Indústria Portuguesa de Moldes. pp. 1-10.

CIP, C. E. (1 de Fevereiro de 2017). Reindustrialização, Indústria 4.0 e política Industrial para o século XXI. pp. 4-9.

Coromant, S. (2010). *Manual Técnico de Usinagem .* Suécia: AB Sandvik Coromant.

Coromant, S. (10 de Junho de 2019). *Classes e Pastilhas*. Obtido de Sandvick Coromant: https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/products/pages/inserts-grades.aspx

Coromant, S. (10 de Junho de 2019). *EasyFix*. Obtido de Sandvick Coromant: https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/products/easy-fix/

Davim, J. (1995). *Princípios da Maquinagem.* Coimbra: Livraria Almedina.

Davim, J., & Correia, A. (2006). *Maquinagem a Alta Velocidade - Fresagem / CNC.* Porto: Publindústria, Edições Técnicas.

Fleischer, J., Schulze, V., Klaiber, M., Bauer, J., Zanger, F., Boev, N., . . . Rothaupt, B. (2016). Procedia CIRP 46. *The influence of tool holder technologies on milling performance*, pp. 226-229.

Gouveia, R., Silva, F., Reis, P., & Baptista, A. (2016). Coatings. *Machining Duplex Stainless Steel: Comparative Study Regarding End Mill Coated Tools.*

Haas. (Junho de 2019). *Fresadoras Série VF*. Obtido de Haas official machine tool: https://www.haascnc.com/pt/machines/vertical-mills/vf-series.html

Heeschen, D., Kloche, F., & Arntz, K. (2015). Procedia CIRP 29. *Life cycle oriented milling tool management in small scale prduction*, pp. 293-298.

Huang, W., Zhao, J., Niu, J., Wang, G., & Cheng, R. (2018). Procedia CIRP 71. *Comparison in surface integrity and fatigue performance for hardened steel ball-end-milled with different milling speeds*, pp. 267-271.

Knuth. (10 de Junho de 2019). *Cutting systems*. Obtido de Knuth machining tools: https://www.knuth-machinetools.com/com_en/neospark-b-500-conf-180559

Knuth. (10 de Junho de 2019). *Grinding Machines*. Obtido de Knuth machine tools: https://www.knuth-machinetools.com/com_en/hfs-4080b-c-conf-124906

Magerle. (10 de junho de 2019). *Vertical grinding machines*. Obtido de Magerle: https://www.maegerle.com/en/flat-and-profile-grinding-machines/detailed-view/product/mgc-rv/

Martinho, R., Silva, F., & Baptista, A. (2007). Wear 263. *Wear behaviour of uncoated and diamond coated Si3N4 tools severe turning conditions.*, pp. 1417-1422.

Martinho, R., Silva, F., & Baptista, A. (2008). Cutting forces and wear analysis of Si3N4 diamond coated tools in high speed machining. *Elsevier*, 1415-1420.

Martinho, R., Silva, F., Alexandre, R., & Baptista, A. (2011). TiB2 Nanostructured Coating for GFRP Injection Moulds. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 5374- 5382.

Martinho, R., Silva, F., Martins, C., & Lopes, H. (2018). Comparative Study of PVD and CVD cutting tools performance in milling of duplex stainless steel. *The International Journal of Advance Manufacturing Technology*.

Meusburger. (10 de Junho de 2019). *Brocas de metal duro integral*. Obtido de Meusburger setting standards: https://www.meusburger.com/PT/PT/consumiveis-e-acessorios/machining/drills/carbide-drills/wzb-12222

Meusburger. (9 de Julho de 2019). *Cutting Data Calculator - Milling*. Obtido de Meusburger: https://schnittdaten.meusburger.com/calculator/milling/

Meusburger. (10 de Junho de 2019). *Machos de roscar HSS-E rosca métrica*. Obtido de Meusburger Setting Standards: https://www.meusburger.com/PT/PT/consumiveis-e-acessorios/machining/threading-tools/hss-e-taps/wzg-341215-set

Moldes, A. N. (05 de 04 de 2019). *Cefamol*. Obtido de Cefamol, Associação Nacional da Indústria de Moldes: https://www.cefamol.pt/index.php?id=29

Park, H.-S., & Dang, X.-P. (2011). *Design and Simulation-Based Optimization of Cooling Channels for Plastic Injection Mold*.

Polímeros, U. d.-D. (2004). *Manual do Projectistapara moldes de injecção de plástico.* Guimarães: ColorEstúdio.

Portugal, C. E. (1 de Fevereiro de 2017). Reindustrialização, Indústria 4.0 e Política Industrial para o século XXI. pp. 4-9.

Rocha, J. (2016). *Programação de CNC para torno e fresadora.* Lisboa: FCA-Editora de Informática, Lda.

Roselia, O. (1974). *Máquinas Operatrizes operação de furar.* São Paulo: Edgard Blucher Ltda.

Rosolia, O. (1974). *Máquinas Operatrizes Torneamento.* São Paulo: Edgard Blucher Ltda.

Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2009). *Research methods for business students.* Harlow: Pearson Education Limited.

Silva, A., Picinin, N., & Machado, M. (7 de dezembro de 2018). Estudo das técnicas de usinagem na confecção de moldes e matrizes. *VIII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção*.

Silva, A., Picinin, N., & Machado, M. (7 de Dezembro de 2018). Estudo das técnicas de usinagem na confecção de moldes e matrizes. *VII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção*.

Silva, F., Martinho, R., Alexandre, R., & Baptista, A. (2011). Increasing the wear resistance of molds for injection of glass fiber reinforced plastics. *Elsevier*, 2494-2499.

Silva, F., Martinho, R., Andrade, M., Baptista, A., & Alexandre, R. (2017). Coatings. *Improving the wear resistance of moulds for the injection of glass fibre-reinforced plastics using PVD Coatings: A comparative Study*.

Silva, F., Martinho, R., Martins, R., Lopes, H., & Gouveia, R. (2019). Coatings. *Machining GX2CrNiMoN26-7-4 DSS Alloy: Wear Analysis of TiAlN and TiCN/Al2O3/ TiN Coated Carbide Tools Behavior in Rough End Milling Operations*.

Silva, S. L. (2009). *Sistemática para o Projeto do Sistema de Refrigeração de Moldes para Injeção de Polímeros.* Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.

Soares, J. (2009). *Aços - Características, Tratamentos 6ª edição.* Porto: Rocha/ artes gráficas, Lda.

Swift, K., & Brooker, J. (2003). *Process Selection From design to manufacture.* Oxford: Butterworth-Heinemann.

TECNODEPO. (2010). *Manual Formação DEPOCAM.* Oliveira de Azeméis: TECNODEPO.

Thorenz, B., Westermann, H., Kafara, M., Nutzel, M., & Steinhilper, R. (2018). Procedia Manufacturing 21. *Evaluation of the influence of different clamping chuck types on energy consumption, tool wear, and surface qualities in milling operations*, pp. 575-582.

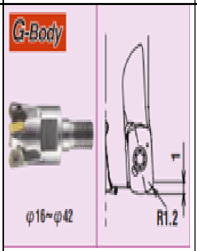
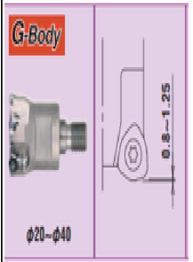
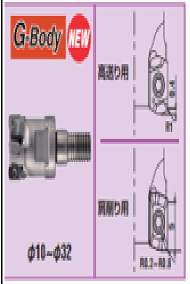
Uhlmann, E., Riemer, H., Schroter, D., Sammler, F., & Richarz, S. (2017). Procedia CIRP 61. *Substitutiom of coolant by using a closed internally cooled milling tool*, pp. 553-557.

Vobroucek, J. (2014). Procedia Engineering 100. *The Influence of milling tool geometry on the quality of the machined surface*, pp. 1556-1561.

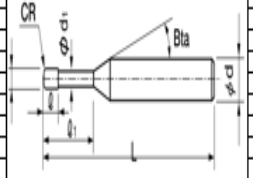
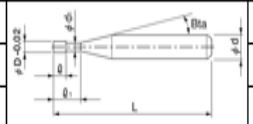
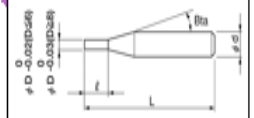
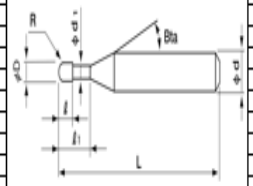
ANEXOS

6 ANEXOS

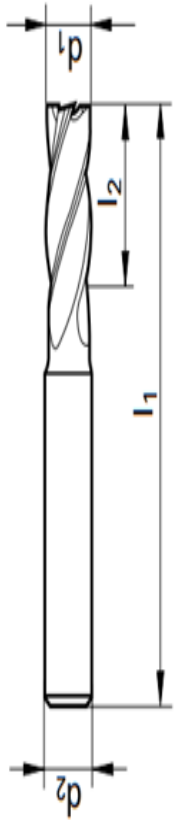
6.1 Anexo 1-Biblioteca de Ferramentas

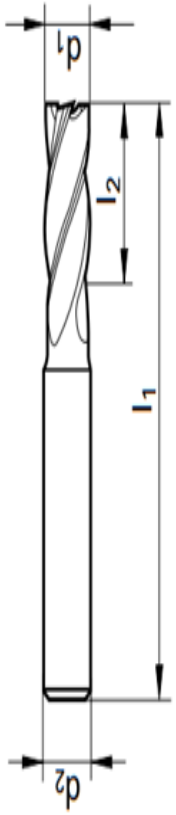
Ferramentas																							
									AÇO até 26 HRC					AÇO 30'45 HRC					AÇO 45'55 HRC				
Fabricante	**Tipo Roca**	**Imagem**	**Refência Plaquete**	**Grau**	Referência Standarmoldes	Nº pastilhas Roca	Diâmetro Roca (mm)	Altura da Roca (mm)	Velocidade de avanço (fz) (mm/dente)	n (rpm)	ae (mm)	ap (mm)	vf (mm/min)	Velocidade de avan	n (rpm)	ae (mm)	ap (mm)	vf (mm/min)	Velocidade de avanço (fz) (mm/dente)	n (rpm)	ae (mm)	ap (mm)	vf (mm/min)
DIJET	MXG		ENMU100412ZER	JC8118	MXG/1/JC8118	5	35	110	1,200	1910	25	0,6	11460	0,900	900	25	0,5	4050	0,900	900	25	0,5	4050
	MSH		WDMW050316ZTR	JC5040	MSH/2/JC5040	3	25	95	1,000	2300	-	0,5	6300	Aplicável até durezas 26 HRC									
					MSH/2/JC5040	3	25	200	1,000	1900	-	0,3	5700										
				JC8015	MSH/2/JC8015	3	25	95	Aplicável para durezas superiores a 40 HRC										0,606	1100	-	0,5	2000
					MSH/2/JC8015	3	25	140											0,600	1000	-	0,3	1800
					MSH/2/JC8015	3	25	200											Não aplicável para alturas 200mm				
	MPM		YOHW060205	DH102	MPM/3/DH102	4	16	60	0,150	7160	0,1	1	4300	0,120	5560	0,1	1	2670	0,100	3980	0,1	0,8	1590
					MPM/3/DH102	4	16	120	0,120	5000	0,08	0,7	2400	0,101	3900	0,08	0,7	1580	0,080	2780	0,08	0,5	890
					MPM/3/DH102	4	16	máx 160	0,100	5000	0,08	0,5	2000	0,080	3900	0,08	0,5	1250	Não aplicável para alturas 160mm				
			EDMT060210ZER	JC8118	MPM/4/JC8118	4	16	60	0,900	2190	12	0,4	7880	0,700	1790	12	0,3	5010	0,601	1390	12	0,3	3340
					MPM/4/JC8118	4	16	120	0,810	1970	12	0,3	6380	0,630	1610	12	0,25	4060	0,540	1250	12	0,2	2700
					MPM/4/JC8118	4	16	máx 160	0,700	1750	12	0,25	4900	0,559	1430	12	0,2	3200	Não aplicável para alturas 160mm				
			EDMT060220ZER	JC5118	MPM/5/JC5118	4	16	60	0,900	2190	12	0,4	7880	0,700	1790	12	0,3	5010	0,601	1390	12	0,3	3340
					MPM/5/JC5118	4	16	120	0,810	1970	12	0,3	6380	0,630	1610	12	0,25	4060	0,540	1250	12	0,2	2700
					MPM/5/JC5118	4	16	máx 160	0,700	1750	12	0,25	4900	0,559	1430	12	0,2	3200	Não aplicável para alturas 160mm				

Ferramentas

Fabricante	Família	Tipo	Referência Standermaldor	Referência Fabricante	Imagem	Características Geométricas da Ferramenta								AÇO 30"45 HRC					AÇO 45"55 HRC				
						Raio da ponta (CR)	Altura do Corte (l)	Diâmetro pescaço (d1)	Altura efectiva (l1)	Altura da fresa (L)	Raio da ferramenta (R)	Diâmetro Ferramenta (D)	Nº dentes ferramenta (z)	Velocidade de avanço (fz)	n (rpm)	ae (mm)	ap (mm)	Vf (mm/min)	Velocidade de avanço (fz)	n (rpm)	ae (mm)	ap (mm)	Vf (mm/min)
Union Tool	Tórica	D0,6XR0,1X4	UT/0,6/0,1/4	HLRS2006-01-040		0,10	0,60	0,58	4,00	50,00	0,3	0,60	2,00	0,008	20400	0,104	0,005	330	0,007	16800	0,104	0,005	250
		D0,6XR0,1X6	UT/0,6/0,1/6	HLRS2006-01-060		0,10	0,60	0,58	6,00	50,00	0,3	0,60	2,00	0,007	16800	0,099	0,003	250	0,007	13900	0,099	0,003	190
		D1xR0,2X6	UT/1/0,2/6	HLRS2010-02-060		0,20	1,00	0,95	6,00	50,00	0,5	1,00	2,00	0,029	11300	0,216	0,021	650	0,028	9800	0,216	0,024	540
		D1XR0,2X10	UT/1/0,2/10	HLRS2010-02-100		0,20	1,00	0,95	10,00	50,00	0,5	1,00	2,00	0,018	8800	0,126	0,011	320	0,018	7600	0,126	0,013	270
		D1,5XR0,2X6	UT/1,5/0,2/6	HLRS2015-02-060		0,20	1,50	1,45	6,00	50,00	0,75	1,50	2,00	0,049	10600	0,405	0,041	1030	0,046	9700	0,405	0,055	900
		D1,5XR0,2X10	UT/1,5/0,2/10	HLRS2015-02-100		0,20	1,50	1,45	10,00	50,00	0,75	1,50	2,00	0,044	8500	0,288	0,032	750	0,042	7800	0,288	0,042	650
		D1,5XR0,2X16	UT/1,5/0,2/16	HLRS2015-02-160		0,20	1,50	1,45	16,00	55,00	0,75	1,50	2,00	0,038	6800	0,180	0,015	510	0,036	6200	0,180	0,020	450
		D2xR0,2x10	UT/2/0,2/10	HLRS2020-02-100		0,20	2,00	1,92	10,00	50,00	1	2,00	2,00	0,044	10000	0,585	0,033	870	0,042	9200	0,585	0,047	790
		D3XR0,2X20	UT/3/0,2/20	HLRS2030-02-200		0,2	3	2,92	20	60	1,5	3,00	2,00	0,052	8400	0,580	0,073	880	0,043	7900	0,580	0,073	680
		D4XR0,2X20	UT/4/0,2/20	HLRS2040-02-200		0,2	4	3,82	20	65	2	4,00	2,00	0,072	6900	0,900	0,054	990	0,074	5800	0,900	0,080	860
		D6XR0,5X12	UT/6/0,5/12	HLRS2060-05-120		0,5	6	5,82	10	65	3	6,00	2,00	0,101	8000	1,350	0,500	1620	0,145	4700	1,350	0,200	1360
		D6XR0,5X30	UT/6/0,5/30	HLRS4060-05-300		0,5	4,8	5,82	30	100	3	6,00	4,00	0,072	4500	2,268	0,158	1290	0,071	2600	1,260	0,158	740
	Reta	D3X20	UR/3/20	HLS4030-200		-	3	2,92	20	60	1,5	3,00	4,00	0,020	6100	0,203	0,035	490	0,018	4900	0,191	0,025	350
		D4X35	UR/4/35	HLS4040-350		-	4	3,82	35	80	2	4,00	4,00	0,031	3400	0,120	0,050	420	0,028	2700	0,113	0,036	300
		D5X16	UR/5/16	HLS4050-160		-	5	4,82	16	60	2,5	5	4	0,041	4100	3051,000	0,108	670	0,036	3300	2,861	0,077	480
		D6X26	UR/6/26	HMS6060-2600		-	26,00	26,00	-	70,00	-	6,00	6,00	0,027	1600	0,120	18,000	255	0,027	1100	0,120	18,000	180
	Esférica	R0,05X0,5	UE/0,05/0,5	HSLB2001-005		0,05	0,08	0,095	0,5	45	0,05	0,1	2	Segundo fabricante não se adequa para durezas 30-45 HRC					0,0004	48000	0,002	0,002	35
		R0,5X6	UE/0,5/6	HSLB2010-060		0,50	0,80	0,98	6,00	45,00	0,50	1	2						0,0192	30000	0,230	0,060	1150
		R0,5X10	UE/0,5/10	HSLB2010-100		0,50	0,80	0,98	10,00	45,00	0,50	1	2						0,0136	22000	0,130	0,018	600
		R0,5X16	UE/0,5/16	HSLB2010-160		0,50	0,80	0,98	16,00	50,00	0,50	1	2						0,0094	12750	0,080	0,008	240
		R0,75X12	UE/0,75/12	HSLB2015-120		0,75	1,20	1,47	12,00	45,00	0,75	1,5	2						0,0183	13100	0,210	0,030	480
		R0,75X6	UE/0,75/6	HSLB2015-060		0,75	1,20	1,47	6,00	45,00	0,75	1,5	2						0,0408	30000	0,450	0,150	2450
		R1X6	UE/1/6	HSLB2020-060		1,00	1,60	1,98	6,00	45,00	1,00	2	2						0,0518	28000	0,600	0,200	2900
		R1X20	UE/1/20	HSLB2020-200		1,00	1,60	1,98	20,00	55,00	1,00	2	2						0,0217	8650	0,250	0,035	375
		R1,5X20	UE/1,5/20	HSLB2030-200		1,50	2,40	2,95	20,00	70,00	1,50	3	2						0,0469	14500	0,700	0,180	1360
		R1,5X30	UE/1,5/30	HSLB2030-300		1,50	2,40	2,95	30,00	70,00	1,50	3	2						0,0326	5750	0,380	0,050	375
		R2X20	UE/2/20	HSLB2040-200		2,00	3,20	3,95	20,00	70,00	2,00	4	2						0,0889	18000	1,200	0,400	3200
		R3X40	UE/3/40	HSLB2060-400		3,00	4,80	5,95	40,00	90,00	3,00	6	2						0,1139	9000	1,350	0,375	2050
		R3X100	UE/3/100	HSLB2060-100		3,00	4,80	5,95	10,00	80,00	3,00	6	2						0,1346	12000	1,800	0,600	3500

TALICARB	Térica	D0,3XR2X0,6	TT/0,3/2/0,6	413RXT		-	0,3	0,1	0,6	50	-	0,3	2	0,007			0,009		0,005			0,009	
		D2XRX12	TT/2/			-	2,5	1,95	5	50	-	2	2	0,013			0,060		0,012			0,060	
WIDIN		D0,6XR0,1X8	WT/0,6/0,1/8	ZSLNR2006-08-01		0,1	0,4	0,57	8	50	-	0,6	2	0,008	18000			285	0,006	17800			221
		D1,5XR0,2X12	WT/1,5/0,2/12	ZSLNR2015-12-02		0,2	1,35	1,42	12	55	-	1,5	2	0,023	15422			698	0,020	13608			548
		D2XR0,2X30	WT/2/0,2/30	ZSLNR2020-30-02		0,2	2,5	2,86	20	65	-	2	2	0,035	9615			680	0,031	8484			534
		D3XR0,2X30	WT/3/0,2/30	ZSLNR2030-30-02		0,2	2,5	2,86	30	75	-	3	2	0,063	7711			974	0,056	6804			764
VANHOORN		D4XR0,5X10	VT/4/0,5/10	VHTF20400640603		0,5	5	-	8	64	-	4	2	0,050	12732		4,000	1273	0,050	14324		2,000	1432
WIDIN		D6XR0,5X100	WT/6/0,5/100	ZR5220605		0,5	13	-	-	90	-	6	2	0,025	2100			107	0,019	1370			51
WIDIN	Erfórica	R0,5X6	WE/0,5/6	ZSLNB2010-6		0,5	0,8	0,96	6	50	-	1	2	0,018	24200			850	0,015	17600			540
		R0,5X10	WE/0,5/10	ZSLNB2010-10		0,5	0,8	0,96	10	50	-	1	2	0,018	24200			850	0,015	17600			540
		R0,75X12	WE/0,75/12	ZSLNB2015-12		0,5	0,8	0,96	12	55	-	1	2	0,027	14300			760	0,023	11500			540
		R1X20	WE/1/20	ZSLNB2020-20		0,5	0,8	0,96	20	60	-	1	2	0,036	11000			800	0,030	8800			530
		R3X100	WE/3/100	DB702061		3	7	5,9	12	90	-	6	2	0,153	13400			4100	0,141	11000			3100
OSG		R0,6X12	O/0,6/12	WXL-LN-EBD311312		-	1	1,15	12	45	0,6	1,2	2	0,007	11000		0,061	150	0,007	11000		0,030	150
		R0,75X20	O/0,75/20	WXL-LN-EBD311620		-	1,2	1,45	20	55	0,75	1,5	2	0,008	9500		0,061	150	0,008	9500		0,010	150
VANHOORN		D1,5X6	VE/1,5/6	VHMSK20150640603L060		0,75	2,3	-	6	64	0,75	1,5	2	0,018	31831	0,060	0,900	1146	0,018	29709	0,600	0,680	1070
		D1,2X6	VE/1,2/6	VHMSK20120640603L060		0,6	1,8	-	16	64	0,6	1,2	2	0,016	39789	0,048	0,720	1273	0,016	37136	0,048	0,540	1188
		D5X6	VE/5/6	VHKC40500640631		-	6	-	19	64	2,5	5	4										

GUHRING	Fresa MDI	D6	GM6	0,0440-6,000		-	10	-	-	54	3	6	4	0,036	7958	3,000	6,000	1146	0,031	2865	3,000	6,000	355
		D7,92	GM7,92	RECTIFICADA		-	10	-	-	54	3,96	7,92	4	0,052	6029	3,960	7,920	1254	0,042	2170	3,960	7,920	365
		D8	GM8	05534-8,000		-	12	-	-	58	4	8	4	0,052	5968	4,000	8,000	1241	0,042	2149	4,000	8,000	361
		D9	GM9	05534-9,000		-	14	-	-	66	4,5	9	4	0,066	5305	4,500	9,000	1401	0,05	1910	4,500	9,000	382
		D9,22	GM9,22	RECTIFICADA		-	14	-	-	66	4,61	9,22	4	0,066	5179	4,610	9,220	1367	0,05	1864	4,610	9,220	373
		D9,5	GM9,5	RECTIFICADA		-	14	-	-	66	4,75	9,5	4	0,066	5026	4,750	9,500	1327	0,05	1809	4,750	9,500	362
		D9,67	GM9,67	RECTIFICADA		-	14	-	-	66	4,835	9,67	4	0,066	4938	4,835	9,670	1304	0,05	1778	4,835	9,670	356
		D9,83	GM9,83	RECTIFICADA		-	14	-	-	66	4,915	9,83	4	0,066	4857	4,915	9,830	1282	0,05	1749	4,915	9,830	350
		D9,85	GM9,85	RECTIFICADA		-	14	-	-	66	4,925	9,85	4	0,066	4847	4,925	9,850	1280	0,05	1745	4,925	9,850	349
		D9,92	GM9,92	RECTIFICADA		-	14	-	-	66	4,96	9,92	4	0,066	4813	4,960	9,920	1271	0,05	1733	4,960	9,920	347
		D9,93	GM9,93	RECTIFICADA		-	14	-	-	66	4,965	9,93	4	0,066	4808	4,965	9,930	1269	0,05	1731	4,965	9,930	346
		D10	GM10	05535-10,000		-	14	-	-	66	5	10	4	0,066	4775	5,000	10,000	1261	0,05	1719	5,000	10,000	344
		D10,56	GM10,56	RECTIFICADA		-	16	-	-	73	5,28	10,56	4	0,085	4521	5,280	10,560	1537	0,059	1628	5,280	10,560	384
		D10,96	GM10,96	RECTIFICADA		-	16	-	-	73	5,48	10,96	4	0,085	4356	5,480	10,960	1481	0,059	1568	5,480	10,960	370
		D11,03	GM11,03	RECTIFICADA		-	16	-	-	73	5,515	11,03	4	0,085	4329	5,515	11,030	1472	0,059	1558	5,515	11,030	368
		D11,10	GM11,10	RECTIFICADA		-	16	-	-	73	5,55	11,1	4	0,085	4301	5,550	11,100	1463	0,059	1549	5,550	11,100	365
		D11,20	GM11,20	RECTIFICADA		-	16	-	-	73	5,6	11,2	4	0,085	4263	5,600	11,200	1449	0,059	1535	5,600	11,200	362
		D11,26	GM11,26	RECTIFICADA		-	16	-	-	73	5,63	11,26	4	0,085	4240	5,630	11,260	1442	0,059	1527	5,630	11,260	360
		D11,30	GM11,30	RECTIFICADA		-	16	-	-	73	5,65	11,3	4	0,085	4225	5,650	11,300	1437	0,059	1521	5,650	11,300	359
		D11,32	GM11,32	RECTIFICADA		-	16	-	-	73	5,66	11,32	4	0,085	4218	5,660	11,320	1434	0,059	1518	5,660	11,320	358
		D11,40	GM11,40	RECTIFICADA		-	16	-	-	73	5,7	11,4	4	0,085	4188	5,700	11,400	1424	0,059	1508	5,700	11,400	356
		D11,51	GM11,51	RECTIFICADA		-	16	-	-	73	5,755	11,51	4	0,085	4148	5,755	11,510	1410	0,059	1493	5,755	11,510	352
		D11,54	GM11,54	RECTIFICADA		-	16	-	-	73	5,77	11,54	4	0,085	4137	5,770	11,540	1407	0,059	1489	5,770	11,540	352
		D11,58	GM11,58	RECTIFICADA		-	16	-	-	73	5,79	11,58	4	0,085	4123	5,790	11,580	1402	0,059	1484	5,790	11,580	350
		D11,63	GM11,63	RECTIFICADA		-	16	-	-	73	5,815	11,63	4	0,085	4105	5,815	11,630	1396	0,059	1478	5,815	11,630	349
		D11,65	GM11,65	RECTIFICADA		-	16	-	-	73	5,825	11,65	4	0,085	4098	5,825	11,650	1393	0,059	1475	5,825	11,650	348
		D11,66	GM11,66	RECTIFICADA		-	16	-	-	73	5,83	11,66	4	0,085	4095	5,830	11,660	1392	0,059	1474	5,830	11,660	348
		D11,67	GM11,67	RECTIFICADA		-	16	-	-	73	5,835	11,67	4	0,085	4091	5,835	11,670	1391	0,059	1473	5,835	11,670	348
		D11,70	GM11,70	RECTIFICADA		-	16	-	-	73	5,85	11,7	4	0,085	4081	5,850	11,700	1388	0,059	1469	5,850	11,700	347
		D11,72	GM11,72	RECTIFICADA		-	16	-	-	73	5,86	11,72	4	0,085	4074	5,860	11,720	1385	0,059	1467	5,860	11,720	346
		D11,73	GM11,73	RECTIFICADA		-	16	-	-	73	5,865	11,73	4	0,085	4070	5,865	11,730	1384	0,059	1465	5,865	11,730	346
		D11,84	GM11,84	RECTIFICADA		-	16	-	-	73	5,92	11,84	4	0,085	4033	5,920	11,840	1371	0,059	1452	5,920	11,840	343
		D11,85	GM11,85	RECTIFICADA		-	16	-	-	73	5,925	11,85	4	0,085	4029	5,925	11,850	1370	0,059	1451	5,925	11,850	342
		D11,92	GM11,92	RECTIFICADA		-	16	-	-	73	5,96	11,92	4	0,085	4006	5,960	11,920	1362	0,059	1442	5,960	11,920	340
		D11,94	GM11,94	RECTIFICADA		-	16	-	-	73	5,97	11,94	4	0,085	3999	5,970	11,940	1360	0,059	1440	5,970	11,940	340
		D11,95	GM11,95	RECTIFICADA		-	16	-	-	73	5,975	11,95	4	0,085	3996	5,975	11,950	1358	0,059	1438	5,975	11,950	339
		D12	GM12	05534-12,000		-	16	-	-	73	6	12	4	0,085	3979	6,000	12,000	1353	0,059	1432	6,000	12,000	338
		D13	GM13	05534-13,000		-	18	-	-	75	6,5	13	4	0,1	3673	6,500	13,000	1469	0,071	1322	6,500	13,000	376
		D13,04	GM13,04	RECTIFICADA		-	18	-	-	75	6,52	13,04	4	0,1	3662	6,520	13,040	1465	0,071	1318	6,520	13,040	374
		D13,17	GM13,17	RECTIFICADA		-	18	-	-	75	6,585	13,17	4	0,1	3625	6,585	13,170	1450	0,071	1305	6,585	13,170	371
		D13,20	GM13,20	RECTIFICADA		-	18	-	-	75	6,6	13,2	4	0,1	3617	6,600	13,200	1447	0,071	1302	6,600	13,200	370
		D13,30	GM13,30	RECTIFICADA		-	18	-	-	75	6,65	13,3	4	0,1	3590	6,650	13,300	1436	0,071	1292	6,650	13,300	367
		D13,38	GM13,38	RECTIFICADA		-	18	-	-	75	6,69	13,38	4	0,1	3568	6,690	13,380	1427	0,071	1285	6,690	13,380	365
		D13,40	GM13,40	RECTIFICADA		-	18	-	-	75	6,7	13,4	4	0,1	3563	6,700	13,400	1425	0,071	1283	6,700	13,400	364
		D13,50	GM13,50	RECTIFICADA		-	18	-	-	75	6,75	13,5	4	0,1	3537	6,750	13,500	1415	0,071	1273	6,750	13,500	362
		D13,54	GM13,54	RECTIFICADA		-	18	-	-	75	6,77	13,54	4	0,1	3526	6,770	13,540	1411	0,071	1269	6,770	13,540	361

GUHRING	Fresar MDI	D11,73	GM/11,73	RECTIFICADA		-	16	-	-	73	5,865	11,73	4	0,085	4070	5,865	11,730	1384	0,059	1465	5,865	11,730	346
		D11,84	GM/11,84	RECTIFICADA		-	16	-	-	73	5,92	11,84	4	0,085	4033	5,920	11,840	1371	0,059	1452	5,920	11,840	343
		D11,85	GM/11,85	RECTIFICADA		-	16	-	-	73	5,925	11,85	4	0,085	4029	5,925	11,850	1370	0,059	1451	5,925	11,850	342
		D11,92	GM/11,92	RECTIFICADA		-	16	-	-	73	5,96	11,92	4	0,085	4006	5,960	11,920	1362	0,059	1442	5,960	11,920	340
		D11,94	GM/11,94	RECTIFICADA		-	16	-	-	73	5,97	11,94	4	0,085	3999	5,970	11,940	1360	0,059	1440	5,970	11,940	340
		D11,95	GM/11,95	RECTIFICADA		-	16	-	-	73	5,975	11,95	4	0,085	3996	5,975	11,950	1358	0,059	1438	5,975	11,950	339
		D12	GM/12	05534-12,000		-	16	-	-	73	6	12	4	0,085	3979	6,000	12,000	1353	0,059	1432	6,000	12,000	338
		D13	GM/13	05534-13,000		-	18	-	-	75	6,5	13	4	0,1	3673	6,500	13,000	1469	0,071	1322	6,500	13,000	376
		D13,04	GM/13,04	RECTIFICADA		-	18	-	-	75	6,52	13,04	4	0,1	3662	6,520	13,040	1465	0,071	1318	6,520	13,040	374
		D13,17	GM/13,17	RECTIFICADA		-	18	-	-	75	6,585	13,17	4	0,1	3625	6,585	13,170	1450	0,071	1305	6,585	13,170	371
		D13,20	GM/13,20	RECTIFICADA		-	18	-	-	75	6,6	13,2	4	0,1	3617	6,600	13,200	1447	0,071	1302	6,600	13,200	370
		D13,30	GM/13,30	RECTIFICADA		-	18	-	-	75	6,65	13,3	4	0,1	3590	6,650	13,300	1436	0,071	1292	6,650	13,300	367
		D13,38	GM/13,38	RECTIFICADA		-	18	-	-	75	6,69	13,38	4	0,1	3568	6,690	13,380	1427	0,071	1285	6,690	13,380	365
		D13,40	GM/13,40	RECTIFICADA		-	18	-	-	75	6,7	13,4	4	0,1	3563	6,700	13,400	1425	0,071	1283	6,700	13,400	364
		D13,50	GM/13,50	RECTIFICADA		-	18	-	-	75	6,75	13,5	4	0,1	3537	6,750	13,500	1415	0,071	1273	6,750	13,500	362
		D13,54	GM/13,54	RECTIFICADA		-	18	-	-	75	6,77	13,54	4	0,1	3526	6,770	13,540	1411	0,071	1269	6,770	13,540	361
		D13,55	GM/13,55	RECTIFICADA		-	18	-	-	75	6,775	13,55	4	0,1	3524	6,775	13,550	1409	0,071	1269	6,775	13,550	360
		D13,60	GM/13,60	RECTIFICADA		-	18	-	-	75	6,8	13,6	4	0,1	3511	6,800	13,600	1404	0,071	1264	6,800	13,600	359
		D13,65	GM/13,65	RECTIFICADA		-	18	-	-	75	6,825	13,65	4	0,1	3498	6,825	13,650	1399	0,071	1259	6,825	13,650	358
		D13,67	GM/13,67	RECTIFICADA		-	18	-	-	75	6,835	13,67	4	0,1	3493	6,835	13,670	1397	0,071	1257	6,835	13,670	357
		D13,70	GM/13,70	RECTIFICADA		-	18	-	-	75	6,85	13,7	4	0,1	3485	6,850	13,700	1394	0,071	1255	6,850	13,700	356
		D13,72	GM/13,72	RECTIFICADA		-	18	-	-	75	6,86	13,72	4	0,1	3480	6,860	13,720	1392	0,071	1253	6,860	13,720	356
		D13,80	GM/13,80	RECTIFICADA		-	18	-	-	75	6,9	13,8	4	0,1	3460	6,900	13,800	1384	0,071	1246	6,900	13,800	354
		D13,84	GM/13,84	RECTIFICADA		-	18	-	-	75	6,92	13,84	4	0,1	3450	6,920	13,840	1380	0,071	1242	6,920	13,840	353
		D13,90	GM/13,90	RECTIFICADA		-	18	-	-	75	6,95	13,9	4	0,1	3435	6,950	13,900	1374	0,071	1237	6,950	13,900	351
		D13,95	GM/13,95	RECTIFICADA		-	18	-	-	75	6,975	13,95	4	0,1	3423	6,975	13,950	1369	0,071	1232	6,975	13,950	350
		D14	GM/14	05534-14,000		-	18	-	-	75	7	14	4	0,1	3410	7,000	14,000	1364	0,071	1228	7,000	14,000	349
		D15	GM/15	05534-15,000		-	18	-	-	82	7,5	15	4	0,1	3183	7,500	15,000	1273	0,071	1146	7,500	15,000	325
		D15,05	GM/15,05	RECTIFICADA		-	22	-	-	82	7,525	15,05	4	0,1	3173	7,525	15,050	1269	0,071	1142	7,525	15,050	324
		D15,60	GM/15,60	RECTIFICADA		-	22	-	-	82	7,8	15,6	4	0,1	3061	7,800	15,600	1224	0,071	1102	7,800	15,600	313
		D15,75	GM/15,75	RECTIFICADA		-	22	-	-	82	7,875	15,75	4	0,1	3032	7,875	15,750	1213	0,071	1091	7,875	15,750	310
		D16	GM/16	05534-16,000		-	22	-	-	82	8	16	4	0,1	2984	8,000	16,000	1194	0,071	1074	8,000	16,000	305
		D18,7	GM/18,7	RECTIFICADA		-	26	-	-	92	9,35	18,7	4	0,12	2553	9,350	18,700	1226	0,09	919	9,350	18,700	331
		D19	GM/19	05534-19,000		-	26	-	-	92	9,5	19	4	0,12	2513	9,500	19,000	1206	0,09	905	9,500	19,000	326
		D19,5	GM/19,5	RECTIFICADA		-	26	-	-	92	9,75	19,5	4	0,12	2449	9,750	19,500	1175	0,09	881	9,750	19,500	317
		D19,54	GM/19,54	RECTIFICADA		-	26	-	-	92	9,77	19,54	4	0,12	2444	9,770	19,540	1173	0,09	880	9,770	19,540	317
		D20	GM/20	05534-20,000		-	26	-	-	92	10	20	4	0,12	2387	10,000	20,000	1146	0,09	859	10,000	20,000	309
MEUSBURGER	Fresar Calibrador MDI	D12	MM/12	W2F12258/10		-	36	-	-	93	6	12	4	0,049	4244	1,200	36,000	832	0,036	3714	1,200	36,000	535
		D16	MM/16	W2F12258/16		-	48	-	-	108	8	16	4	0,059	3183	1,600	48,000	751	0,043	2785	1,600	48,000	479
		D20	MM/20	W2F12258/20		-	60	-	-	126	10	20	4	0,07	2546	2,000	60,000	713	0,052	2228	2,000	60,000	463

6.2 Anexo 2 – Base de dados dos processos de Maquinagem

Peça: 009-069-3			
Características Geométricas da caixa:		• 207X220X48 • Raio 26 mm	
Nº Operação	Tipo de Operação	Ferramenta	Parâmetros utilizados
1	Desbaste	Roca 35 mm; raio 2mm; 2 lâminas;	• n=1299 • V_f=3997 • ae= 6,4 • ap= 0,3 Sobreespessura: • 0,2 xy • 0,125 z Limites: • Z(-48; -0,01) Offsets: (15;20)
2	Contorno Z	Roca 16 mm; raio 0,8 mm; 2 lâminas;	• n= 2000 • V_f= 3000 • ae= 3,2 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,2 xy • 0,125 z Limites: • Z(-48; -0,01)
3	Contorno Z	Fresa 19,71; raio 0; 4 dentes	• n= 1799 • V_f= 600 • ae= 3,942 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,2 xy • 0 z Limites: Z(-9,9; -9,9)
4	Contorno Z	Fresa 19,71; raio 0; 4 dentes	• n= 1799 • V_f= 600 • ae= 3,942 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,1 xy • 0 z Limites: Z(-9,9; -9,9)

5	Contorno Z	Fresa 19,71; raio 0; 4 dentes	• n= 1799 • V_f= 600 • ae= 3,942 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: Z(-9,9; -9,9)
6	Contorno Z	Fresa 19,71; raio 0; 4 dentes	• n= 1799 • V_f= 600 • ae= 3,942 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,2 xy • 0 z Limites: Z(-20; -20)
7	Contorno Z	Fresa 19,71; raio 0; 4 dentes	• n= 1799 • V_f= 600 • ae= 3,942 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,1 xy • 0 z Limites: • Z(-20; -20)
8	Contorno Z	Fresa 19,71; raio 0; 4 dentes	• n= 1799 • V_f= 600 • ae= 3,942 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: • Z(-20; -20)
9	Contorno Z	Fresa 19,71; raio 0; 4 dentes	• n= 1799 • V_f= 600 • ae= 3,942 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,2 xy • 0 z Limites: • Z(-30; -30)

10	Contorno Z	Fresa 19,71; raio 0; 4 dentes	• n= 1799 • V_f= 600 • ae= 3,942 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,1 xy • 0 z Limites: • Z(-30; -30)
11	Contorno Z	Fresa 19,71; raio 0; 4 dentes	• n= 1799 • V_f= 600 • ae= 3,942 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: • Z(-30; -30)
12	Contorno Z	Fresa 19,71; raio 0; 4 dentes	• n= 1799 • V_f= 600 • ae= 3,942 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,2 xy • 0,15 z Limites: • Z(-47,85; -47,85)
13	Contorno Z	Fresa 19,71; raio 0; 4 dentes	• n= 1799 • V_f= 600 • ae= 3,942 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,1 xy • 0,15 z Limites: • Z(-47,85; -47,85)
14	Contorno Z	Fresa 19,71; raio 0; 4 dentes	• n= 1799 • V_f= 600 • ae= 3,942 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0 xy • 0,15 z Limites: • Z(-47,85; -47,85)

15	Desbaste	Fresa 13; raio 0,5; 2 dentes	• n= 4000 • V_f= 800 • ae= 2,6 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,1 xy • 0 z Limites: • Z(-47,9; -47,9) Offsets: (6;10,8)
16	Desbaste	Fresa 13; raio 0,5; 2 dentes	• n= 4000 • V_f= 800 • ae= 2,6 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,1 xy • 0 z Limites: • Z(-48; -48) • Offsets: (6;10,8)

Peça: 009-071-3			
Características Geométricas da caixa:		• 260X140X76,2 • Raio 16 mm	
Nº Operação	Tipo de Operação	Ferramenta	Parâmetros utilizados
1	Desbaste	Roca 35 mm; raio 1,2mm; 5 lâminas;	• n=1599 • V_f=6496 • ae= 7 • ap= 0,4 Sobreespessura: • 0,3 xy • 0,15 z Limites: • Z(-46; -0,01) Offsets: (16,3;29,34)
2	Contorno Z	Roca 25 mm; raio 2 mm; 3 lâminas;	• n= 2999 • V_f= 4000 • ae= 5 • ap= 0,3 Sobreespessura: • 0,2 xy • 0,15 z Limites:

			• Z(-46; -0,01)
3	Rest Passos Contorno Z	Fresa 12; raio 0;5;	• n= 1799 • V_f= 2499 • ae= 2,4 • ap= 0,15 Sobreespessura: • 0,2 xy • 0,15 z Limites: Z(-46; -0,01)
4	Contorno Z	Fresa 13,45; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,69 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,15 xy • 0 z Limites: Z(-20; -20)
5	Contorno Z	Fresa 13,45; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,69 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,1 xy • 0 z Limites: Z(-20; -20)
6	Contorno Z	Fresa 13,45; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,69 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,05 xy • 0 z Limites: Z(-20; -20)
7	Contorno Z	Fresa 13,45; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,69 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites:

			• Z(-20; -20)
8	Contorno Z	Fresa 13,45; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,69 • ap= 0,1 Sobreespessura: • -0,05 xy • 0 z Limites: • Z(-20; -20)
9	Contorno Z	Fresa 13,45; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,69 • ap= 0,1 Sobreespessura: • -0,1 xy • 0 z Limites: • Z(-20; -20)
10	Contorno Z	Fresa 13,45; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,69 • ap= 0,1 Sobreespessura: • -0,15 xy • 0 z Limites: • Z(-20; -20)
11	Contorno Z	Fresa 13,45; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,69 • ap= 0,1 Sobreespessura: • -0,2 xy • 0 z Limites: • Z(-20; -20))
12	Contorno Z	Fresa 13,45; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,69 • ap= 0,1 Sobreespessura: • -0,25 xy • 0 z Limites:

			• Z(-20; -20)
13	Contorno Z	Fresa 13,45; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,69 • ap= 0,1 Sobreespessura: • -0,3 xy • 0 z Limites: • Z(-20; -20)
14	Contorno Z	Fresa 13,45; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,69 • ap= 0,1 Sobreespessura: • -0,35 xy • 0 z Limites: • Z(-20; -20)
15	Contorno Z	Fresa 13,45; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,69 • ap= 0,1 Sobreespessura: • -0,4 xy • 0 z Limites: Z(-20; -20)
16	Contorno Z	Fresa 13,45; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,69 • ap= 0,1 Sobreespessura: • -0,45 xy • 0 z Limites: • Z(-20; -20)
17	Área Horizontal	Fresa 13,45; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 1000 • ae= 2,69 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,5 xy • 0,15 z Limites:

			• Z(-46; -0,01)
18	Área Horizontal	Fresa 13,45; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 1000 • ae= 2,69 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,5 xy • 0,1 z Limites: • Z(-46; -0,01)
19	Área Horizontal	Fresa 13,45; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 1000 • ae= 2,69 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,5 xy • 0,05 z Limites: • Z(-46; -0,01)
20	Área Horizontal	Fresa 14,7; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,94 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,2 xy • 0 z Limites: • Z(-45,9; -45,9)
21	Área Horizontal	Fresa 14,7; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,94 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,15 xy • 0 z Limites: • Z(-45,9; -45,9)
22	Área Horizontal	Fresa 14,7; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,94 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,1 xy • 0 z Limites:

			• Z(-45,9; -45,9)
23	Área Horizontal	Fresa 14,7; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,94 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,05 xy • 0 z Limites: • Z(-45,9; -45,9)
24	Área Horizontal	Fresa 14,7; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,94 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: • Z(-45,9; -45,9)
25	Área Horizontal	Fresa 14,7; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,94 • ap= 0,1 Sobreespessura: • -0,035 xy • 0 z Limites: • Z(-45,9; -45,9)
26	Contorno	Fresa 14,7; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,94 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,15 xy • 0 z Limites: • Z(-26,69; -26,69)
27	Contorno	Fresa 14,7; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,94 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,05 xy • 0 z Limites:

			• Z(-26,69; -26,69)
28	Contorno	Fresa 14,7; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,94 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,0 xy • 0 z Limites: • Z(-26,69; -26,69)
29	Contorno	Fresa 14,7; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,94 • ap= 0,1 Sobreespessura: • -0,035 xy • 0 z Limites: • Z(-26,69; -26,69)
30	Contorno	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,15 xy • 0 z Limites: • Z(-26,69; -26,69)
31	Contorno	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,05 xy • 0 z Limites: • Z(-26,69; -26,69)
32	Contorno	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites:

			• Z(-26,69; -26,69)
33	Contorno	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 0,1 Sobreespessura: • -0,035 xy • 0 z Limites: • Z(-26,69; -26,69)
34	Contorno	Fresa 14,7 ; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,94 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,15 xy • 0 z Limites: • Z(-35,69; -35,69)
35	Contorno	Fresa 14,7 ; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,94 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,05 xy • 0 z Limites: • Z(-35,69; -35,69)
36	Contorno	Fresa 14,7 ; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,94 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: • Z(-35,69; -35,69)
37	Contorno	Fresa 14,7 ; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,94 • ap= 0,1 Sobreespessura: • -0,035 xy • 0 z Limites:

			• Z(-35,69; -35,69)
38	Contorno	Fresa 14,7 ; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,94 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,15 xy • 0 z Limites: • Z(-45,9; -45,9)
39	Contorno	Fresa 14,7 ; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,94 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,05 xy • 0 z Limites: • Z(-45,9; -45,9)
40	Contorno	Fresa 14,7 ; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,94 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: • Z(-45,9; -45,9)
41	Contorno	Fresa 14,7 ; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,94 • ap= 0,1 Sobreespessura: • -0,035 xy • 0 z Limites: • Z(-45,9; -45,9)
42	Área Horizontal	Fresa 14,7 ; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 600 • ae= 2,94 • ap= 2,94 Sobreespessura: • 0,2 xy • 0 z Limites:

			• Z(-76,2; -0,01) Offsets: (7,35;13,23)
43	Cópia	Fresa 3 ; raio 1,5; ângulo 45 graus	• n= 6000 • V_f= 2000 • ae= 0,15 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: • Z(-76,2; 0)
44	Cópia	Fresa 3 ; raio 1,5; ângulo - 45 graus	• n= 6000 • V_f= 2000 • ae= 0,15 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: • Z(-76,2; 0)
45	Contorno Z	Fresa 13,45 ; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,69 • ap= 0,1 Sobreespessura: • -0,05 xy • 0 z Limites: • Z(-20; -20)
46	Contorno Z	Fresa 13,45 ; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,69 • ap= 0,1 Sobreespessura: • -0,55 xy • 0 z Limites: Z(-20; -20)
47	Contorno Z	Fresa 13,45 ; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,69 • ap= 0,1 Sobreespessura: • -0,60 xy • 0 z

			Limites: Z(-20; -20)
48	Contorno Z	Fresa 13,45 ; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,69 • ap= 0,1 Sobreespessura: • -0,65 xy • 0 z Limites: Z(-20; -20)
49	Contorno Z	Fresa 13,45 ; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,69 • ap= 0,1 Sobreespessura: • -0,70 xy • 0 z Limites: Z(-20; -20)
50	Contorno Z	Fresa 13,45 ; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,69 • ap= 0,1 Sobreespessura: • -0,75 xy • 0 z Limites: Z(-20; -20)
51	Contorno Z	Fresa 13,45 ; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,69 • ap= 0,1 Sobreespessura: • -0,80 xy • 0 z Limites: Z(-20; -20)
52	Contorno Z	Fresa 13,45 ; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,69 • ap= 0,1 Sobreespessura: • -0,85 xy • 0 z

			Limites: Z(-20; -20)
53	Contorno Z	Fresa 13,45 ; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,69 • ap= 0,1 Sobreespessura: • -0,90 xy • 0 z Limites: Z(-20; -20)
54	Contorno Z	Fresa 13,45 ; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,69 • ap= 0,1 Sobreespessura: • -0,95 xy • 0 z Limites: Z(-20; -20)
55	Contorno Z	Fresa 13,45 ; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,69 • ap= 0,1 Sobreespessura: • -1,0 xy • 0 z Limites: Z(-20; -20)
56	Contorno Z	Fresa 14,7 ; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,94 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,15 xy • 0 z Limites: Z(-45,9; -45,9)
57	Contorno Z	Fresa 14,7 ; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,94 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,05 xy • 0 z

			Limites: Z(-45,9; -45,9)
58	Contorno Z	Fresa 14,7 ; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,94 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: Z(-45,9; -45,9)
59	Contorno Z	Fresa 14,7 ; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,94 • ap= 0,1 Sobreespessura: • -0,035 xy • 0 z Limites: • Z(-45,9; -45,9)
60	Área Horizontal	Fresa 14,7 ; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,94 • ap= 2,94 Sobreespessura: • 0,2 xy • 0 z Limites: • Z(-76,2; -0,01) Offsets: • (7,35; 13,23)
61	Cópia	Fresa 3 ; raio 1,5; ângulo 45 graus	• n= 6000 • V_f= 2000 • ae= 0,15 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: • Z(-76,2; 0)
62	Cópia	Fresa 3 ; raio 1,5; ângulo - 45 graus	• n= 6000 • V_f= 2000 • ae= 0,15 • ap= 0,1 Sobreespessura:

			• 0 xy • 0 z Limites: • Z(-76,2; 0)

Peça: 009-074-3			
Características Geométricas da caixa:		• 296X496X66,20 • Raio 26 mm	
Nº Operação	Tipo de Operação	Ferramenta	Parâmetros utilizados
1	Desbaste	Roca 25 mm; raio 2mm; 2 lâminas;	• n=2300 • V_f=4000 • ae= 5 • ap= 0,3 Sobreespessura: • 0,2 xy • 0,2 z Limites: • Z(-66,2; -0,01) Offsets: (10,5;18,9)
2	Contorno Z	Roca 10 mm; raio 0 mm; 2 lâminas;	• n= 2000 • V_f= 400 • ae= 2 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,2 xy • 0,2 z Limites: • Z(-66,2; -0,01)
3	Área Horizontal	Fresa 10; raio 0; 2 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,2 xy • 0,1 z Limites: Z(-66,2; -0,5) Offsets: (5;9)
4	Área Horizontal	Fresa 10; raio 0; 2 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2 • ap= 0,1 Sobreespessura:

			• 0,1 xy • 0,1 z Limites: Z(-66,2; -0,5) Offsets: (5;9)
5	Área Horizontal	Fresa 12; raio 0; 2 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,4 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,2 xy • 0 z Limites: Z(-66,2; -0,5) Offsets: (6;10,8)
6	Área Horizontal	Fresa 12; raio 0; 2 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,4 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: Z(-66,2; -0,5) Offsets: (6;10,8)
7	Área Horizontal	Fresa 12; raio 0; 2 dentes	• n= 2000 • V_f= 800 • ae= 2,4 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: Z(-66,2; -0,5) • Offsets: (6;10,8)

Peça: 009-077-3			
Características Geométricas da caixa:		• Raio 16 mm	
Nº Operação	Tipo de Operação	Ferramenta	Parâmetros utilizados
1	Desbaste	Roca 35 mm; raio 2mm; 5 lâminas;	• n=1500 • V_f=5000 • ae= 0,4 • ap= 0,4

			Sobreespessura: • 0,5 xy • 0,3 z Limites: • Z(-105; -0,01) Offsets: (15,5;27,9)
2	Desbaste	Roca 35 mm; raio 2mm; 5 lâminas;	• n=1500 • V_f=6000 • ae= 0,5 • ap= 0,4 Sobreespessura: • 0,5 xy • 0,3 z Limites: • Z(-78,41; -0,01) • Offsets: (15,5;27,9)
3	Contorno Z	Fresa 16; raio 0,8; 2 dentes	• n= 2500 • V_f= 3000 • ae= 3,2 • ap= 0,2 Sobreespessura: • 0,3 xy • 0,2 z Limites: Z(-136,2; -0,01)
4	Contorno Z	Fresa 10; raio 0; 4 dentes	• n= 2000 • V_f= 2000 • ae= 2 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,3 xy • 0,2 z Limites: Z(-73; -0,01)
5	Contorno Z	Fresa 16; raio 0; 4 dentes	• n= 1800 • V_f= 1000 • ae= 0,1 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,3 xy • 0 z Limites: Z(-45; -45)
6	Contorno Z	Fresa 16; raio 0; 4 dentes	• n= 1800 • V_f= 1000

			• ae= 0,1 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,2 xy • 0 z Limites: Z(-45; -45)
7	Contorno Z	Fresa 16; raio 0; 4 dentes	• n= 1800 • V_f= 1000 • ae= 0,1 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,1 xy • 0 z Limites: • Z(-45; -45)
8	Contorno Z	Fresa 16; raio 0; 4 dentes	• n= 1800 • V_f= 1000 • ae= 0,1 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: • Z(-45; -45)
9	Contorno Z	Fresa 15,9; raio 0; 4 dentes	• n= 1800 • V_f= 1000 • ae= 0,1 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: • Z(-45; -45)
10	Contorno Z	Fresa 15,8; raio 0; 4 dentes	• n= 1800 • V_f= 1000 • ae= 0,1 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: • Z(-45; -45)
11	Contorno Z	Fresa 15,7; raio 0; 4 dentes	• n= 1800 • V_f= 1000

			• ae= 0,1 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: • Z(-45; -45)
12	Área Horizontal	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 1000 • ae= 0,01 • ap= 0,08 Sobreespessura: • 0,5 xy • 0,3 z Limites: • Z(-85; 0,01)
13	Área Horizontal	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 1000 • ae= 0,01 • ap= 0,08 Sobreespessura: • 0,4 xy • 0,3 z Limites: • Z(-85; 0,01)
14	Área Horizontal	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 1000 • ae= 0,01 • ap= 0,08 Sobreespessura: • 0,3 xy • 0,3 z Limites: • Z(-85; 0,01)
15	Área Horizontal	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 1000 • ae= 0,01 • ap= 0,08 Sobreespessura: • 0,2 xy • 0,2 z Limites: Z(-85; 0,01)
16	Área Horizontal	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 1000

			• ae= 0,01 • ap= 0,08 Sobreespessura: • 0,1 xy • 0,1 z Limites: • Z(-85; 0,01)
17	Área Horizontal	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 1000 • ae= 0,01 • ap= 0,08 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: • Z(-85; 0,01)
18	Área Horizontal	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 1000 • ae= 0,01 • ap= 0,08 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: • Z(-85; 0,01)
19	Cópia	Fresa 8 ; raio 4; ângulo - 45 graus	• n= 2500 • V_f= 1500 • ae= 0,1 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: • Z(-136,2; 0,1)
20	Contorno Z	Fresa 16; raio 0; 4 dentes	• n= 1800 • V_f= 1000 • ae= 0,1 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,3 xy • 0 z Limites: • Z(-45; -45)
21	Contorno Z	Fresa 16; raio 0; 4 dentes	• n= 1800 • V_f= 1000

			• ae= 0,1 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,2 xy • 0 z Limites: • Z(-45; -45)
22	Contorno Z	Fresa 16; raio 0; 4 dentes	• n= 1800 • V_f= 1000 • ae= 0,1 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0,1 xy • 0 z Limites: • Z(-45; -45)
23	Contorno Z	Fresa 16; raio 0; 4 dentes	• n= 1800 • V_f= 1000 • ae= 0,1 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: • Z(-45; -45)
24	Contorno Z	Fresa 15,9; raio 0; 4 dentes	• n= 1800 • V_f= 1000 • ae= 0,1 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: • Z(-45; -45)
25	Contorno Z	Fresa 15,8; raio 0; 4 dentes	• n= 1800 • V_f= 1000 • ae= 0,1 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: • Z(-45; -45)
26	Contorno Z	Fresa 15,7; raio 0; 4 dentes	• n= 1800 • V_f= 1000

			• ae= 0,1 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: • Z(-45; -45)
27	Área Horizontal	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 1000 • ae= 0,01 • ap= 0,08 Sobreespessura: • 0,5 xy • 0,3 z Limites: • Z(-85; 0,01) Offsets: (10;18)
28	Área Horizontal	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 1000 • ae= 0,01 • ap= 0,08 Sobreespessura: • 0,4 xy • 0,3 z Limites: • Z(-85; 0,01) • Offsets: (10;18)
29	Área Horizontal	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 1000 • ae= 0,01 • ap= 0,08 Sobreespessura: • 0,3 xy • 0,3 z Limites: • Z(-85; 0,01) • Offsets: (10;18)
30	Área Horizontal	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 1000 • ae= 0,01 • ap= 0,08 Sobreespessura: • 0,2 xy • 0,2 z Limites:

			• Z(-85; 0,01) • Offsets: (10;18)
31	Área Horizontal	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 1000 • ae= 0,01 • ap= 0,08 Sobreespessura: • 0,1 xy • 0,1 z Limites: • Z(-85; 0,01) • Offsets: (10;18)
32	Área Horizontal	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 1000 • ae= 0,01 • ap= 0,08 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: • Z(-85; 0,01) • Offsets: (10;18)
33	Área Horizontal	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 1000 • ae= 0,01 • ap= 0,08 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: • Z(-85; 0,01) • Offsets: (10;18)
34	Cópia	Fresa 8 ; raio 4; ângulo - 45 graus	• n= 2500 • V_f= 1500 • ae= 0,1 • ap= 0,1 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: • Z(-136,2; 0,1)
35	Contorno Z	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4

			Sobreespessura: • 0,5 xy • 0 z Limites: • Z(-104,7; -104,7)
36	Contorno Z	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4 Sobreespessura: • 0,45 xy • 0 z Limites: • Z(-104,7; -104,7)
37	Contorno Z	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4 Sobreespessura: • 0,4 xy • 0 z Limites: • Z(-104,7; -104,7)
38	Contorno Z	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4 Sobreespessura: • 0,35 xy • 0 z Limites: • Z(-104,7; -104,7)
39	Contorno Z	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4 Sobreespessura: • 0,3 xy • 0 z Limites: • Z(-104,7; -104,7)
40	Contorno Z	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4

			Sobreespessura: • 0,25 xy • 0 z Limites: • Z(-104,7; -104,7)
41	Contorno Z	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4 Sobreespessura: • 0,2 xy • 0 z Limites: • Z(-104,7; -104,7)
42	Desbaste	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4 Sobreespessura: • 0,3 xy • 0 z Limites: • Z(-104,75; -104,75) Offsets: (10;18)
43	Desbaste	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4 Sobreespessura: • 0,3 xy • 0 z Limites: • Z(-104,8; -104,8) • Offsets: (10;18)
44	Desbaste	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4 Sobreespessura: • 0,3 xy • 0 z Limites: • Z(-104,85; -104,85) • Offsets: (10;18)

45	Desbaste	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4 Sobreespessura: • 0,3 xy • 0 z Limites: • Z(-104,9; -104,9) • Offsets: (10;18)
46	Desbaste	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4 Sobreespessura: • 0,3 xy • 0 z Limites: • Z(-104,95; -104,95) • Offsets: (10;18)
47	Desbaste	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4 Sobreespessura: • 0,3 xy • 0 z Limites: • Z(-104,99; -104,99) • Offsets: (10;18)
48	Contorno Z	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4 Sobreespessura: • 0,15 xy • 0 z Limites: • Z(-104,7; -104,7)
49	Contorno Z	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4 Sobreespessura: • 0,1 xy

			• 0 z Limites: • Z(-104,7; -104,7)
50	Contorno Z	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4 Sobreespessura: • 0,05 xy • 0 z Limites: • Z(-104,7; -104,7)
51	Contorno Z	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: • Z(-104,7; -104,7)
52	Contorno Z	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: • Z(-104,7; -104,7)
53	Contorno Z	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: • Z(-104,7; -104,7)
54	Desbaste	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4 Sobreespessura: • 0,3 xy

			• 0 z Limites: • Z(-104,75; -104,75) • Offsets: (10;18)
55	Desbaste	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4 Sobreespessura: • 0,3 xy • 0 z Limites: • Z(-104,8; -104,8) • Offsets: (10;18)
56	Desbaste	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4 Sobreespessura: • 0,3 xy • 0 z Limites: • Z(-104,85; -104,85) • Offsets: (10;18)
57	Desbaste	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4 Sobreespessura: • 0,3 xy • 0 z Limites: • Z(-104,9; -104,9) • Offsets: (10;18)
58	Desbaste	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4 Sobreespessura: • 0,3 xy • 0 z Limites: • Z(-104,95; -104,95) • Offsets: (10;18)

59	Desbaste	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4 Sobreespessura: • 0,3 xy • 0 z Limites: • Z(-104,99; -104,99) • Offsets: (10;18)
60	Contorno Z	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4 Sobreespessura: • 0,15 xy • 0 z Limites: • Z(-104,7; -104,7)
61	Contorno Z	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4 Sobreespessura: • 0,1 xy • 0 z Limites: • Z(-104,7; -104,7)
62	Contorno Z	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4 Sobreespessura: • 0,05 xy • 0 z Limites: • Z(-104,7; -104,7)
63	Contorno Z	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites:

			• Z(-104,7; -104,7)
64	Contorno Z	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: • Z(-104,7; -104,7)
65	Contorno Z	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: • Z(-104,7; -104,7)
66	Desbaste	Fresa 20; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 4 • ap= 4 Sobreespessura: • 0,3 xy • 0 z Limites: • Z(-104,99; -104,99) • Offsets: (10;18)
67	Desbaste	Fresa 19,95; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 3,99 • ap= 3,99 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: • Z(-104,8; -104,8) • Offsets: (10;18)
68	Desbaste	Fresa 19,95; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 3,99 • ap= 3,99 Sobreespessura: • 0 xy

			• 0 z Limites: • Z(-104,8; -104,8) • Offsets: (10;18)
69	Contorno Z	Fresa 19,99; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 3,98 • ap= 3,98 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: • Z(-104,8; -104,8)
70	Contorno Z	Fresa 19,99; raio 0; 4 dentes	• n= 1600 • V_f= 800 • ae= 3,98 • ap= 3,98 Sobreespessura: • 0 xy • 0 z Limites: • Z(-104,8; -104,8)

6.3 Anexo 3 – Primeiro grupo de Procedimentos

Procedimento 1					Standarmoldes
Operação		**Ferramenta**	**Parâmetros de Corte**	**Sob espessura**	**Limites Z**
1	Desbaste	Roca 35 mm **Ref. Standarmoldes: MXG/1/JC8118**	**n:** 1600 rpm **Vf:** 6500 mm/min **ap:** 0,5 mm	**Plano xy:** 0,3 mm **Cota z:** 0,3 mm	Usar intervalo desde a superfície até à cota total se um dos lados for igual ou superior a 42 mm
2	Contorno em Z	Roca 25 mm **Ref. Standarmoldes: MSH/1/JC5040**	**n:** 2300 rpm **Vf:** 3000 mm/min **ap:** 0,3 mm	**Plano xy:** 0,2 mm **Cota z:** 0,2 mm	Usar cota total da caixa.
Se a caixa tem cantos superiores a **12,5 mm** fazer operação **4**, se os cantos forem inferiores a **12,5 mm** fazer operação **3.**					
3	Rest redução cantos	Roca 16 mm **Ref. Standarmoldes: MPM/2/JC8118**	**n:** 2500 rpm **Vf:** 2000 mm/min **ap:** 0,2 mm	**Plano xy:** 0,2 mm **Cota z:** 0,2 mm	Usar cota total da caixa.
4	Área Horizontal	Fresa reta 20 mm **Ref. Standarmoldes: MM/20**	**n:** 1600 rpm **Vf:** 700 mm/min **ap:** 0,1	**Plano xy:** 0,3 mm **Cota z:** 0 mm	Usar cota total da caixa com +/- 0,1 mm.
Se a profundidade da caixa for igual ou inferior a **48 mm** usar fresa **16mm** se for superior a **48 mm** usar fresa de **20 mm**.					
5	Contorno em Z	Fresa reta 16 mm **Ref. Standarmoldes: MM/16**	**n:** 1600 rpm **Vf:** 700 mm/min **ap:** 48 mm	**Plano xy:** 0,2 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
		Fresa reta 20 mm	**n:** 1600 rpm	**Plano xy:**	Usar valor **ap**.

		Ref. Standarmoldes: MM/20	**Vf:** 700 mm/min **ap:** 60 mm	0,2 mm **Cota z:** 0,05 mm	
6	Contorno em Z	Fresa reta 16 mm **Ref. Standarmoldes: MM/16**	**n:** 1600 rpm **Vf:** 700 mm/min **ap:** 48 mm	**Plano xy:** 0,1 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
		Fresa reta 20 mm **Ref. Standarmoldes: MM/20**	**n:** 1600 rpm **Vf:** 700 mm/min **ap:** 60 mm	**Plano xy:** 0,1 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
7	Contorno em Z	Fresa reta 16 mm **Ref. Standarmoldes: MM/16**	**n:** 1600 rpm **Vf:** 700 mm/min **ap:** 48 mm	**Plano xy:** 0 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
		Fresa reta 20 mm **Ref. Standarmoldes: MM/20**	**n:** 1600 rpm **Vf:** 700 mm/min **ap:** 60 mm	**Plano xy:** 0 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
8	Contorno em Z	Fresa reta 16 mm **Ref. Standarmoldes: MM/16**	**n:** 1600 rpm **Vf:** 700 mm/min **ap:** 48 mm	**Plano xy:** 0 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
		Fresa reta 20 mm **Ref. Standarmoldes: MM/20**	**n:** 1600 rpm **Vf:** 700 mm/min **ap:** 60 mm	**Plano xy:** 0 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.

Procedimento 2					Standarmoldes
Operação		**Ferramenta**	**Parâmetros de Corte**	**Sob espessura**	**Limites Z**
1	Desbaste	Roca 35 mm **Ref. Standarmoldes: MXG/1/JC8118**	**n:** 1600 rpm **Vf:** 6500 mm/min **ap:** 0,5 mm	**Plano xy:** 0,3 mm **Cota z:** 0,3 mm	Usar intervalo desde a superfície até à cota total se um dos lados for igual ou superior a 42 mm
2	Contorno em Z	Roca 25 mm **Ref. Standarmoldes: MSH/1/JC5040**	**n:** 2300 rpm **Vf:** 3000 mm/min **ap:** 0,3 mm	**Plano xy:** 0,2 mm **Cota z:** 0,2 mm	Usar cota total da caixa.
Se a caixa tem cantos superiores a **12,5 mm** fazer operação **4**, se os cantos forem inferiores a **12,5 mm** fazer operação **3.**					
3	Rest redução cantos	Roca 16 mm **Ref. Standarmoldes: MPM/2/JC8118**	**n:** 2500 rpm **Vf:** 2000 mm/min **ap:** 0,2 mm	**Plano xy:** 0,2 mm **Cota z:** 0,2 mm	Usar cota total da caixa.
4	Área Horizontal	Fresa reta 20 mm **Ref. Standarmoldes: MM/20**	**n:** 1600 rpm **Vf:** 700 mm/min **ap:** 0,1 mm	**Plano xy:** 0,3 mm **Cota z:** 0 mm	Usar cota total da caixa com +/- 0,1 mm.
5	Cópia Perpendicular	Fresa esférica **Ref. WIDIN: DB514160**	**n:** 1370 rpm **Vf:** 690 mm/min **ae:** 0,2 mm	**Plano xy:** 0 mm **Cota z:** 0 mm	Usar cota total da rampa.
Se o raio da rampa for **inferior a 8**, fazer **passo 6**, se for **superior** avançar para o **passo 7**.					
6	Cópia Perpendicular	Fresa esférica **Ref. WIDIN: DB514080**	**n:** 2630 rpm **Vf:** 715 mm/min **ae:** 0,15 mm	**Plano xy:** 0 mm **Cota z:** 0 mm	Usar cota total da rampa e limitar percurso de maquinação aos raios da rampa.
Se a profundidade da caixa for igual ou inferior a **48 mm** usar fresa **16mm** se for superior a **48 mm** usar fresa de **20 mm**.					
7	Contorno em Z	Fresa reta 16 mm **Ref. Standarmoldes: MM/16**	**n:** 1600 rpm **Vf:** 700 mm/min **ap:** 48 mm	**Plano xy:** 0,2 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
		Fresa reta 20 mm **Ref. Standarmoldes: MM/20**	**n:** 1600 rpm **Vf:** 700 mm/min **ap:** 60 mm	**Plano xy:** 0,2 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
8	Contorno em Z	Fresa reta 16 mm **Ref. Standarmoldes: MM/16**	**n:** 1600 rpm **Vf:** 700 mm/min **ap:** 48 mm	**Plano xy:** 0,1 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.

		Fresa reta 20 mm **Ref. Standarmoldes: MM/20**	**n:** 1600 rpm **Vf:** 700 mm/min **ap:** 60 mm	**Plano xy:** 0,1 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
9	Contorno em Z	Fresa reta 16 mm **Ref. Standarmoldes: MM/16**	**n:** 1600 rpm **Vf:** 700 mm/min **ap:** 48 mm	**Plano xy:** 0 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
		Fresa reta 20 mm **Ref. Standarmoldes: MM/20**	**n:** 1600 rpm **Vf:** 700 mm/min **ap:** 60 mm	**Plano xy:** 0 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
10	Contorno em Z	Fresa reta 16 mm **Ref. Standarmoldes: MM/16**	**n:** 1600 rpm **Vf:** 700 mm/min **ap:** 48 mm	**Plano xy:** 0 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
		Fresa reta 20 mm **Ref. Standarmoldes: MM/20**	**n:** 1600 rpm **Vf:** 700 mm/min **ap:** 60 mm	**Plano xy:** 0 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.

6.4 Anexo 4 – Segundo grupo de Procedimentos

Procedimento 1					Standarmoldes
Operação		**Ferramenta**	**Parâmetros de Corte**	**Tolerância/ Espessura**	**Limites Z**
1	Desbaste	Roca 35 mm **Ref. Standarmoldes: MXG/1/JC8118**	**n:** 955 rpm **Vf:** 5730 mm/min **ap:** 0,5 mm **ae:** 25mm	**Plano xy:** 0,3 mm **Cota z:** 0,3 mm	Usar intervalo desde a superfície até à cota total se um dos lados for igual ou superior a 42 mm
2	Contorno em Z	Roca 25 mm **Ref. Standarmoldes: MSH/1/JC5040**	**n:** 1150 rpm **Vf:** 3450mm/min **ap:** 0,5 mm **ae:** 0,1 mm	**Plano xy:** 0,2 mm **Cota z:** 0,2 mm	Usar cota total da caixa.
Se a caixa tem cantos superiores a **12,5 mm** fazer operação **4**, se os cantos forem inferiores a **12,5 mm** fazer operação **3.**					
3	Rest redução cantos	Roca 16 mm **Ref. Standarmoldes: MPM/2/JC8118**	**n:** 1095 rpm **Vf:** 3940 mm/min **ap:** 0,5 mm **ae:** 0,1 mm	**Plano xy:** 0,2 mm **Cota z:** 0,2 mm	Usar cota total da caixa.
4	Área Horizontal	Fresa reta 20 mm **Ref. Standarmoldes: MM/20**	**n:** 2388 rpm **Vf:** 755 mm/min **ap:** 0,1 **ae:** 2	**Plano xy:** 0,5 mm **Cota z:** 0 mm	Usar cota total da caixa.
Se a profundidade da caixa for igual ou inferior a **48 mm** usar fresa **16mm** se for superior a **48 mm** usar fresa de **20 mm**.					
5	Contorno em Z	Fresa reta 16 mm **Ref. Standarmoldes: MM/16**	**n:** 2984 rpm **Vf:** 788 mm/min **ap:** 48 mm **ae:** 0,1mm	**Plano xy:** 0,2 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
		Fresa reta 20 mm **Ref. Standarmoldes: MM/20**	**n:** 2388 rpm **Vf:** 755 mm/min **ap:** 60 mm **ae:** 0,1mm	**Plano xy:** 0,2 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
6	Contorno em Z	Fresa reta 16 mm **Ref. Standarmoldes: MM/16**	**n:** 2984 rpm **Vf:** 788 mm/min **ap:** 48 mm **ae:** 0,1mm	**Plano xy:** 0,1 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
		Fresa reta 20 mm **Ref. Standarmoldes: MM/20**	**n:** 2388 rpm **Vf:** 755 mm/min **ap:** 60 mm **ae:** 0,1mm	**Plano xy:** 0,1 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
7	Contorno em Z	Fresa reta 16 mm **Ref. Standarmoldes: MM/16**	**n:** 2984 rpm **Vf:** 788 mm/min **ap:** 48 mm **ae:** 0 mm	**Plano xy:** 0,1 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
		Fresa reta 20 mm	**n:** 2388 rpm **Vf:** 755 mm/min	**Plano xy:** 0,1 mm	Usar valor **ap**.

		Ref. Standarmoldes: MM/20	**ap:** 60 mm **ae:** 0 mm	**Cota z:** 0,05 mm	
8	Contorno em Z	Fresa reta 16 mm **Ref. Standarmoldes: MM/16**	**n:** 2984 rpm **Vf:** 788 mm/min **ap:** 48 mm **ae:** 0,1mm	**Plano xy:** 0 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
		Fresa reta 20 mm **Ref. Standarmoldes: MM/20**	**n:** 2388 rpm **Vf:** 755 mm/min **ap:** 60 mm **ae:** 0,1mm	**Plano xy:** 0 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.

Procedimento 2					Standarmoldes
Operação		**Ferramenta**	**Parâmetros de Corte**	**Tolerância/ Espessura**	**Limites Z**
1	Desbaste	Roca 35 mm **Ref. Standarmoldes: MXG/1/JC8118**	**n:** 955 rpm **Vf:** 5730 mm/min **ap:** 0,5 mm **ae:** 25mm	**Plano xy:** 0,3 mm **Cota z:** 0,3 mm	Usar intervalo desde a superfície até à cota total se um dos lados for igual ou superior a 42 mm
2	Contorno em Z	Roca 25 mm **Ref. Standarmoldes: MSH/1/JC5040**	**n:** 1150 rpm **Vf:** 3450mm/min **ap:** 0,5 mm **ae:** 0,1 mm	**Plano xy:** 0,2 mm **Cota z:** 0,2 mm	Usar cota total da caixa.
Se a caixa tem cantos superiores a **12,5 mm** fazer operação **4**, se os cantos forem inferiores a **12,5 mm** fazer operação **3.**					
3	Rest redução cantos	Roca 16 mm **Ref. Standarmoldes: MPM/2/JC8118**	**n:** 1095 rpm **Vf:** 3940 mm/min **ap:** 0,5 mm **ae:** 0,1 mm	**Plano xy:** 0,2 mm **Cota z:** 0,2 mm	Usar cota total da caixa.
4	Área Horizontal	Fresa reta 20 mm **Ref. Standarmoldes: MM/20**	**n:** 2388 rpm **Vf:** 755 mm/min **ap:** 0,1 **ae:** 2	**Plano xy:** 0,5 mm **Cota z:** 0 mm	Usar cota total da caixa.
5	Cópia Perpendicular	Fresa esférica **Ref. WIDIN: DB514160**	**n:** 1370 rpm **Vf:** 690 mm/min **ap:** 0,1 **ae:** 0,3	**Plano xy:** 0,5 mm **Cota z:** 0 mm	Usar cota total da rampa.
Se o raio da rampa for **inferior a 8**, fazer **passo 6**, se for **superior** avançar para o **passo 7**.					
6	Cópia Perpendicular	Fresa esférica **Ref. WIDIN: DB514080**	**n:** 2630 rpm **Vf:** 715 mm/min **ap:** 0,1 **ae:** 0,3	**Plano xy:** 0,5 mm **Cota z:** 0 mm	Usar cota total da rampa e limitar percurso de maquinação aos cantos da rampa.
Se a profundidade da caixa for igual ou inferior a **48 mm** usar fresa **16mm** se for superior a **48 mm** usar fresa de **20 mm**.					
7	Contorno em Z	Fresa reta 16 mm **Ref. Standarmoldes: MM/16**	**n:** 2984 rpm **Vf:** 788 mm/min **ap:** 48 mm **ae:** 0,1mm	**Plano xy:** 0,2 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
		Fresa reta 20 mm **Ref. Standarmoldes: MM/20**	**n:** 2388 rpm **Vf:** 755 mm/min **ap:** 60 mm **ae:** 0,1mm	**Plano xy:** 0,2 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
8	Contorno em Z	Fresa reta 16 mm **Ref. Standarmoldes: MM/16**	**n:** 2984 rpm **Vf:** 788 mm/min **ap:** 48 mm	**Plano xy:** 0,1 mm **Cota z:**	Usar valor **ap**.

			ae: 0,1mm	0,05 mm	
		Fresa reta 20 mm **Ref. Standarmoldes: MM/20**	**n:** 2388 rpm **Vf:** 755 mm/min **ap:** 60 mm **ae:** 0,1mm	**Plano xy:** 0,1 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
9	Contorno em Z	Fresa reta 16 mm **Ref. Standarmoldes: MM/16**	**n:** 2984 rpm **Vf:** 788 mm/min **ap:** 48 mm **ae:** 0 mm	**Plano xy:** 0,1 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
		Fresa reta 20 mm **Ref. Standarmoldes: MM/20**	**n:** 2388 rpm **Vf:** 755 mm/min **ap:** 60 mm **ae:** 0 mm	**Plano xy:** 0,1 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
10	Contorno em Z	Fresa reta 16 mm **Ref. Standarmoldes: MM/16**	**n:** 2984 rpm **Vf:** 788 mm/min **ap:** 48 mm **ae:** 0,1mm	**Plano xy:** 0 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
		Fresa reta 20 mm **Ref. Standarmoldes: MM/20**	**n:** 2388 rpm **Vf:** 755 mm/min **ap:** 60 mm **ae:** 0,1mm	**Plano xy:** 0 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.

Procedimento 3					Standarmoldes
Operação		**Ferramenta**	**Parâmetros de Corte**	**Tolerância/ Espessura**	**Limites Z**
1	Desbaste	Roca 35 mm **Ref. Standarmoldes: MXG/1/JC8118**	**n:** 1432 rpm **Vf:** 8595 mm/min **ap:** 0,5 mm **ae:** 25mm	**Plano xy:** 0,3 mm **Cota z:** 0,3 mm	Usar intervalo desde a superfície até à cota total se um dos lados for igual ou superior a 42 mm
2	Contorno em Z	Roca 25 mm **Ref. Standarmoldes: MSH/1/JC5040**	**n:** 1725 rpm **Vf:** 5175 mm/min **ap:** 0,5 mm **ae:** 0,1 mm	**Plano xy:** 0,2 mm **Cota z:** 0,2 mm	Usar cota total da caixa.
Se a caixa tem cantos superiores a **12,5 mm** fazer operação **4**, se os cantos forem inferiores a **12,5 mm** fazer operação **3.**					
3	Rest redução cantos	Roca 16 mm **Ref. Standarmoldes: MPM/2/JC8118**	**n:** 1642 rpm **Vf:** 5910 mm/min **ap:** 0,5 mm **ae:** 0,1 mm	**Plano xy:** 0,2 mm **Cota z:** 0,2 mm	Usar cota total da caixa.
4	Área Horizontal	Fresa reta 20 mm **Ref. Standarmoldes: MM/20**	**n:** 3581 rpm **Vf:** 1132 mm/min **ap:** 0,1 **ae:** 2	**Plano xy:** 0,5 mm **Cota z:** 0 mm	Usar cota total da caixa.
Se a profundidade da caixa for igual ou inferior a **48 mm** usar fresa **16mm** se for superior a **48 mm** usar fresa de **20 mm**.					
5	Contorno em Z	Fresa reta 16 mm **Ref. Standarmoldes: MM/16**	**n:** 4476 rpm **Vf:** 1182 mm/min **ap:** 48 mm **ae:** 0,1mm	**Plano xy:** 0,2 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
		Fresa reta 20 mm **Ref. Standarmoldes: MM/20**	**n:** 3581 rpm **Vf:** 1132 mm/min **ap:** 60 mm **ae:** 0,1mm	**Plano xy:** 0,2 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
6	Contorno em Z	Fresa reta 16 mm **Ref. Standarmoldes: MM/16**	**n:** 4476 rpm **Vf:** 1182 mm/min **ap:** 48 mm **ae:** 0,1mm	**Plano xy:** 0,1 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
		Fresa reta 20 mm **Ref. Standarmoldes: MM/20**	**n:** 3581 rpm **Vf:** 1132 mm/min **ap:** 60 mm **ae:** 0,1mm	**Plano xy:** 0,1 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
7	Contorno em Z	Fresa reta 16 mm **Ref. Standarmoldes: MM/16**	**n:** 4476 rpm **Vf:** 1182 mm/min **ap:** 48 mm **ae:** 0,1mm	**Plano xy:** 0,1 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
		Fresa reta 20 mm	**n:** 3581 rpm **Vf:** 1132 mm/min	**Plano xy:** 0,1 mm	Usar valor **ap**.

		Ref. Standarmoldes: MM/20	**ap:** 60 mm **ae:** 0,1mm	**Cota z:** 0,05 mm	
8	Contorno em Z	Fresa reta 16 mm **Ref. Standarmoldes: MM/16**	**n:** 4476 rpm **Vf:** 1182 mm/min **ap:** 48 mm **ae:** 0,1mm	**Plano xy:** 0 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
		Fresa reta 20 mm **Ref. Standarmoldes: MM/20**	**n:** 3581 rpm **Vf:** 1132 mm/min **ap:** 60 mm **ae:** 0,1mm	**Plano xy:** 0 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.

Procedimento 4					Standarmoldes
Operação		**Ferramenta**	**Parâmetros de Corte**	**Tolerância/ Espessura**	**Limites Z**
1	Desbaste	Roca 35 mm **Ref. Standarmoldes: MXG/1/JC8118**	**n:** 1432 rpm **Vf:** 8595 mm/min **ap:** 0,5 mm **ae:** 25mm	**Plano xy:** 0,3 mm **Cota z:** 0,3 mm	Usar intervalo desde a superfície até à cota total se um dos lados for igual ou superior a 42 mm
2	Contorno em Z	Roca 25 mm **Ref. Standarmoldes: MSH/1/JC5040**	**n:** 1725 rpm **Vf:** 5175 mm/min **ap:** 0,5 mm **ae:** 0,1 mm	**Plano xy:** 0,2 mm **Cota z:** 0,2 mm	Usar cota total da caixa.
Se a caixa tem cantos superiores a **12,5 mm** fazer operação **4**, se os cantos forem inferiores a **12,5 mm** fazer operação **3.**					
3	Rest redução cantos	Roca 16 mm **Ref. Standarmoldes: MPM/2/JC8118**	**n:** 1642 rpm **Vf:** 5910 mm/min **ap:** 0,5 mm **ae:** 0,1 mm	**Plano xy:** 0,2 mm **Cota z:** 0,2 mm	Usar cota total da caixa.
4	Área Horizontal	Fresa reta 20 mm **Ref. Standarmoldes: MM/20**	**n:** 3581 rpm **Vf:** 1132 mm/min **ap:** 0,1 **ae:** 2	**Plano xy:** 0,5 mm **Cota z:** 0 mm	Usar cota total da caixa.
5	Cópia Perpendicular	Fresa esférica **Ref. WIDIN: DB514160**	**n:** 2055 rpm **Vf:** 1035 mm/min **ap:** 0,1 **ae:** 0,3	**Plano xy:** 0,5 mm **Cota z:** 0 mm	Usar cota total da rampa.
Se o raio da rampa for **inferior a 8**, fazer **passo 6**, se for **superior** avançar para o **passo 7**.					
6	Cópia Perpendicular	Fresa esférica **Ref. WIDIN: DB514080**	**n:** 3945 rpm **Vf:** 1073 mm/min **ap:** 0,1 **ae:** 0,3	**Plano xy:** 0,5 mm **Cota z:** 0 mm	Usar cota total da rampa e limitar percurso de maquinação aos cantos da rampa.
Se a profundidade da caixa for igual ou inferior a **48 mm** usar fresa **16mm** se for superior a **48 mm** usar fresa de **20 mm**.					
7	Contorno em Z	Fresa reta 16 mm **Ref. Standarmoldes: MM/16**	**n:** 4476 rpm **Vf:** 1182 mm/min **ap:** 48 mm **ae:** 0,1mm	**Plano xy:** 0,2 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
		Fresa reta 20 mm **Ref. Standarmoldes: MM/20**	**n:** 3581 rpm **Vf:** 1132 mm/min **ap:** 60 mm **ae:** 0,1mm	**Plano xy:** 0,2 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
8	Contorno em Z	Fresa reta 16 mm **Ref. Standarmoldes: MM/16**	**n:** 4476 rpm **Vf:** 1182 mm/min **ap:** 48 mm	**Plano xy:** 0,1 mm **Cota z:**	Usar valor **ap**.

			ae: 0,1mm	0,05 mm	
		Fresa reta 20 mm **Ref. Standarmoldes: MM/20**	**n:** 3581 rpm **Vf:** 1132 mm/min **ap:** 60 mm **ae:** 0,1mm	**Plano xy:** 0,1 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
9	Contorno em Z	Fresa reta 16 mm **Ref. Standarmoldes: MM/16**	**n:** 4476 rpm **Vf:** 1182 mm/min **ap:** 48 mm **ae:** 0,1mm	**Plano xy:** 0,1 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
		Fresa reta 20 mm **Ref. Standarmoldes: MM/20**	**n:** 3581 rpm **Vf:** 1132 mm/min **ap:** 60 mm **ae:** 0,1mm	**Plano xy:** 0,1 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
10	Contorno em Z	Fresa reta 16 mm **Ref. Standarmoldes: MM/16**	**n:** 4476 rpm **Vf:** 1182 mm/min **ap:** 48 mm **ae:** 0,1mm	**Plano xy:** 0 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.
		Fresa reta 20 mm **Ref. Standarmoldes: MM/20**	**n:** 3581 rpm **Vf:** 1132 mm/min **ap:** 60 mm **ae:** 0,1mm	**Plano xy:** 0 mm **Cota z:** 0,05 mm	Usar valor **ap**.