



João Filipe Nunes Roxo

Licenciado em Ciências de Engenharia Mecânica

**Contributo para a produtividade na maquinação
de moldes com base na racionalização dos
parâmetros de corte e na estimação da energia
específica de corte**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica

Orientador: António José Freire Mourão, Professor Associado,
Universidade NOVA de Lisboa
Co-orientadora: Carla Maria Moreira Machado, Professora auxiliar,
Universidade NOVA de Lisboa



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Novembro, 2020

Contributo para a produtividade na maquinação de moldes com base na racionalização dos parâmetros de corte e na estimação da energia específica de corte

Copyright © João Filipe Nunes Roxo, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Aos meus pais e irmão,

AGRADECIMENTOS

Ao **Professor Doutor António Mourão** por todo o empenho e profissionalismo que mostrou ao longo destes meses para comigo. Pelo conhecimento que me transmitiu, pela confiança que mostrou em me orientar nesta dissertação e por todo o esforço feito para a realização deste projeto. A sua disponibilidade para me ouvir e acompanhar, as suas sugestões e o seu apoio foi determinante para concluir esta etapa da minha vida. Mostrou-me o caminho para o sucesso. Obrigado Professor.

À **Professora Carla Machado** pelo carinho mostrado ao longo da dissertação. O seu apoio e a sua ajuda nos momentos determinantes foram fundamentais para a realização deste projeto. As suas palavras, as ideias e a vontade para uma dissertação capaz e melhor foram motivantes e agradeço todo o seu esforço para que eu conseguisse realizar um projeto ao nível pedido. Muito obrigado Professora.

Ao **Engenheiro Paulo Marrazes** pelas condições dadas para que este projeto se realizasse. Obrigado pela disponibilidade e o seu saber.

À **empresa Aníbal H. Abrantes** por me acolher e por acolher a Faculdade de Ciências e Tecnologia em mais um projeto. Obrigado pela oportunidade de aprender mais sobre esta indústria.

Aos **meus amigos**. Quando entrei na faculdade ensinaram-me que este percurso não se fazia sozinho e com toda a razão pois estes amigos sempre estiveram lá para me ajudar a estudar e a ser melhor. Nunca me fizeram desistir quando a paciência para estudar era pouca, a eles o meu muito obrigado pelo acompanhamento ao longo destes cinco anos.

Aos **meus pais**. Estes merecem todos os agradecimentos possíveis e imagináveis. Foi graças a eles que hoje sou o que sou. Obrigado por todo o apoio e carinho que sempre mostraram ao longo deste percurso. Obrigado pela voz e força que me transmitiram, obrigado por me fazerem um filho feliz e sonhador. Obrigado.

A **todos** o meu muito obrigado e espero que me acompanhem em mais etapas ao longo da minha vida.

Obrigado.

RESUMO

A dissertação tem como objetivo contribuir para a melhoria da produtividade no fabrico de moldes para injeção, com base na racionalização dos parâmetros de corte e na estimação da energia específica de corte. O trabalho incidiu sobre operações de desbaste na maquinação de grandes volumes de material.

O estudo começou pela recolha de dados, onde houve uma análise dos parâmetros de corte utilizados na empresa e uma reflexão desses mesmos parâmetros com os utilizados no desbaste de peças. Após uma primeira análise concluiu-se que haveria pontos a melhorar no que toca à utilização adequada da fresa e dos parâmetros utilizados no desbaste, tendo em consideração a baixa taxa de utilização de potência da máquina-ferramenta.

Com base na informação dos programas de operações de maquinação disponibilizada pela empresa, procedeu-se à recolha de ferramentas e de dados provenientes dos fabricantes de fresas que poderiam ser utilizadas nas mesmas. Seguidamente procedeu-se a várias simulações de maneira a observar o comportamento dos parâmetros de corte a analisar (avanço e profundidade). Para as simulações realizadas teve-se em consideração o facto da energia específica de corte variar com os parâmetros, em particular com o avanço por dente, o que permitiu um melhor aproveitamento da capacidade da máquina-ferramenta.

Com as simulações realizadas, pretendeu-se analisar e propor melhorias que visem a diminuição do tempo de produção bem como o desenvolvimento de técnicas de desbaste que possam ajudar a empresa e a indústria em questão a aumentar a sua produtividade e a competitividade. O trabalho foi concluído com uma proposta que permitiria uma redução de cerca de 20% no tempo de desbaste à fresa de um componente que atualmente demora cerca de 10h.

Palavras-chave: Moulds, Machining, Cutting parameters, Simulations, Productivity, Specific cutting energy, Tool selection.

ABSTRACT

The dissertation aims to contribute to the improvement of productivity in the manufacture of injection moulds, based on the rationalisation of the cutting parameters and the estimation of the specific cutting energy. The work focused on roughing operations in the machining of large volumes of material.

The study started with the collection of data, where there was an analysis of the cutting parameters used in the company and a reflection of these same parameters with the uses in the roughing. After a first analysis it was concluded that there were points to be improved with regard to the proper use of the milling cutter and the parameters used for roughing, taking into account the low power utilisation rate of the machine tool.

After reflection the information from the company's, tools and data were collected from the milling machine manufacturers. Several simulations were then carried out in order to observe the behaviour of the cutting parameters to be analysed (feed and depth). For the simulations carried out it was taken into account that the specific cutting energy varies with the parameters, in particular with the feed per tooth, which allowed a better use of the machine tool capacity.

With the simulations carried out, the aim was to analyse and propose improvements aimed at reducing production time as well as the development of thinning techniques that could help the company and the industry in question to increase their productivity and competitiveness. The work was concluded with a proposal that would allow a reduction of about 20% in the grinding time for the milling of a component that currently takes about 10 hours.

Keywords: Moulds, Roughing, Cutting parameters, Feed Rate, Depth, Simulations, Productivity.

ÍNDICE

Lista de Figuras	xvii
Lista de Tabelas	xix
Siglas	xxi
1 Introdução	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Motivação	1
1.3 Objetivos	2
1.4 Estrutura da dissertação	2
1.4.1 Fluxograma	2
2 Noções básicas de injeção de moldes	5
3 Molde para injeção de plásticos	9
3.1 Introdução	9
3.2 Sistemas funcionais	9
3.2.1 Impressão	9
3.2.2 Sistema de centragem e guiamento	10
3.2.3 Alimentação	10
3.2.4 Escape de gases	11
3.2.5 Controlo de temperatura	11
3.2.6 Extração	11
3.3 Tipos de moldes	11
3.3.1 Moldes de duas placas	12
3.3.2 Moldes de três placas	12
3.3.3 Moldes de canais quentes	12
3.4 Constituintes de um molde	12
4 Sobre o fabrico do molde	17
4.1 Etapas	17
4.1.1 Primeira etapa: Desde a consulta à adjudicação	18
4.1.2 Segunda etapa: Desde a encomenda até ao início da produção	19

4.1.3	Terceira etapa: Produção	19
4.1.4	Quarta etapa: Final da produção até à sua expedição	19
4.2	Tecnologias utilizadas no processo produtivo do molde	19
5	Fresagem	21
5.1	Processo	21
5.1.1	Fresagem de superfícies esculpidas	22
5.2	Ferramentas	24
5.2.1	Parâmetros de corte	25
5.2.2	Taxa de Remoção de Material	26
5.2.3	Potência	27
5.2.4	Energia específica de corte	28
5.3	Otimização de parâmetros	30
5.4	Alto avanço vs alta profundidade	33
6	Metodologias	37
6.0.1	Recolha e análise de dados	37
6.0.2	Estudo de possível melhoria	38
7	Recolha de dados relevantes sobre ferramentas utilizadas na empresa	41
7.1	Introdução	41
7.2	Procedimento	41
7.2.1	Máquina-ferramenta	42
7.2.2	Ferramentas	42
7.3	Análise de parâmetros e consequências ao nível da taxa de remoção e da capacidade da máquina-ferramenta	44
7.4	Análise de utilização de ferramentas	48
7.5	Conclusão - Operação objeto de estudo	49
8	Recolha e organização de informação comercial de ferramentas	51
8.1	Introdução	51
8.2	Ferramentas recolhidas	52
8.3	Escolha de ferramenta	52
8.4	Simulações	54
8.4.1	Primeira simulação: Manter a taxa de remoção igual no tempo fazendo variar o avanço e a profundidade	55
8.4.2	Segunda simulação: Manter a potência igual no tempo com a variação do avanço e da profundidade	64
8.5	Conclusões	70
9	Proposta de melhoria	71
9.1	Introdução	71

9.2 Proposta de melhoria	72
10 Conclusão e trabalhos futuros	75
10.1 Conclusão	75
10.2 Trabalhos futuros	77
Bibliografia	79
I Peça	81
II Sequência de programas	83
III Especificações do centro CNC	85
IV Avaliação do perito	87
V Catálogo FresaCD65RT7,6	89
VI Catálogo plaquetes Moldino	91
VII Catálogo fresas e plaquetes Seco	93
VIII Base de dados de ferramentas	98
IX Especificações da R390-066Q22-18M	101

LISTA DE FIGURAS

1.1	Fluxograma	3
2.1	Etapas [3]	5
2.2	Máquina de injetar [3]	6
2.3	Ciclo da moldação [3]	7
3.1	Placa da bucha; Placa das cavidades	10
3.2	Molde de duas placas[3]	12
3.3	Molde de três placas[3]	13
3.4	Molde de placas quentes[3]	13
3.5	Vista explodida de um molde	14
4.1	Fluxograma do processo produtivo do molde [4]	18
5.1	Mudança gradual do comprimento da ferramenta [6]	23
5.2	Diversas operações de fresagem esculpida [6]	24
5.3	Parâmetros para calcular a taxa de remoção [7]	27
5.4	Formação da apara e ângulo de imersão [7]	28
5.5	Energia específica de corte em função da área de corte [7]	30
5.6	Espessura da apara com a profundidade de corte radial [9]	31
5.7	Mudança brusca de direção [9]	32
5.8	Investir no projecto para reduzir o custo e o tempo de lançamento do produto	33
5.9	Gráfico referente às técnicas tradicionais de fresagem [11]	35
5.10	Gráfico correspondente a uma maior profundidade [11]	36
6.1	Etapas da 4ª fase do estudo realizado	39
7.1	Sobre espessura pequena [6]	43
7.2	Tempos de maquinação por cada fresa	48
7.3	Distribuição dos volumes maquinados por cada fresa	49
8.1	Evoluções do avanço e da profundidade para a fresa R390-066Q22-18M . . .	61
8.2	Evoluções do avanço e da profundidade para a fresa CD65,7RT6	61
8.3	Função força a depender do avanço	62
8.4	Função força a depender da profundidade	63

LISTA DE FIGURAS

9.1 Percentagem de utilização das fresas 73

LISTA DE TABELAS

5.1	Fresas indicadas para as diversas operações de fresagem	23
7.1	Parâmetros utilizados com a fresa CD65,7RT6	44
7.2	Parâmetros calculados com a fresa CD65,7RT6	45
7.3	Parâmetros utilizados com a fresa CRP35RT1,8	45
7.4	Parâmetros calculados com a fresa CRP35RT1,8	45
7.5	Parâmetros utilizados com a fresa CRP20RT1,8	47
7.6	Parâmetros calculados com a fresa CRP20RT1,8	47
7.7	Tempos de maquinação e volume a maquinar	48
8.1	Características e parâmetros constantes nas simulações- R390-066Q22-18M	54
8.2	Características e parâmetros constantes nas simulações - CD65,7RT6	55
8.3	Resultados da simulação com a fresa R390-066Q22-18M	58
8.4	Resultados da simulação com a fresa CD65,7RT6	59
8.5	Variação da taxa de remoção para a mesma potência, com a fresa R390-066Q22-18M	65
8.6	Parâmetros obtidos para uma Potência 12000W - fresa R390-066Q22-18M .	67
8.7	Parâmetros obtidos para uma Potência 12000W - fresa CD65,7RT6	68
9.1	Resultados comparativos entre a fresa usada (Depo) e a proposta (Sandvik) .	72
9.2	Tempos de maquinação utilizando os novos parâmetros e a nova fresa	72

SIGLAS

CNC Controlo Numérico Computorizado

D Diâmetro da fresa

e Profundidade de corte radial

f_z Avanço por dente

h_d Espessura da apara

K_s Energia específica de corte

n Número de dentes

N Rotações

N_m Potência de corte

p Profundidade de corte axial

v Velocidade de corte

v_f Velocidade de avanço

Z_m Taxa de remoção

INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Ao longo dos últimos anos, Portugal tem-se afirmado como um dos grandes países produtor de moldes destacando-se perante países como Alemanha e Itália nos países que mais moldes produzem. Segundo a CEFAMOL – Associação Nacional de Indústria de Moldes Portugal, em 2008, desenvolveu um plano estratégico de modo a aumentar a produtividade no fabrico de moldes e plásticos. Em cerca de 7 anos a exportação de moldes em Portugal aumentou mais de 100%. A mesma associação defende que Portugal é o 8º país que mais moldes produz a nível mundial e o 3º a nível europeu. [1, 2]

A preocupação da indústria de moldes em desenvolver técnicas que permitem uma maior competitividade com as grandes potências mundiais esteve sempre presente, pelo que existe uma grande necessidade na redução do tempo de desenvolvimento dos produtos e a consequente diminuição de custos de maneira a aumentar a competitividade e a produtividade. Assim sendo a otimização de parâmetros de maquinaria no fabrico de moldes será um contributo para uma maior afirmação de Portugal no contexto mundial de fabricação de moldes.

1.2 Motivação

A indústria de moldes para matérias plásticas teve o seu início em 1943, na Marinha Grande, por iniciativa de Aníbal H. Abrantes e neste seguimento começaram a estabelecer-se outras empresas produtoras de moldes para plásticos, nas cidades da Marinha Grande e Oliveira de Azeméis [1]. Com o crescimento desta indústria, e devido à sua inovação e desenvolvimento tecnológico, fez de Portugal um dos principais fabricantes de moldes para injeção de plástico a nível mundial.

Foi com o propósito de inovar e de desenvolver novos conceitos que mudem a produção de moldes, que surgiu o desafio da empresa Aníbal H. Abrantes – Grupo Iberomoldes em parceria com a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, para efetuar um estudo que aumente a produtividade da empresa, tendo em consideração as operações de fresagem.

Este projeto suscitou no autor uma grande motivação pelo que aceitou, de bom agrado, finalizar o seu curso de Engenharia Mecânica com um projeto de dissertação na empresa fundadora da indústria de injeção de moldes e que tanto tem contribuído para o seu desenvolvimento com a implementação de novos métodos e de novas tecnologias.

As questões levantadas pela empresa criou um enorme leque de possibilidades visando o objetivo de aumentar a produtividade. Após reunião com os responsáveis da Aníbal H. Abrantes, decidiu-se começar com o estudo das ferramentas do mercado e estudar uma melhoria nos parâmetros de maquinação e por último averiguar a possibilidade de um conjunto de famílias.

1.3 Objetivos

Com as questões levantadas para o desenvolvimento da dissertação, definiu-se como objetivo geral, desenvolver uma metodologia para diminuir os tempos de maquinação e aumentar a produtividade da maquinagem, em particular nas operações de desbaste na fresagem.

De maneira a solucionar o problema e assim chegar ao objetivo final, identificou-se os seguintes pontos cruciais para o seu desenvolvimento:

- Identificar tipos de ferramentas no que diz respeito à geometria e ao material utilizado na produção de moldes, com vista à utilização das que conduzem a maior eficiência do trabalho;
- Identificar as condições de corte;
- Identificar os parâmetros de corte; e
- Otimizar os parâmetros identificados para uma maior eficiência.

1.4 Estrutura da dissertação

1.4.1 Fluxograma

A necessidade de organizar os pontos de partida para a realização do projeto, levou à elaboração de um fluxograma. Este fluxograma está realizado de maneira a seguir uma sequência de etapas para que haja ideias fixas e clarificadas.

O fluxograma tem um total de 18 etapas divididas em 4 fases:

- 1ª Fase: Objetivos pretendidos;

- 2ºFase: Pesquisa bibliográfica;
- 3ºFase: Recolha e análise de dados;
- 4ºFase: Estudo de possível melhoria.

As quatro fases são essenciais para a elaboração do projeto. A fig. 1.1 mostra todas as etapas necessárias para a elaboração da dissertação.

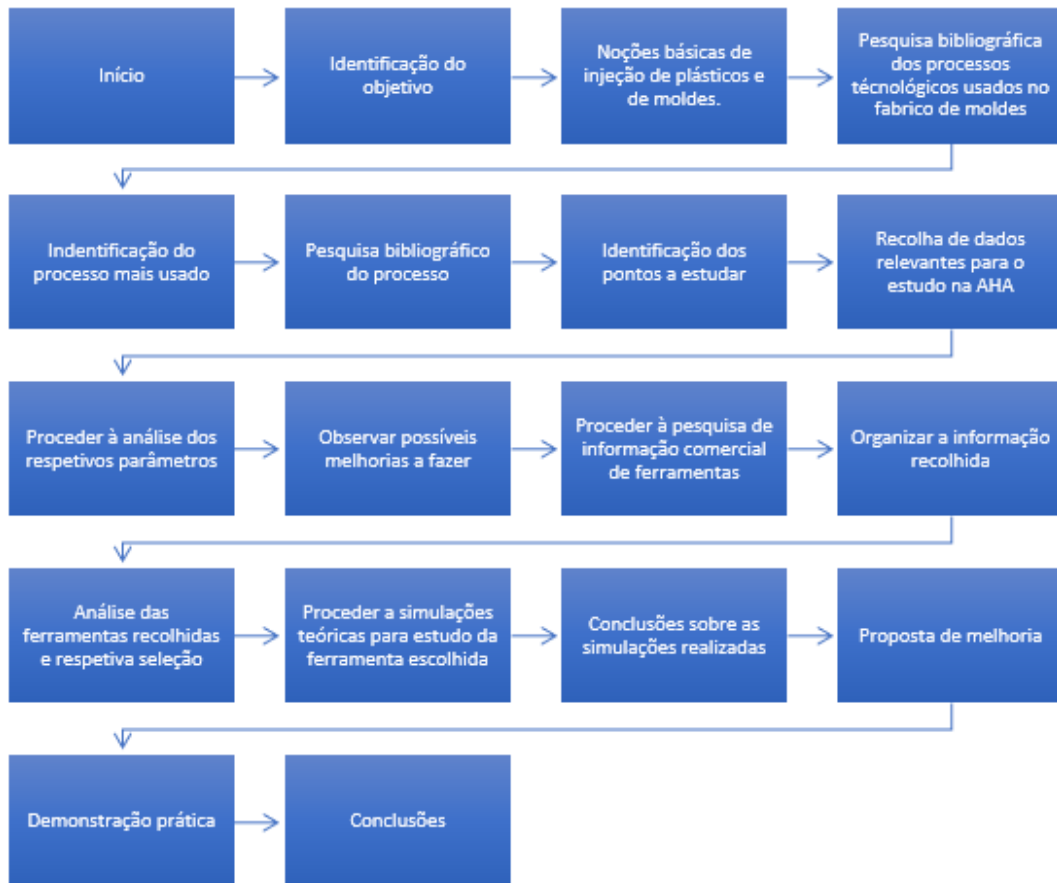


Figura 1.1: Fluxograma

NOÇÕES BÁSICAS DE INJEÇÃO DE MOLDES

O processo de moldação por injeção nasceu em 1872 nos Estados Unidos da América. Inicialmente, este processo foi desenvolvido para a transformação de resinas termoendurecíveis, contudo devido à sua versatilidade começou-se a implementar a injeção de materiais termoplásticos usando o mesmo método [3].

A moldação por injeção é um dos processos principais de transformação de materiais de base polimérica. Esta tecnologia oferece uma série de vantagens desde a grande flexibilidade de geometrias até à rigorosa precisão dimensional. Com o grande sucesso da moldação, hoje encontra-se nos grandes mercados consumidores, nomeadamente, embalagens, automóvel e material elétrico e eletrónico [3].

Esta tecnologia segue, sequencialmente as seguintes etapas:

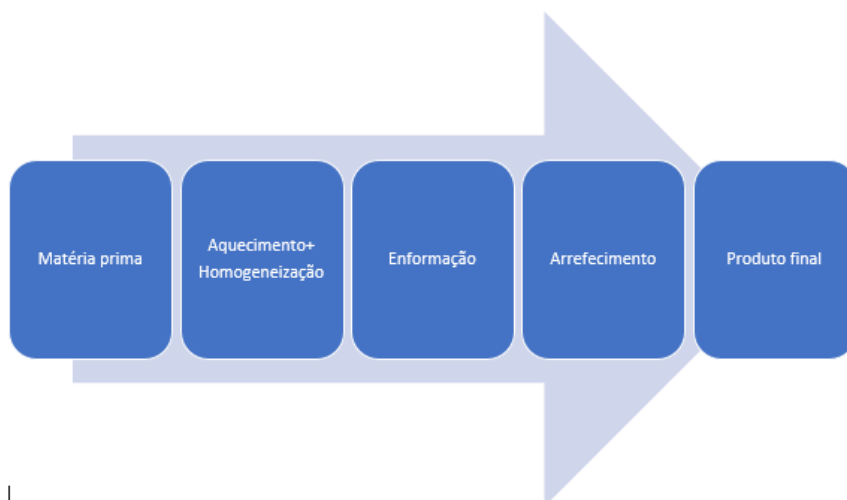


Figura 2.1: Etapas [3]

Todo este processo assenta num conjunto de equipamentos nomeadamente: dispositivos para transporte e alimentação de matéria-prima, robô, tapete transportador, moinho granular, dispositivos para controlo da temperatura do molde, máquina de injetar e por fim o molde sendo que os dois últimos equipamentos referidos são os essenciais [3].

A seguinte figura 2.2 mostra o sistema funcional que permite a injeção:

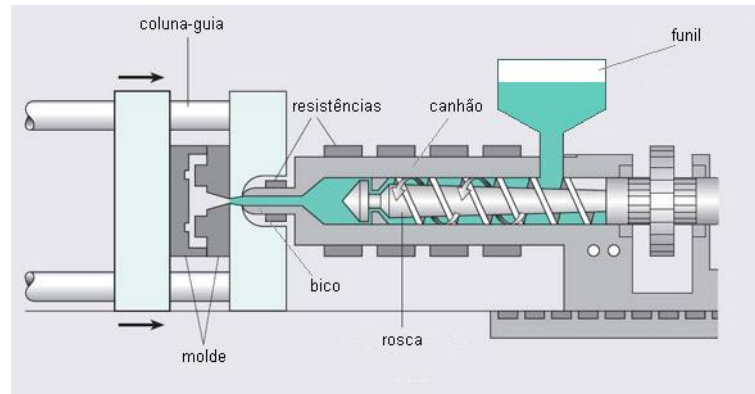


Figura 2.2: Máquina de injetar [3]

De um modo conceptual o processo de moldação por injeção de termoplásticos desenvolve-se da seguinte forma:

- O material plástico, em forma de grãos, é colocado na tremonha da máquina de injetar e alimenta o canhão de plasticização [3].
- O aquecimento do material é feito através do calor transmitido pelas paredes do canhão e pelo calor gerado pela dissipação viscosa, resultado do atrito entre o fuso/rosca, o polímero e as paredes do cilindro [3].
- Com o material polimérico fundido este é forçado, através da pressão criada pela rotação do fuso, a fluir para o interior do molde. O fundido irá preencher todo o interior do molde e arrefecer, devido às trocas de calor com as superfícies moldantes, ganhando assim a forma do molde [3].
- Com o material completamente frio o processo conclui-se com a extração da moldação [3].

A moldação por injeção trata-se de um processo cíclico, ou seja, um conjunto de operações necessárias para a produção de uma moldação [3]. As fases típicas deste ciclo são fecho, injeção, pressurização, arrefecimento/plasticização, abertura, extração e pausa.

A otimização deste ciclo é fundamental para assegurar a competitividade económica do processo. A seguinte figura 2.3 mostra de um modo mais interativo as fases que constituem o processo de moldação por injeção.

Verifica-se através da figura 2.3, que a fase de arrefecimento é a fase que mais tempo dispõe no tempo de ciclo.

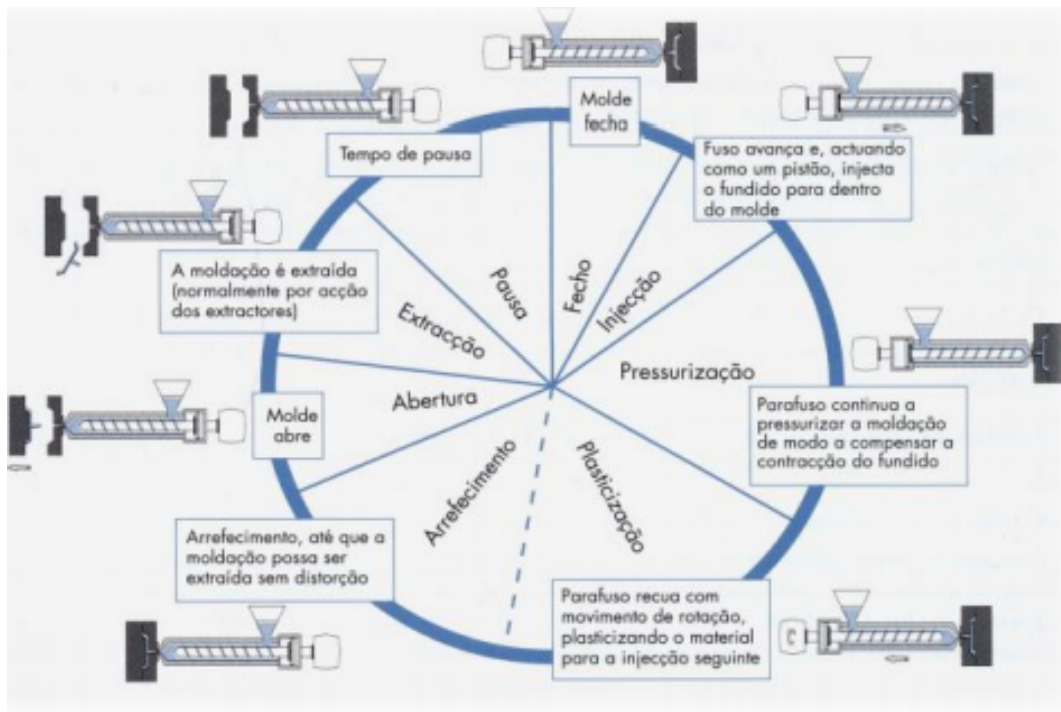


Figura 2.3: Ciclo da moldação [3]

MOLDE PARA INJEÇÃO DE PLÁSTICOS

3.1 Introdução

Como referido no capítulo anterior, o molde é o constituinte principal no processo de moldação. Este deverá produzir peças com qualidade no tempo de ciclo mais curto possível, ter uma manutenção mínima durante a sua utilização e desempenhar ainda as seguintes funções [3]:

- Definir um volume dando assim uma forma à peça a reproduzir;
- Permitir o enchimento desse mesmo volume com o material polimérico fundido que provem do cilindro;
- Facilitar o arrefecimento do polímero através das suas paredes; e
- Promover a facilidade na extração da peça.

3.2 Sistemas funcionais

Um molde, de grosso modo, pode ser considerado uma unidade complexa, constituída por um conjunto de placas onde estão inseridos os sistemas funcionais. Estes sistemas entre si, permitem que o molde cumpra a sua função produzindo assim o produto final.

Os sistemas funcionais são a impressão, centragem e guiamento, alimentação, escape de gases, controlo de temperatura e extração [3].

3.2.1 Impressão

A impressão é o sistema funcional que permite conferir a geometria da peça final. Este sistema, basicamente, integra dois componentes, a placa das cavidades e a placa das

buchas. A placa das cavidades é a parte que se encontra fixa e a placa das buchas tem a função de abrir e fechar sempre que necessário. A figura 3.1 mostra as duas placas mencionadas anteriormente. A placa mais à esquerda é a placa das buchas e à direita encontra-se a placa das cavidades [3].



Figura 3.1: Placa da bucha; Placa das cavidades

3.2.2 Sistema de centragem e guiamento

O sistema de centragem é responsável pelo encaixe do molde na máquina de injeção centrando assim o molde com o bico da injetora. Um mau centramento pode provocar desvios no processo de injeção e o surgimento de variações de espessuras não assegurando a precisão dimensional das peças. O sistema de guiamento serve para as duas metades do molde abrirem e fecharem sempre que seja necessário, não ocorrendo nenhum desvio que possa resultar numa peça defeituosa [3].

3.2.3 Alimentação

O sistema de alimentação é o que proporciona o transporte do material fundido desde do bico da injetora até à zona moldante. Este transporte é realizado através de canais maquinados nas placas do molde. Este sistema é constituído pelo jito, que participa no acesso do fundido proveniente da injetora para o sistema de alimentação. Deste sistema ainda pertence o alimentador principal, o alimentador secundário, poço frio e os canais de ataque [3]

3.2.4 Escape de gases

Durante o enchimento do molde é importante que o ar e elementos voláteis libertados pelo material fundido, que se encontra no interior, seja expelido. O sistema de escape de gases é um conjunto de rasgos localizados ao longo de toda a peça e na direção do fluxo do material que trata de ligar o interior do molde ao seu exterior de modo a libertar todos os gases presentes. Saídas ineficientes ou mal localizadas poderão resultar numa peça defeituosa [3].

3.2.5 Controlo de temperatura

A moldação por injeção, baseia-se em forçar um polímero fundido a entrar num molde, onde é arrefecido até uma temperatura onde possa ser permitida a sua extração. O sistema de arrefecimento é um sistema fundamental no processo. A etapa do arrefecimento ocupa cerca de 50% do tempo do ciclo de injeção logo o que se pretende deste sistema é arrefecer o material o mais rapidamente possível conjugando assim a rapidez da produção com a continuação da qualidade das peças. Este arrefecimento é feito por transferência de calor através das superfícies moldantes. Perto destas superfícies encontram-se canais onde circula o líquido refrigerante. Este líquido, frequentemente água por ser mais barato e fácil de obter, é o responsável pelo controlo de temperatura proporcionando uma peça com qualidade [3].

3.2.6 Extração

Quando o material arrefece até atingir uma certa rigidez, procede-se à sua extração. Esta extração é realizada no intervalo de abertura e fecho do molde. No momento de retirar a peça, o ideal seria ela cair por gravidade. Contudo, devido à contração e à sua adesão às paredes, a peça costuma ficar presa ao molde sendo, assim frequente, recorrer a um autónomo, como por exemplo um sistema hidráulico ou um sistema pneumático, quando a máquina de moldação não é capaz de fazer a extração [3].

3.3 Tipos de moldes

Apesar de os moldes terem os mesmos sistemas funcionais e funcionarem de maneira idêntica continua a existir diferentes tipos de moldes com diferentes funcionalidades de maneira a responder às características que os produtos requerem.

Estes moldes podem ser agrupados nas seguintes categorias:

- Moldes de duas placas;
- Moldes de três placas; e
- Moldes de canais quentes.

3.3.1 Moldes de duas placas

O molde de duas placas, como se representa na figura 3.2, é o tipo de molde mais simples e é constituído por uma parte fixa, formada por uma placa de aperto de injeção, uma placa das cavidades e ainda uma parte móvel que fica encarregue de abrir e fechar o molde.

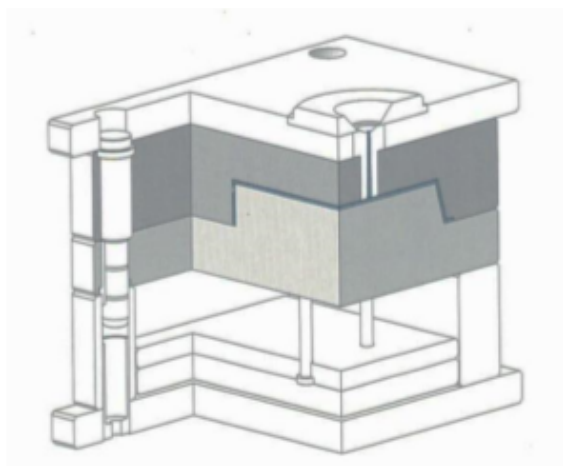


Figura 3.2: Molde de duas placas[3]

3.3.2 Moldes de três placas

No tipo de molde de três placas, como ilustrado na figura 3.3, para além da parte fixa e da parte móvel, tem uma terceira placa conhecida como placa flutuante. Esta placa permite remover todo o sistema de alimentação no decorrer da abertura do molde e ainda uma alimentação mais eficaz quando se trata de um molde com várias impressões. Contudo, este tipo de molde, corre um risco mais elevado de encravamento do sistema de alimentação dentro do molde.

3.3.3 Moldes de canais quentes

Entende-se por moldes de canais quentes, (figura 3.4), um molde que mantém o sistema de alimentação, aproximadamente, à temperatura do material no cilindro da máquina injetora. Este controlo de temperatura na alimentação do molde, faz com que o material polimérico se encontre sempre fundido e assim promover a redução do tempo de produção das peças já que não é necessário remover o sistema de alimentação reduzindo assim uma operação.

3.4 Constituintes de um molde

Como referido em cima, existe diferentes tipos de moldes, contudo o seu sistema funcional e as suas características são bastante semelhantes fazendo com que os componentes

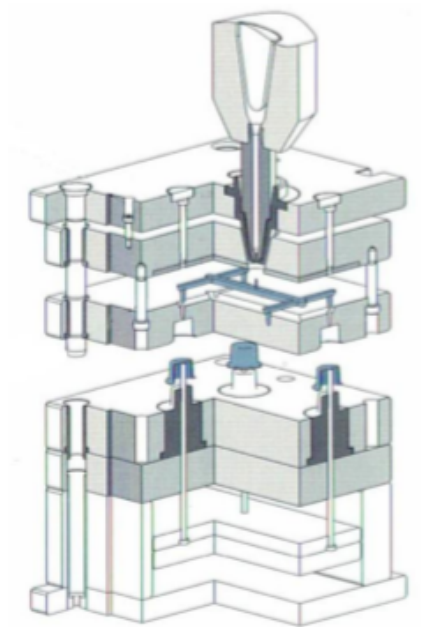


Figura 3.3: Molde de três placas[3]

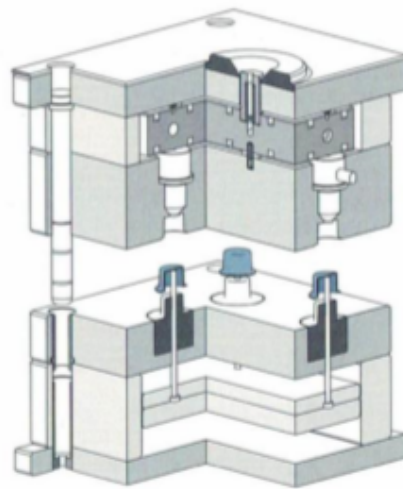


Figura 3.4: Molde de placas quentes[3]

de um molde sejam similares apesar dos diferentes tipos. A figura 3.5 mostra os principais constituintes de um molde:

Anel de centragem - O anel de centragem tem como função garantir a centragem do molde com o bico da injetora

Bucha de injeção - A bucha de injeção é a peça onde o bico da injetora encosta e injeta o material fundido. Possui um formato cônico com o diâmetro maior voltado para o interior do molde facilitando a saída da peça após a injeção.

Placa de aperto de injeção - Esta placa assegura a fixação do molde à injetora e a passagem da bucha de injeção que permite ao fluxo do material polimérico para o interior

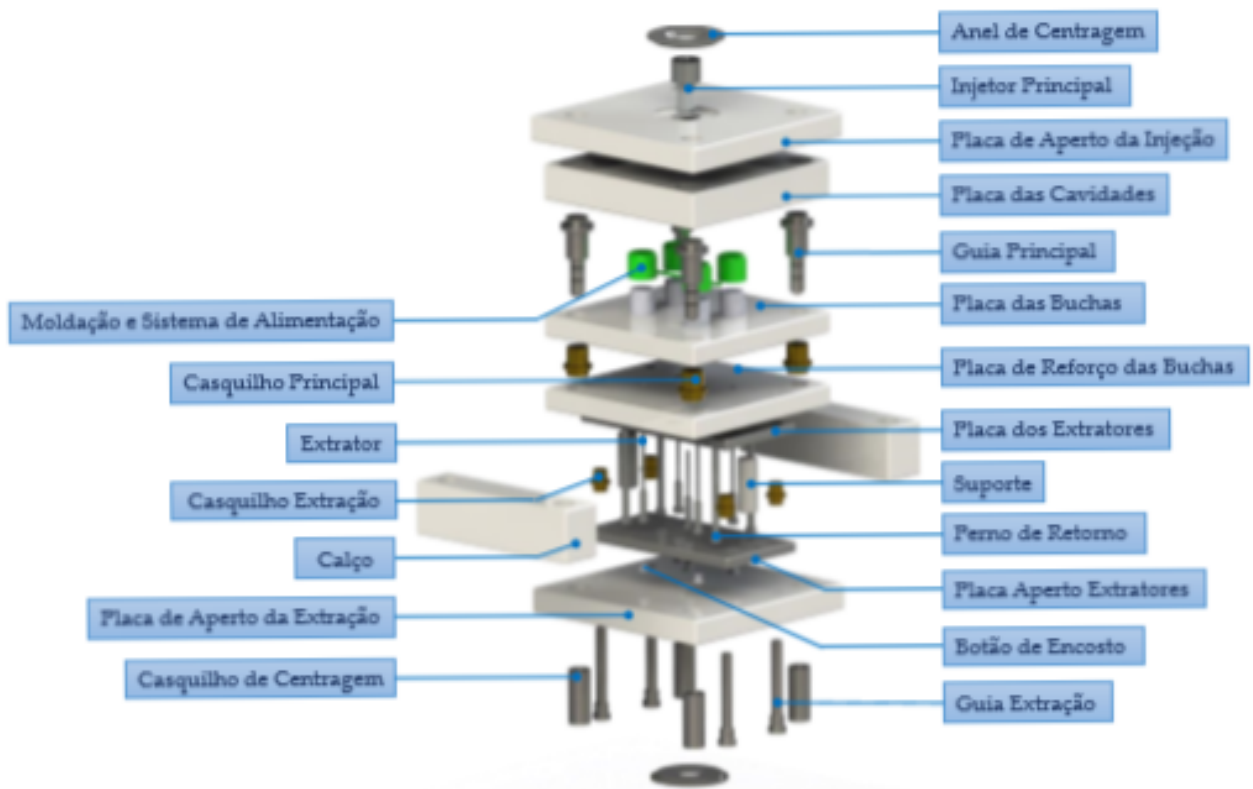


Figura 3.5: Vista explodida de um molde

da cavidade.

Placa das cavidades - Esta placa contém as cavidades que permitem definir a geometria exterior da peça. Nesta placa também se encontra canais maquinados à superfície para o canal alimentador e canal de ataque. Os furos para a circulação do fluido refrigerante também se localizam nesta placa.

Colunas guias e casquilhos - Estes componentes funcionam em simultâneo e têm a função de garantir o guiamento das duas metades do molde. São componentes bastante importantes no funcionamento do molde pois são estes que garantem um bom alinhamento.

Placa das buchas - A placa das buchas define a geometria interior da moldação. Esta placa encosta à placa das cavidades definindo assim a geometria.

Placa de reforço das buchas - Esta placa é fixada à placa das buchas aumentando assim a sua rigidez.

Placa dos pinos extratores e placa de aperto dos extratores - Estas duas placas têm a função de posicionar os pinos extratores e de garantir o seu movimento ao longo do curso de extração

Pino extrator - Após a injeção e abertura do molde a peça tende a ficar fixada à cavidade do molde pelo que existe uma placa que, quando acionada, empurra pinos do

seu interior extraindo o produto não provocando danos nas peças.

Suporte -Este componente tem a função de reduzir a flexão da placa das buchas e reforçar a estrutura do molde.

Perno de Retorno -O perno de retorno permite fazer o recuo da placa dos extratores.

Placa de aperto da extração -Esta placa serve de suporte à placa das buchas, placa de reforço das buchas e calços. Serve também de batente para o sistema de extração e permite fazer a fixação do molde à injetora.

SOBRE O FABRICO DO MOLDE

4.1 Etapas

Para um molde pronto a utilizar, é necessário todo um planeamento de maneira a que este seja o mais eficiente possível, desde a redução do material desperdiçado bem como a diminuição dos tempos de ciclo mencionados anteriormente. Na conceção do molde deve-se ter o cuidado de adequar todas as suas fases de conceção aos recursos necessários para o seu desenvolvimento.

São várias as fases e as etapas no processo produtivo do molde. A seguinte figura 4.1 mostra o fluxograma do processo de fabricação do molde.

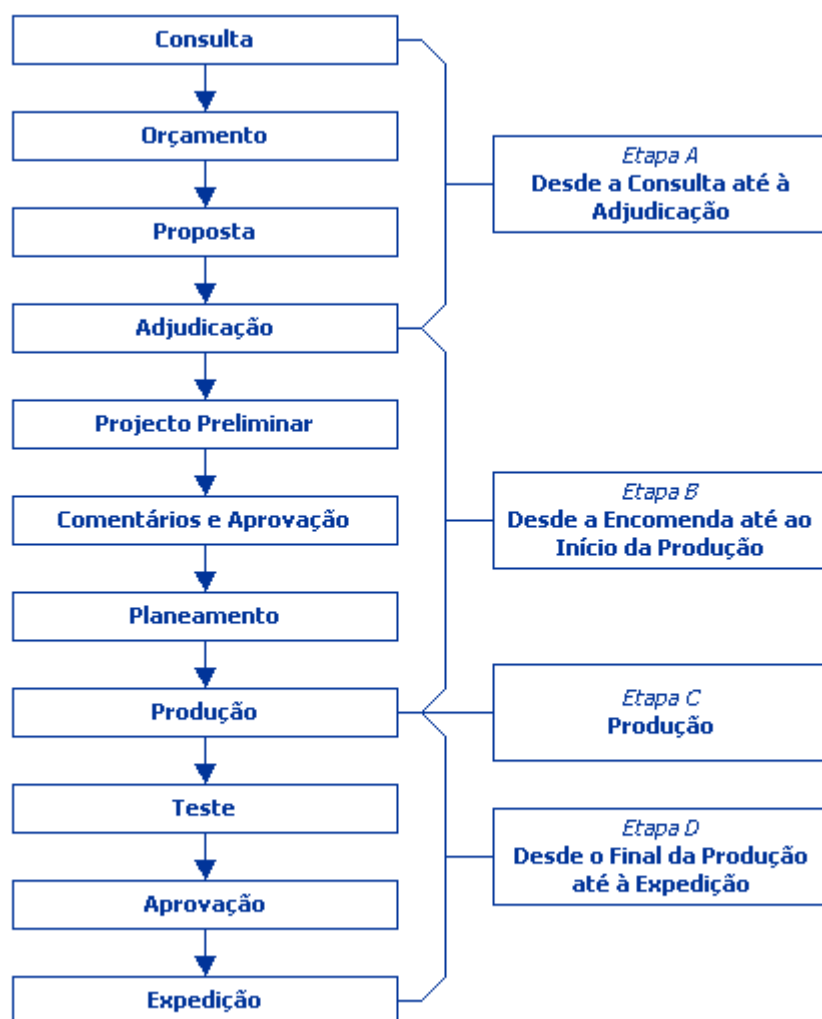


Figura 4.1: Fluxograma do processo produtivo do molde [4]

É possível observar as operações necessárias à conceção do molde. Estas ainda podem ser agrupadas em quatro etapas distintas.

4.1.1 Primeira etapa: Desde a consulta à adjudicação

Esta etapa depende unicamente da capacidade de resposta do fabricante de moldes, mas também depende do interesse e urgência do cliente.

Esta etapa engloba todos os contactos a realizar entre o cliente e o fabricante. Define-se e discute-se com o cliente as especificações técnicas do molde. Elabora-se um esboço da conceção do molde e executa-se uma estimativa de custos através dos métodos de orçamentação (analítico, paramétrico, etc) [4].

4.1.2 Segunda etapa: Desde a encomenda até ao início da produção

Esta fase pretende-se que seja a mais rápida possível. Esta etapa resume-se ao projeto preliminar, avalia-se a necessidade de modelar a peça em 3D e/ou efetuar desenhos 2D. Com base nas especificações técnicas do cliente procede-se então ao projeto. Após a conclusão da fase de projeto, este segue para aprovação do cliente e posteriormente será elaborado todo um plano de trabalhos que deverá ser respeitado durante toda a produção do molde [4].

4.1.3 Terceira etapa: Produção

A terceira etapa é a etapa que mais tempo dispõe de todo o processo produtivo. Depende do grau de dificuldade e dimensão do molde. Sendo a etapa mais longa de todo o processo de fabricação, envolve a maior parte dos recursos disponíveis na empresa, desde técnicos a toda a tecnologia presente na fábrica. A produção, ao rececionar o projeto, analisa o planeamento e com os meios disponíveis transformam a matéria prima em moldes altamente precisos.

Na etapa de produção, executam-se centenas de operações pois os componentes constituintes do molde são bastantes, impondo assim tempo na produção dos moldes. As operações utilizadas na conceção do molde vão desde o galgamento à montagem passando pela furação, fresagem, eletroerosão e rectificação. Durante este processo as peças poderão ser sujeitas também a tratamentos (tratamentos térmicos, tratamentos superficiais, entre outros) [4].

4.1.4 Quarta etapa: Final da produção até à sua expedição

No fim da produção, se as especificações pedidas pelo cliente forem cumpridas, esta etapa apenas demorará alguns dias. Serão realizados testes que avaliam a funcionalidade do molde e verificam se as peças obtidas correspondem às especificações do cliente. Caso haja aprovação por parte do cliente, o molde será preparada para proceder à expedição [4].

4.2 Tecnologias utilizadas no processo produtivo do molde

Com a análise das etapas do processo produtivo do molde, verificou-se que a etapa mais crítica no processo produtivo era a terceira. Na fase da produção, as tecnologias utilizadas para o fabrico dos componentes são:

- Serragem;
- Furação;
- Torneamento;
- Fresagem;

- Rectificação; e
- Electroerosão.

Ainda na terceira fase, fazem parte processos de tratamento como os Tratamentos Térmicos, os Tratamentos Termoquímicos, os Revestimentos Electrolíticos e a Textura Química. [4]

Na fase de produção, cerca de 40% do tempo do processo produtivo do molde é dispendido para a produção do molde em máquinas CNC, fazendo desta fase uma das mais importantes no processo de fabricação. Ainda durante a etapa da utilização de máquinas CNC a maior parte é utilizado no processo de fresagem, sendo este o mais importante na conceção do molde.

São demasiados os componentes que constituem o molde, e todos eles precisam de maquinaria e acabamentos superficiais de maneira a possuir um bom funcionamento. Contudo, de todos os componentes analisados na secção anterior, existem alguns que necessitam de um maior desbaste comparado com os restantes. Entre esses está a placa das cavidades, que como visto, é a placa que define a geometria exterior da moldação, e a placa das buchas, que encosta à placa das cavidades. Nestes componentes verifica-se um grande volume maquinado, pelo que uma grande parte do custo e do tempo de fabrico do molde está imposto na maquinaria destes constituintes [5].

Nos próximos capítulos, será feita uma reflexão do método utilizado na maquinaria das placas.

FRESAGEM

O presente capítulo contém conceitos e definições necessárias à compreensão do tema a abordar e a desenvolver nesta dissertação.

5.1 Processo

Um dos processos mais utilizados no fabrico de moldes e no desbaste de material é a fresagem. A fresagem é um método utilizado para obter superfícies maquinadas através da remoção do material utilizando uma ferramenta denominada fresa.

As vantagens da fresagem são [6]:

- Possuir grande aplicação na maquinação de peças;
- Variedade de formas e superfícies que podem ser produzidas;
- Qualidade no acabamento superficial; e
- Alta taxa de remoção de material (alta produtividade/ rapidez). .

No entanto a fresagem também apresenta algumas limitações como [6]:

- A ferramenta tem a tendência a mover-se;
- A peça de trabalho tem a tendência em ser puxada para cima e criar grandes vibrações, pelo que é importante uma fixação adequada; e
- Desgaste mais rápido da ferramenta.

Existem vários tipos de operações de fresagem como:

- Fresagem de cantos a 90°;
- Faceamento;
- Fresagem de superfícies esculpidas
- Fresagem de canais; e
- Fresagem de cavidades.

Apesar de todas as operações referidas acima serem importantes para o estudo a realizar, dar-se-á mais relevância à fresagem de superfícies esculpidas e à fresagem de cantos a 90°.

5.1.1 Fresagem de superfícies esculpidas

A fresagem de superfícies esculpidas é um dos tipos de fresagem mais complexo. Quanto maior a peça e mais complexa for a geometria, torna-se crucial um bom planejamento na escolha das ferramentas e dos parâmetros a utilizar. Neste tipo de fresagem, a maquinação dos perfis começa sempre com a operação de desbaste. Nesta operação maioritariamente utilizam-se pastilhas de aresta reta pois tem uma alta estabilidade, uma alta produtividade e conseguem ter uma boa profundidade de corte com um acabamento aceitável. [6]

Neste tipo de fresagem, o perfil da peça deve de ser estudado de forma aprofundada com a finalidade de selecionar as melhores ferramentas.

Para isso é necessário ter em atenção os seguintes pontos [6]:

- Raios mínimos e profundidades máximas das cavidades;
- Calcular a quantidade de material a remover;
- Considerar o *set-up* da ferramenta e a fixação da peça de maneira a evitar vibrações; e
- Considerar a escolha de ferramentas para maquinar junto ao perfil final.

A produtividade na operação de desbaste está, também, diretamente relacionada com o comprimento da ferramenta utilizada. O desbaste deverá sempre ser iniciado com uma ferramenta de comprimento curto pois as mais longas geram maior vibração levando à diminuição de parâmetros de corte e consequentemente à diminuição da produtividade.

A Fig. 5.1 representa um exemplo da mudança gradual do comprimento da ferramenta.



Figura 5.1: Mudança gradual do comprimento da ferramenta [6]

Normalmente, a fresagem de perfis é dividida em duas fases. Uma fase inicial de desbaste e uma fase final de acabamento. Cada fase utiliza ferramentas específicas para uma melhor produtividade e precisão. Na fresagem de superfícies esculpidas são utilizadas todos os tipos de fresas, desde fresas com pastilhas de aresta de corte reta a fresas de pastilhas de aresta de corte redonda.

Na seguinte Tab.5.1 estão indicados os tipos de fresas a utilizar nas diversas operações:

Operação	Fresa
Facejamento	Fresas com pastilhas de aresta reta, com ângulo de posição de 90°
Abertura de cavidades	Fresas com pastilhas de aresta reta, com ângulo de posição de 90°
	Fresas com pastilhas de aresta redonda
Fresagem de perfis	Fresas com pastilhas de aresta reta
	Fresas com pastilhas de aresta redonda
	Fresas inteiriças

Tabela 5.1: Fresas indicadas para as diversas operações de fresagem

5.2 Ferramentas

Como referido anteriormente, a indústria de moldes tem-se desenvolvido cada vez mais, procurando adquirir máquinas-ferramentas e ferramentas mais sofisticadas que possam fabricar os constituintes do molde no menor tempo possível com a mesma precisão, podendo assim diminuir os custos de fabricação.

Hoje em dia, as empresas fabricantes de ferramentas possibilitam a escolha de ferramentas com diferentes parâmetros de corte para a mesma operação, proporcionando às empresas de maquinação uma vasta gama de ferramentas para a peça a produzir. Estas ferramentas são escolhidas com base na operação a realizar (desbaste, furação, acabamento, etc), geometria, material a maquinar e máquina-ferramenta a utilizar. As ferramentas diferenciam-se entre si no material de fabrico, no comprimento, no número de dentes, no diâmetro da fresa, no revestimento, entre outros aspetos.

A figura 5.2 ilustra as operações necessárias para obter o produto final:

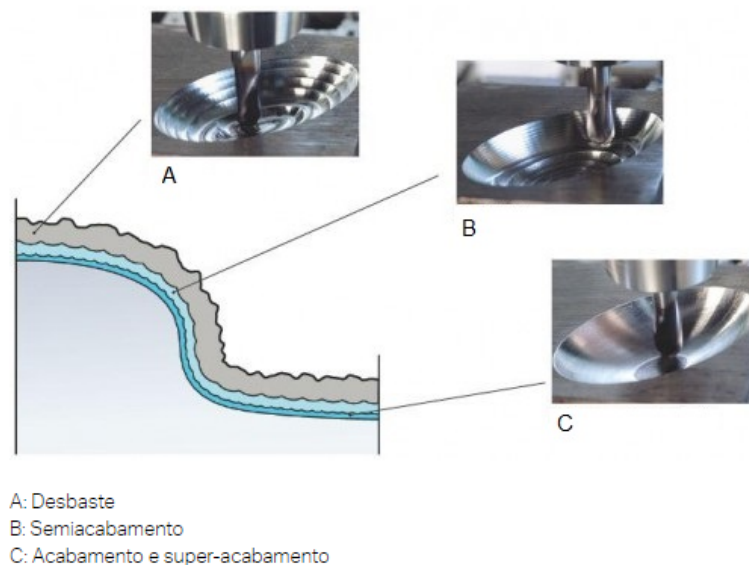


Figura 5.2: Diversas operações de fresagem esculpida [6]

Como é visível na figura 5.2, o desbaste é a operação que envolve um maior volume de material removido.

5.2.1 Parâmetros de corte

São diversos os fatores que influenciam a escolha de parâmetros, contudo existem equações que ajudam a determinar os melhores parâmetros de fresagem de maneira a aumentar a produtividade de fabricação e proporcionar uma boa qualidade de acabamento. Estes parâmetros são os seguintes:

- Velocidade de corte;
- Avanço por dente;
- Profundidade de corte radial; e
- Profundidade de corte axial.

Nas próximas sub-seções serão apresentadas as fórmulas utilizadas para o cálculo dos parâmetros. Estas equações são utilizadas durante o estudo realizado.

5.2.1.1 Velocidade de corte

A velocidade de corte (v) é dada pela seguinte Eq. 5.1 [7]:

$$v = N * D * \pi \quad (5.1)$$

Onde:

v = velocidade de corte

N = Rotações da árvore da máquina-ferramenta

D = Diâmetro da fresa

Como visto na equação acima a velocidade de corte depende do número de rotações impostas na máquina cnc, pelo que será sempre necessário ter em conta o limite das rotações do centro de maquinação a utilizar.

5.2.1.2 Avanço por dente

O avanço por dente é o percurso de cada dente, medido na direção de avanço da ferramenta, entre duas superfícies de corte consecutivas. A fórmula que permite calcular a velocidade de avanço é dada pela Eq. 5.2 [7]:

$$v_f = N * f_z * n \quad (5.2)$$

De onde:

v_f = Velocidade de avanço [mm/min]

f_z = Avanço por dente [mm/dente]

n = Número de dentes

O número de dentes está diretamente relacionado com a produtividade pois ao aumentar o número de dentes, o avanço da mesa pode ser aumentado, mas a velocidade de corte e de avanço podem-se manter iguais. Esta medida não aumenta a temperatura de aresta de corte mantendo assim o tempo útil da ferramenta [7].

5.2.1.3 Profundidade de corte radial

A profundidade de corte radial (e) é a largura que a ferramenta cobre na superfície a maquinar. É medida perpendicularmente ao eixo de rotação da ferramenta [7].

5.2.1.4 Profundidade de corte axial

Entende-se por profundidade de corte axial (p), a distância que a ferramenta é colocada abaixo da superfície a maquinar [7].

5.2.2 Taxa de Remoção de Material

Para além dos parâmetros enunciados acima, é de referir a importância do cálculo da taxa de remoção. Entende-se por taxa de remoção de material, o volume de material removido por unidade de tempo, representando o fluxo de material que atravessa a área de corte. A minimização do tempo de maquinação está relacionada com o aumento da taxa de remoção de material [7].

Na figura 5.3 encontra-se representado os parâmetros relevantes que são necessários considerar para o cálculo da taxa de remoção.

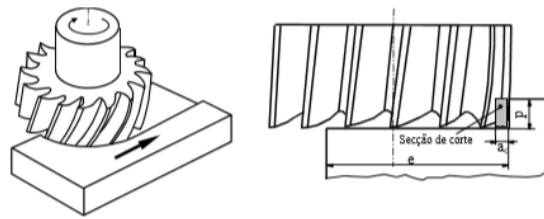


Figura 5.3: Parâmetros para calcular a taxa de remoção [7]

A taxa de remoção é dada pela Eq.5.3 [7]:

$$Z_m = p * e * f_r \quad (5.3)$$

De onde:

p = Profundidade de corte

e = Largura de corte

Como é possível observar através da equação enunciada em cima, a taxa de remoção depende da profundidade de corte, da largura de corte e da velocidade de avanço, pelo que qualquer alteração nestes parâmetros pode beneficiar o aumento da taxa de remoção e consequentemente a produtividade da empresa.

5.2.3 Potência

Com a taxa de remoção calculada e todos os parâmetros, será necessário calcular a potência necessária para a realização do corte. A potência tem duas formas de ser calculada. A primeira, é com base na taxa de remoção e na energia específica de corte (K_s) e a segunda, com base nas forças de corte geradas pelos dentes em corte. Esta última, é a aproximação mais exata sendo a considerada para calcular a potência durante o estudo realizado. Assim sendo, para calcular a potência é necessário saber a espessura da apara de cada dente, as forças de corte associadas a esses mesmos dentes e por fim, a potência necessária para a realização da maquinação.

Assim sendo, as equações necessárias para o cálculo da potência são:

1. Espessura da apara;

A espessura da apara é dada pela Eq.5.4 [7]:

$$h_d = f_z * \text{sen}(\theta) d \in [1, \text{Numerododentesemcorte}] \quad (5.4)$$

θ = Ângulo de imersão

O ângulo de imersão é o angulo que o dente faz com o plano perpendicular à direção da ferramenta [7].

A seguinte figura 5.4 mostra a formação da apara bem como o ângulo de imersão.

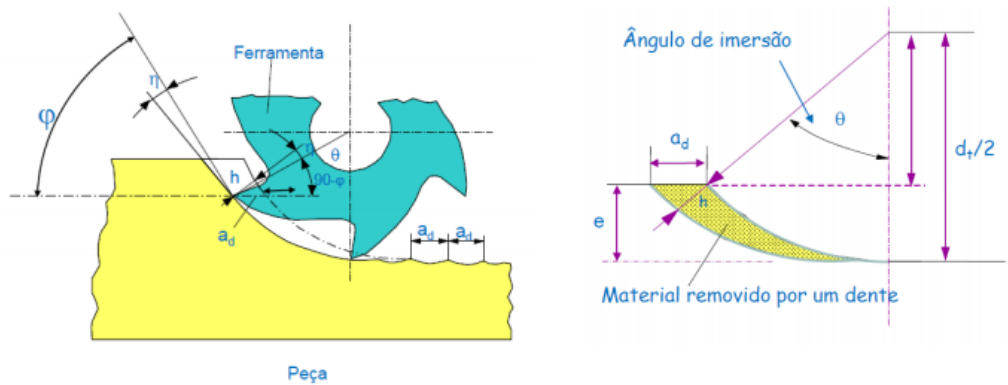


Figura 5.4: Formação da avara e ângulo de imersão [7]

2. Forças de corte;

Depois de calculada a espessura da avara para cada dente é necessário calcular a força de corte total. A força total é dada pela Eq.5.5 [7]:

$$F_{total} = \sum_{d=1}^{Numerodentes} h_d * p * K_s \quad (5.5)$$

De onde:

K_s = Energia específica de corte

3. Potência

Por fim, depois de calculadas as forças de corte, calcula-se a potência necessária através da seguinte Eq.5.6 [7]:

$$N_m = 2 * \pi i * \frac{N}{60} * F_{total} * \frac{D}{2} \quad (5.6)$$

5.2.4 Energia específica de corte

A determinação do K_s é fundamental para o cálculo das forças e da potência de corte. A energia específica de corte, dimensionalmente, é uma pressão, contudo também pode ser definida como uma quantidade de energia necessária para o processo de fresagem. Basicamente, caracteriza a resistência do material ao corte [7].

Existem diferentes expressões para a determinação da energia específica de corte que foram determinadas por diversas entidades. Contudo, a expressão proposta pela ASME (*American Society for Mechanical Engineers*) teve um grande impacto no mundo industrial.

A expressão 5.7 reflete essa mesma proposta de cálculo do K_s [7]:

$$K_s = \frac{C}{f_z^n} \quad (5.7)$$

De onde:

f_z = avanço por dente [mm/dente];

C= constante do material; e

n=0.2 para aços ou n=0.3 para ferro fundido.

A expressão 5.7 assume apenas a influência do avanço considerando o efeito da profundidade de corte desprezável.

5.2.4.1 Factores que influenciam a energia específica de corte

São diversos os fatores que afetam a energia específica de corte, contudo os mais importantes são [7]:

- Material da peça;
- Secção da apara;
- Geometria da ferramenta;
- Ângulo de posição; e
- Desgaste da ferramenta.

5.2.4.2 Secção da apara

Através de pesquisas e testes experimentais já realizados é conhecida a dependência da energia específica de corte com a área de corte. A fig. 5.5 mostra os resultados para vários materiais.

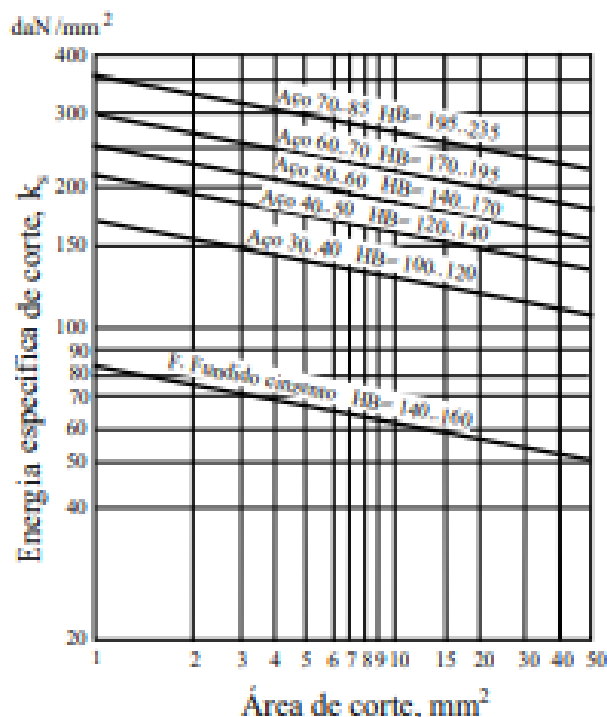


Figura 5.5: Energia específica de corte em função da área de corte [7]

Ao analisar o gráfico é possível concluir que ao manter a secção de corte, a energia específica de corte decresce com o aumento da espessura da apara, ou seja, com o aumento da profundidade. Com esta análise é possível admitir que uma maior taxa de remoção é mais favorável ao corte [7].

De uma maneira geral, o cálculo do K_s é bastante importante, já que afeta as escolhas de parâmetros utilizados na maquinação. A energia específica de corte é a grandeza mais relevante no processo de fresagem devido à dependência que tem com o material, a ferramenta e os parâmetros utilizados.

5.3 Otimização de parâmetros

Existe uma grande rivalidade entre autores de métodos e de softwares que defendem a otimização dos parâmetros mencionados acima. Apesar de existir uma grande viabilidade nos métodos já estudados, é sempre necessário recorrer ao estudo do molde a maquinar e à sua geometria de maneira a utilizar o método mais adequado.

Segundo K.W.Boothroyd [8], um dos grandes problemas da engenharia é minimizar, simultaneamente, os custos de produção e o tempo de produção defendendo que estes dois objetivos não conseguem ser alcançados simultaneamente. Um aumento da velocidade e da profundidade diminuirá o tempo de produção contudo os custos aumentarão devido à frequência com que se repõe as ferramentas. A estratégia contrária, tem a condicionante de aumentar o tempo de maquinação, no entanto os custos de ferramenta serão menores.

Boothroyd argumenta que um aumento da velocidade de corte ou da profundidade de corte afeta igualmente a máquina e o consumo de energia, contudo o aumento da velocidade leva a uma diminuição drástica no tempo de vida útil da ferramenta pelo que é sempre aconselhado uma primeira alteração no parâmetro da profundidade de corte. No entanto, este parâmetro é bastante afetado pela máquina de trabalho, pois um aumento da profundidade leva também a um aumento das forças de corte na ferramenta e consequentemente na máquina, provocando possíveis vibrações, peças defeituosas e desgaste na máquina/ferramenta.

De um ponto de vista mais evoluído, a Top-solid, empresa criadora de softwares CAM, criou um software chamado VoluMill [9] . Este, baseia-se num algoritmo de criação de trajetórias de maquinação fazendo um controlo da espessura das aparas tentando obter ganhos no tempo de maquinação e ao mesmo tempo diminuir o desgaste nas ferramentas e dos centros de maquinação. Os caminhos criados por este software, eliminam as mudanças bruscas de direção e as variações de carga na ferramenta. A Top-solid, defende um aumento de profundidade radial, aumentando assim o ângulo de contacto com o material a maquinar com um conseqüente aumento de produtividade.

A figura 5.6 mostra um exemplo do aumento da espessura da apara com o aumento da profundidade radial.

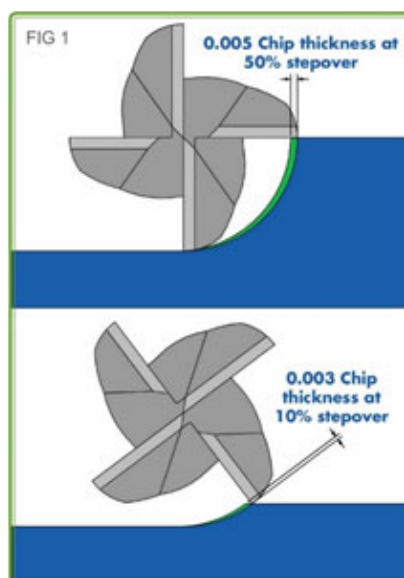


Figura 5.6: Espessura da apara com a profundidade de corte radial [9]

O aumento da velocidade de corte origina um aumento da carga na ferramenta devido às mudanças de direção, já que a o ângulo de contato da fresa com o material aumenta instantaneamente [9].

A seguinte 5.7 reflete esse aumento num curto intervalo de tempo.

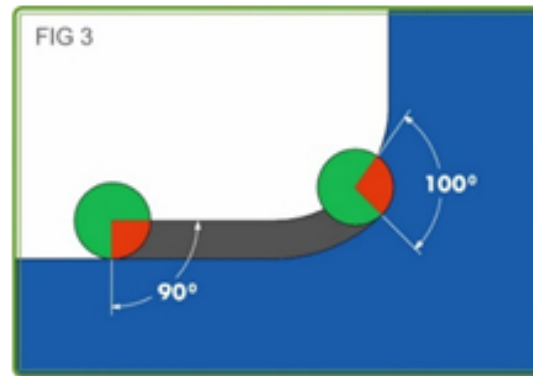


Figura 5.7: Mudança brusca de direção [9]

Como se verifica na fig. 5.7, a mudança de direção leva ao aumento do ângulo de contacto repentinamente, criando assim um corte instável que poderá resultar em problemas de vibração levando a defeitos de maquinação ou às folgas da máquina e da ferramenta mais rapidamente.

Ao longo dos últimos anos, a indústria de moldes tem-se deparado com o problema da eficiência dos parâmetros de maquinação, tornando-se, por isso, tema de muitos estudos. A utilização de parâmetros ótimos são uma grande preocupação para os fabricantes de moldes, pois os custos de maquinação têm uma grande influência na competitividade neste tipo de mercado. As técnicas de otimização de parâmetros surgiram para minimizar o número possível de combinação. Foram bastantes, as técnicas desenvolvidas a serem aplicadas à maquinação. Entre elas estão as seguintes:

- Método de Taguchi;
- Modelo da superfície de resposta;
- Algoritmos genéticos; e
- Lógica de fuzzy.

Todos os métodos e modelos estudados, fazem questão de serem direcionados para acabamentos e rugosidades estudando parâmetros demasiado pequenos como por exemplo profundidades de 0.2mm entre outros, pelo que não existe uma ligação destes métodos com os parâmetros de corte utilizados na operação de desbaste.

Contudo, nem todas as melhorias de produtividade no fabrico estão relacionadas com a alteração de parâmetros das ferramentas. Existem pequenas estratégias que podem ser utilizadas em todas as operações de maneira a diminuir os tempos de fabrico.

Existem vários defensores que mostram que 70% a 90% do custo do produto é determinado antes da fase de produção.

A seguinte Fig. 5.8 mostra que o investimento no projeto pode reduzir o custo e o tempo de lançamento do produto.

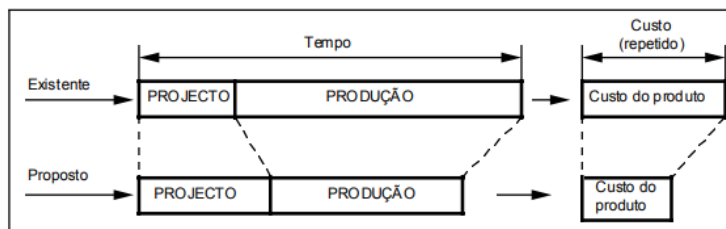


Figura 5.8: Investir no projeto para reduzir o custo e o tempo de lançamento do produto

A figura mostra a importância do projeto na concepção do produto, pelo que haverá sempre hipóteses de melhoria em toda as suas fases de produção.

5.4 Alto avanço vs alta profundidade

As empresas de maquinação de moldes, ao longo dos tempos, têm-se deparado com as possibilidades de escolhas de ferramentas e de máquinas levando os engenheiros a procurar respostas que possibilitem um aumento de produtividade e que consigam lutar com mais possibilidades de compra e com mais produção. .

Com esse objetivo, os fabricantes tentam produzir um conjunto de peças no mínimo tempo possível e a um custo reduzido. Muitas empresas começam com uma rigorosa seleção de ferramentas indicadas para a operação a realizar, contudo uma abordagem diferente pode reduzir custos e aumentar a eficiência.

Numa primeira fase os produtores de moldes devem de ter uma atenção especial na manutenção dos centros de maquinação, na programação CAM, sistemas de suporte de ferramentas e a respetiva refrigeração. Quando a empresa abordar todos os pontos referidos entrará na fase de escolha de ferramentas mantendo assim uma segurança no processo com uma grande produtividade e com redução de custos na produção [10].

Na produção de peças por fresagem, a empresa pode ter duas abordagens diferentes. Pode maximizar a taxa de remoção de material otimizando as ferramentas e os parâmetros de corte ou pode ter uma perspetiva mais ampla olhando para a produção da peça como um todo, ou seja, olhar para todas as fases necessárias na fabricação de peça, desde o bloco de material até ao produto final. Estas duas abordagens refletem-se nos custos de produção de maneira diferente. A primeira relaciona diretamente as condições de corte e o tempo de maquinação aos custos da peça, enquanto que a segunda abordagem aborda os custos como um todo, ou seja, tem em conta todo o tempo e todos os gastos para produzir uma determinada peça [10].

Depois de todos os processos serem otimizados, os fabricantes podem obter melhorias significativas em operações individuais, como as condições de corte. Os parâmetros de corte têm um papel fundamental na produtividade e nos custos da peça. Quaisquer alterações de parâmetros, pode levar a uma redução de tempos de maquinação, contudo essa alteração pode provocar um impacto na vida da ferramenta, danificar a peça ou até mesmo levar ao desgaste prematuro das máquinas aumentando assim custos em todos os setores, pelo que a sua alteração terá de ser minuciosamente estudada [10].

Exemplos disso, é o impacto da velocidade de corte na vida útil da ferramenta. Um aumento da velocidade de corte leva à redução de tempos de fabrico no entanto existem complicações que podem estar envolvidas com este parâmetro, pois as altas velocidades geram mais calor que afeta diretamente a ferramenta levando ao seu desgaste mais rapidamente. Este desgaste e a vibração da ferramenta, causada pelas altas velocidades, pode fazer com que as dimensões das peças variem e o acabamento superficial seja prejudicado. Foi com este intuito de relacionar a velocidade de corte com o desgaste da ferramenta, que o Sr. F.W.Taylor criou o modelo de Taylor que visa equilibrar a eficiência de custo e a produtividade.

Como visto, a velocidade de corte é um parâmetro que, quando alterado, poderá diminuir os tempos de fresagem e os custos. No entanto a partir de um certo ponto os gastos aumentam devido ao facto da vida útil da ferramenta diminuir, causando um aumento de custos das ferramentas e os tempos de troca da mesma. É devido a este fator que se aconselha os fabricantes de moldes a optarem por maiores profundidades e maiores taxas de avanço pois estas apenas estão sujeitas ao aperto da ferramenta, fixação do bloco e da potência do centro de maquinação. Uma abordagem equilibrada envolve velocidades de corte reduzidas combinadas com aumentos proporcionais na taxa de avanço e da profundidade. Esta abordagem produz taxas de remoção iguais ou até mesmo superiores às alcançadas somente com grandes velocidades de corte.

Ao longo dos anos têm-se realizado estudos que tentam perceber qual a melhor combinação de avanço e profundidade e qual o melhor a utilizar. Hoje em dia, muitas empresas na hora de escolher os parâmetros preferem utilizar altas taxas de avanço, que necessitam de uma profundidade axial pequena. Esta estratégia pode criar problemas ao nível da ferramenta, pois a parte que se encontra em corte, é a parte inferior da pastilha em vez de todo o seu comprimento, levando a que esta produza mais calor no fundo da plaquete, não distribuindo pela sua totalidade, causando um desgaste prematuro que pode resultar nas consequências mencionadas anteriormente como vibrações, má qualidade da peça, etc.

De maneira a estudar qual a estratégia a utilizar (Alto avanço ou profundidade) a revista *MoldMaking Technology* apresenta uma experiência utilizando uma fresa de topo e um sensor de forças [11].

Primeiramente, adotaram a estratégia dita tradicional, com uma alta taxa de avanço e com baixas profundidades. Através da experiência conseguiram "ouvir" a variação das forças no corte e fizeram essa observação através do gráfico da fig.5.9.

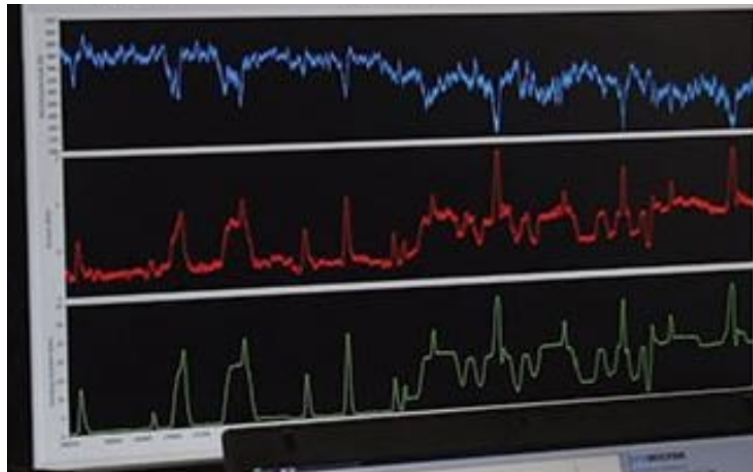


Figura 5.9: Gráfico referente às técnicas tradicionais de fresagem [11]

Os gráficos mostram picos que são o resultado do contacto da fresa com o material. O verde representa a torção e o vermelho o momento de flexão. Concluíram que a ferramenta de corte não estava no estado ótimo pois os pontos mais baixos do gráfico assinalado com a linha vermelha significam que a ferramenta está a remover pouco material, havendo momentos em que atinge um pico. Esta variação nas forças de corte levaram a equipa de engenheiros a concluir que os parâmetros utilizados não eram os mais eficientes para a operação em causa [11].

Por outro lado, utilizando uma maior profundidade, mantém-se uma taxa de corte constante reposicionando a ferramenta para o próximo corte. Isto permite menos choque das plaquetas com o material causando menos vibrações e aumentado assim a vida útil da ferramenta reduzindo os custos da mesma [11].

A fig. 5.10 mostra a consistência do corte ao longo do tempo utilizando uma maior profundidade. Os picos representam a ferramenta em corte e os pontos baixos quando a ferramenta não se encontra a cortar. Através da observação do gráfico percebe-se que a fresa "gasta" mais tempo a cortar otimizando assim o corte.



Figura 5.10: Gráfico correspondente a uma maior profundidade [11]

As duas experiências tiveram grandes discrepâncias em relação ao tempo total de maquinação. A experiência com parâmetros tradicionais realizou o trabalho em 8:09min enquanto que a segunda realizou a corte em 2:01min.

Concluíram assim que uma maior profundidade, para além de reduzir o tempo, reduziu também o desgaste e a probabilidade de danificar a ferramenta pois permitiu utilizar uma grande percentagem do comprimento da pastilha fazendo com que o calor se dissipe ao longo da mesma em vez de estar apenas concentrado na sua zona inferior. Contudo o aumento da profundidade axial leva a um aumento da espessura das limalhas pelo que se deverá, caso seja necessário, reduzir a profundidade radial para facilitar o escoamento sem afetar, em termos significativos, a taxa de remoção de material [11].

METODOLOGIAS

Um projeto para que tenha soluções credíveis e exatas é necessário uma sequência de etapas pré-definidas para que haja soluções viáveis e não muito dispersas daquilo que é o objetivo final.

Com a visão de assegurar a elaboração de um projeto seguro e viável é relevante identificar os pontos de tomada de decisão para que sejam identificados os pontos de melhoria e uma futura solução.

Para tal, este capítulo serve para identificar o caminho a realizar para que este seja objetivo e linear não havendo dispersão de trabalhos seguindo assim uma sequência de etapas que se identificam como as mais corretas para a chegada ao objetivo.

6.0.1 Recolha e análise de dados

A fase de recolha e análise de dados teve uma abordagem simples mas prática. Depois de clarificado o objetivo de estudar os parâmetros do avanço e da profundidade e as suas consequências na taxa de remoção e na capacidade da máquina-ferramenta, foi necessário proceder à recolha de informação junto da empresa para que se tenha como base de análise parâmetros e ferramentas utilizados(as) num meio real de produção. Para tal a empresa disponibilizou uma obra onde continha a peça a maquinar, as ferramentas utilizadas, bem como os parâmetros utilizados. Com os dados recolhidos, procedeu-se à sua análise. A análise foi realizada em duas fases:

- Análise das ferramentas utilizadas;
- Estudo dos parâmetros utilizados.

Na análise das ferramentas, procedeu-se a uma pesquisa nos respetivos fabricantes. Desta pesquisa, recolheu-se informação como:

- Características das ferramentas;
- Características das plaquetes;
- Operações a que se indica a ferramenta; e
- Parâmetros de catálogo.

Terminada a análise das ferramentas. Passou-se ao estudo de parâmetros e consequências ao nível da taxa de remoção e da capacidade da máquina. Nesta fase, foi elaborada uma folha de cálculo com as fórmulas mencionadas no capítulo anterior. Esta folha de cálculo, mostra os resultados para os seguintes dados:

- Energia específica de corte;
- Avanço por dente;
- Velocidade de corte;
- Taxa de remoção; e
- Potência.

Com os dados calculados e com o resultado da potência, foi possível analisar a rentabilidade dada ao uso da máquina-ferramenta e das fresas utilizadas. Com o estudo da potência, foi possível ver qual a percentagem utilizada da potência total disponível pelo centro de maquinaria e assim proceder a uma possível melhoria.

Por fim, realizou-se uma análise à utilização da ferramenta. Foi elaborada uma tabela com os tempos totais de cada fresa associados ao volume a maquinar. Da tabela, realizou-se gráficos circulares para uma melhor noção da distribuição; desses gráficos pretendeu-se visualizar qual a ferramenta que mais impacto tem na maquinaria da peça estudada. Essa ferramenta, e a operação associada à mesma, foi a base do estudo e da análise.

6.0.2 Estudo de possível melhoria

Depois da análise e do estudo de um exemplo real de maquinaria, procedeu-se à última fase do projeto. Esta fase teve subjacente as seguintes etapas:

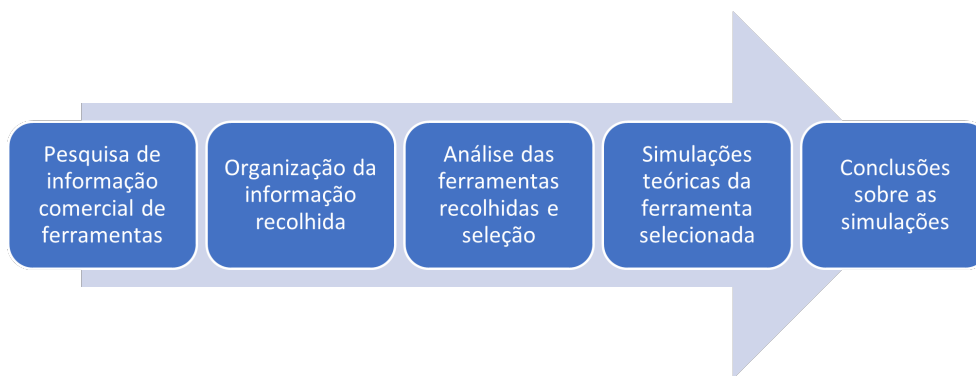


Figura 6.1: Etapas da 4ª fase do estudo realizado

As três primeiras etapas são relacionadas com a recolha de informação comercial, a sua organização e a sua análise, ou seja, procedeu-se à pesquisa de ferramentas de diversos fabricantes que melhor se ajustavam à operação de desbaste. Essa informação, foi organizada através da elaboração de uma base de dados. A realização da base de dados tornou possível a análise das ferramentas recolhidas possibilitando assim a seleção da ferramenta que melhor se associava à operação em estudo.

Selecionada a ferramenta, foram realizadas dois tipos de simulações. Na primeira simulação pretendeu-se visualizar a evolução dos parâmetros de avanço e da profundidade quando se mantém a taxa de remoção no tempo. Para tal elaborou-se uma folha de cálculo onde o valor de entrada seria a taxa de remoção pretendida e os valores de saída seriam a profundidade, forças de corte e potência de corte. Para tal foram elaboradas equações que calculavam os parâmetros (Profundidade, forças de corte e potência) a partir da taxa de remoção pretendida e dos avanços recomendados pelo catálogo. As equações são explicitadas no capítulo 8.

Na segunda simulação, à semelhança da primeira, pretendeu-se visualizar a evolução dos parâmetros de avanço e da profundidade quando se mantém a potência de corte. De igual forma à simulação anterior, elaborou-se uma folha de cálculo, no entanto o valor de entrada seria a potência pretendida. Os valores de saída foram a profundidade, forças de corte e a taxa de remoção. Também para esta simulação, foram elaboradas equações que calculam os parâmetros pretendidos através dos avanços catalogados e a potência pretendida. As equações são explicitadas no capítulo 8.

Com a metodologia pensada e as etapas estabelecidas, meteu-se em prática todos os pontos procedendo assim à continuação do estudo.

RECOLHA DE DADOS RELEVANTES SOBRE FERRAMENTAS UTILIZADAS NA EMPRESA

7.1 Introdução

Neste capítulo, apresenta-se todos os dados recolhidos na empresa bem como o seu estudo. Esta recolha de informação, teve subjacente o objetivo da dissertação: melhoria da produtividade com a racionalização dos parâmetros. Selecionou-se os dados mais relevantes, sempre com a preocupação das opções mais pertinentes para o estudo a desenvolver, permanentemente em cooperação com a empresa.

O ponto de partida para o desenvolvimento da dissertação foram as reuniões na empresa Aníbal H. Abrantes e a recolha de informação através dos trabalhadores. A realização de entrevistas a testemunhos privilegiados da empresa, a observação nas áreas de projeto, de produção entre outras, foram essenciais para a recolha de dados, permitindo assim uma análise aos trabalhos da empresa podendo obter conclusões e pontos de melhoria.

7.2 Procedimento

Após uma primeira reunião, a empresa disponibilizou ficheiros referentes à obra Nº10304. Estes ficheiros continham a peça final (Anexo 1) possibilitando uma visualização interativa, a recolha das dimensões e do volume total a maquinar. Também foram disponibilizadas as especificações, avaliações do perito à máquina-ferramenta utilizada e o documento com as fresas utilizadas. Este último segue em anexo (Anexo 2).

Do documento que especificava as ferramentas utilizadas foi possível retirar os seguinte parâmetros:

- Profundidade de corte;
- Espessura de corte;
- Rotações; e
- Avanço da mesa.

7.2.1 Máquina-ferramenta

A máquina-ferramenta utilizada é da marca AWEA, empresa nascida em 1986 em Taiwan, hoje é das maiores empresas fabricantes de máquinas-ferramentas CNC [12]. O modelo em questão é o VP2012. Este modelo é caracterizado por ter uma mesa de 2x1.1m com capacidade para 3500kg e uma potência de cerca de 18KW em trabalho contínuo. Ao analisar a avaliação do perito é possível observar folgas e incertezas causadas por uma utilização/desgaste contínuo.

Em anexo segue o documento com as especificações do centro CNC (Anexo 3) e a avaliação do perito (Anexo 4)

7.2.2 Ferramentas

Ainda com base nas informações disponibilizadas pela empresa, foi possível recolher as ferramentas utilizadas bem como os tempos de maquinação e os parâmetros aplicados. Estes dois últimos pontos são importantes para a análise dos parâmetros na próxima secção.

Na obra fornecida pela empresa, a fresagem está ao encargo de 3 fresas diferentes, totalizando 16 operações de maquinação num tempo total de 10h:11min.

As fresas utilizadas na obra são as seguintes (Anexo 5, Anexo 6) :

- Fresa CD65,7RT6
- Fresa CRP35RT1,8
- Fresa CRP20RT1,8

A fresa CD65,7RT6 é a fresa utilizada para a operação de desbaste. Esta fresa é da marca Depo com a referência 66631. É uma ferramenta com um diâmetro de 66mm, tem um total de 6 dentes com plaquetes redondas de 6mm de raio. Estas plaquetes são fabricadas na Moldino com a referência RDMT1204MOTN de classe JP4020. Esta classe é caracterizada por possuir um revestimento capaz de resistir ao choque e por ser utilizada em maquinação de metais com alguma dureza e em condições desfavoráveis [13].

A fresa CD65,7RT6 tem as seguintes características [14]:

- Indicada para fresagem de perfis;
- Tem um bom desbaste no que toca à operação indicada;
- Bom acabamento;
- Corte leve, gerando baixas forças de corte permitindo altas velocidades e altos avanços de mesa;
- Indicada para pequenas sobre espessuras de material, como indica a Fig.7.1.

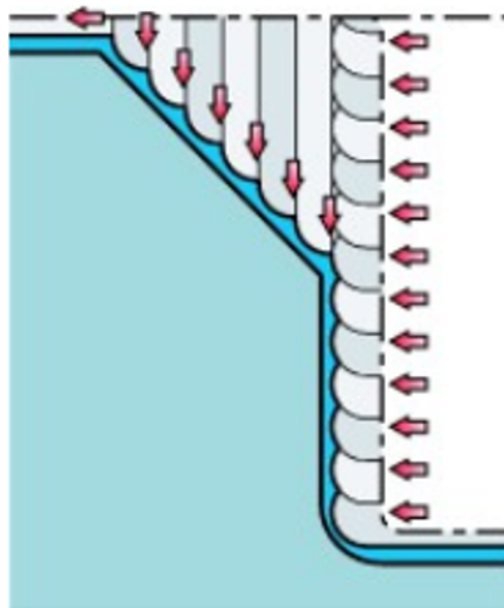


Figura 7.1: Sobre espessura pequena [6]

A fresa CRP35RT1,8, é da marca SECO (Anexo 7) com a referência R217.21-1635.RE-LP06.5A. É uma ferramenta com um diâmetro de 35mm e um total de 5 dentes com plaquetes de aresta reta [15].

A fresa CRP20RT1,8, é da marca SECO (Anexo 7) com a referência R217.21-1020.RE-LP06.3A. É uma ferramenta com um diâmetro de 20mm, e um total de 3 dentes com plaquetes de aresta reta [16].

Estas duas últimas ferramentas são ferramentas de alto avanço indicadas para acabamentos de superfícies. Utilizam plaquetes de aresta reta também da marca SECO com a referência LPHW060310TR-D06 de classe MP3000. Esta classe caracteriza-se por ser revestida em PVD e ideal para trabalhar em aços.

7.3 Análise de parâmetros e consequências ao nível da taxa de remoção e da capacidade da máquina-ferramenta

Esta secção serve para analisar as ferramentas em relação aos parâmetros utilizados. Serão abordadas todas as questões relacionadas com os parâmetros de corte, desde a taxa de remoção à potência utilizada, de maneira a concluir a estratégia utilizada.

Com base no documento fornecido pela empresa, onde estão estipulados os parâmetros utilizados pela Aníbal H. Abrantes, foi elaborada uma folha de cálculo utilizando o *Microsoft Office – Excel, 2020* com as fórmulas mencionadas no capítulo 5. Com os parâmetros recolhidos foi possível calcular o K_s , avanço por dente, velocidade de corte, taxa de remoção e a potência.

A avaliação dos parâmetros foi pela ordem de trabalhos, sendo assim, começou-se a análise da fresa de diâmetro 66mm, seguida da fresa 35mm e terminando com a fresa de diâmetro 20mm.

7.3.0.1 Análise com a fresa de diâmetro 66mm

A fresa de diâmetro 66mm foi a primeira fresa a ser utilizada pela empresa AHA na obra em causa. Esta fresa foi utilizada em 13 operações totalizando um tempo de 7h:46min. A Tab. 7.1 mostra os parâmetros utilizados na empresa para a operação de desbaste.

Tabela 7.1: Parâmetros utilizados com a fresa CD65,7RT6

Parâmetros	Valor
Profundidade (p)	0.6mm
Espessura de corte (e)	45mm
Rotações (N)	820rpm
Avanço da mesa (f)	5500mm/min

Com os parâmetros recolhidos e com as fórmulas mencionadas no Cap.5, chegou-se aos valores de avanço, velocidade de corte, taxa de remoção e potência. A seguinte Tab.7.2 mostra os parâmetros calculados.

Ao analisar os parâmetros escolhidos com os recomendados no catálogo, a empresa teve a preocupação de não alterar consideravelmente os parâmetros recomendados apenas um acréscimo da velocidade de avanço, contudo foi acompanhada com uma diminuição da velocidade de corte mantendo assim a estabilidade necessária para a maquinação. Ao analisar os parâmetros quantitativos, foi possível notar uma taxa de remoção de $148.5\text{cm}^3/\text{min}$, que se traduz numa potência de 7511W.

Esta potência é cerca de 34% da potência máxima da fresadora em trabalho contínuo.

7.3. ANÁLISE DE PARÂMETROS E CONSEQUÊNCIAS AO NÍVEL DA TAXA DE REMOÇÃO E DA CAPACIDADE DA MÁQUINA-FERRAMENTA

Tabela 7.2: Parâmetros calculados com a fresa CD65,7RT6

Parâmetros	Valor
K_s	2.31E+09 Pa
Avanço por dente (f_z)	1.12mm/dente
Velocidade de corte (V)	170m/min
Taxa de remoção (Zm)	148.5cm ³ /min
Potência (Nm)	7511W

7.3.0.2 Análise com a fresa de diâmetro 35mm

A fresa de diâmetro 35mm foi a segunda fresa a utilizada pela empresa AHA. Esta fresa foi utilizada em 2 operações num total de 2h:04min. A Tab. 7.3 mostra os parâmetros utilizados na empresa para a operação de pré-acabamento.

Tabela 7.3: Parâmetros utilizados com a fresa CRP35RT1,8

Parâmetros	Valor
Profundidade (p)	0.35mm
Espessura de corte (e)	23mm
Rotações (N)	1730rpm
Avanço da mesa (f)	5500mm/min

Com os parâmetros recolhidos e com as fórmulas mencionadas no Cap.5, chegou-se aos valores de avanço, velocidade de corte, taxa de remoção e potência. A Tab.7.4 mostra os parâmetros calculados.

Tabela 7.4: Parâmetros calculados com a fresa CRP35RT1,8

Parâmetros	Valor
K_s	2.58E+09 Pa
Avanço por dente (f_z)	0.64mm/dente
Velocidade de corte (V)	190m/min
Taxa de remoção (Zm)	44.3cm ³ /min
Potência (Nm)	2810W

Ao analisar os parâmetros escolhidos com os recomendados no catálogo, a empresa teve a preocupação de não alterar os parâmetros recomendados apenas diminuiu a profundidade para metade, contudo esta diminuição não reflete a incorreta utilização da

ferramenta pois a espessura de material a remover poderia obrigar a diminuição da profundidade de corte.

Ao analisar os parâmetros quantitativos, foi possível notar uma taxa de remoção de $44.3\text{cm}^3/\text{min}$, que se traduz numa potência de 2810W. Esta potência é cerca de 12.8% da potência máxima da fresadora. O facto de ser operações de pré-acabamento/acabamento, é normal a potência necessária ser baixa pelo facto de não estarem a ser utilizados parâmetros demasiado agressivos, pois trata-se do acabamento final da peça.

7.3. ANÁLISE DE PARÂMETROS E CONSEQUÊNCIAS AO NÍVEL DA TAXA DE REMOÇÃO E DA CAPACIDADE DA MÁQUINA-FERRAMENTA

7.3.0.3 Análise com a fresa de diâmetro 20mm

A fresa de diâmetro 20mm foi a terceira e última fresa utilizada pela empresa AHA. Esta fresa foi utilizada em 1 operação num total de 21min. A seguinte Tab. 7.5 mostra os parâmetros utilizados na empresa para a operação de acabamento.

Tabela 7.5: Parâmetros utilizados com a fresa CRP20RT1,8

Parâmetros	Valor
Profundidade (p)	0.25mm
Espessura de corte (e)	12mm
Rotações (N)	3025rpm
Avanço da mesa (f)	4000mm/min

Com os parâmetros recolhidos e com as fórmulas mencionadas no Cap.4, chegou-se aos valores de avanço, velocidade de corte, taxa de remoção e potência. A seguinte Tab.7.6 mostra os parâmetros calculados através das fórmulas.

Tabela 7.6: Parâmetros calculados com a fresa CRP20RT1,8

Parâmetros	Valor
K_s	2.78E+09 Pa
Avanço por dente (f_z)	0.44mm/dente
Velocidade de corte (V)	190m/min
Taxa de remoção (Zm)	12cm ³ /min
Potência (Nm)	951W

Ao analisar os parâmetros escolhidos com os recomendados no catálogo, a empresa teve a preocupação de não alterar os parâmetros recomendados apenas diminuiu a profundidade para 0.25mm, contudo esta diminuição não reflete a incorreta utilização da ferramenta pois a espessura de material a remover poderia obrigar à diminuição da profundidade de corte. Ao analisar os parâmetros quantitativos, foi possível notar uma taxa de remoção de 12cm³/min, que se traduz numa potência de 980W.

Esta potência é cerca de 4.5% da potência máxima da fresadora. O facto de ser uma operação de acabamento, é normal a potência utilizada ser baixa, pelo facto de não estarem a ser utilizados parâmetros demasiado agressivos pois trata-se do acabamento final da peça.

7.4 Análise de utilização de ferramentas

Depois de analisar a taxa de remoção e as potências, fizeram-se análises de tempos de maquinação bem como do volume de material a remover por cada fresa. Na Tab.7.7 estão explicitados os tempos totais de cada fresa associados a uma quantidade de volume a maquinar.

Tabela 7.7: Tempos de maquinação e volume a maquinar

Fresas	Tempo total (min)	Volume total (cm ³)
Fresa CD65,7RT6	466min (7h:46min)	68000cm ³
Fresa CRP35RT1,8	124min (2h:04min)	5785cm ³
Fresa CRP20RT1,8	21min	252cm ³

Na (Fig. 7.2) é possível visualizar a percentagem que cada fresa ocupa no tempo total de maquinação da peça, enquanto que a (Fig.7.3) pretende mostrar qual a percentagem de material removido por cada.

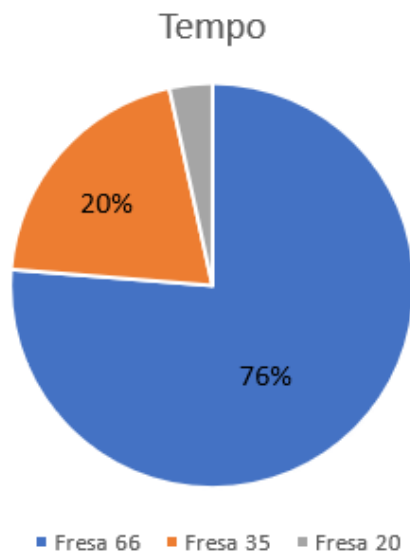


Figura 7.2: Tempos de maquinação por cada fresa

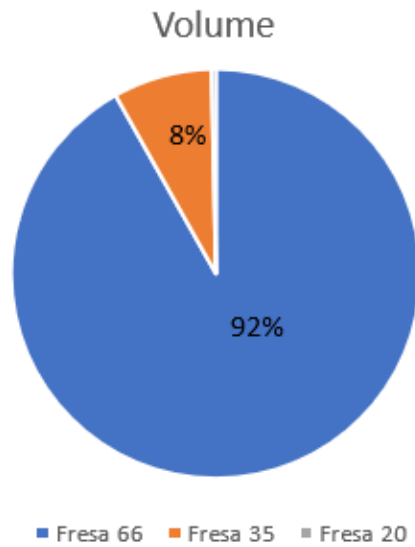


Figura 7.3: Distribuição dos volumes maquinados por cada fresa

7.5 Conclusão - Operação objeto de estudo

Após uma análise a todas as fresas e às operações respetivas, optou-se por estudar a operação ligada à fresa CD65,7RT6 por se considerar a operação de desbaste mais significativa, a qual iria incidir o objetivo da dissertação. Com a recolha de dados e as pesquisas realizadas sobre as ferramentas utilizadas, constatou-se que a fresa CD65,7RT6 era indicada para a operação de desbaste em espessuras de material pequenas não mencionando a sua utilização em desbaste de grandes volumes de material levando assim à consideração, uma hipótese de melhoria nessa operação.

A possível melhoria pode levar a uma redução significativa do tempo total de maqui-
nação, visto que 92% do volume é maquinado pela fresa de diâmetro 66mm ocupando
cerca de 76% do tempo total.

Pelas razões apontadas, considerou-se que a fresa que mais relevância tem na pro-
dução desta placa é a fresa CD65,7RT6. No próximo capítulo serão abordados todos os
procedimentos e desenvolvimentos até uma possível proposta de melhoria.

RECOLHA E ORGANIZAÇÃO DE INFORMAÇÃO COMERCIAL DE FERRAMENTAS

Neste capítulo, serão apresentadas as pesquisas feitas das ferramentas existentes no mercado indicadas para o desgaste. Também serão realizadas simulações teóricas que possam levar a conclusões futuras.

8.1 Introdução

As empresas, como referido anteriormente, têm vindo a evoluir tecnologicamente de maneira a competir com outras grandes potências industriais. Esta evolução tem sido gradual e tem sido acompanhada quer pelas empresas fabricantes de centros de maquinaria quer pelas empresas produtoras de ferramentas de corte. Com o aumento da concorrência, as empresas tiveram a necessidade de evoluir para oferecer os melhores produtos aos seus clientes e proporcionar reduções a todos os níveis, tais como:

- Redução de custos a nível energético;
- Redução do desgaste das ferramentas;
- Redução de tempos de maquinaria;
- Redução de esforços nas máquinas aumentando assim a sua vida e diminuindo a manutenção, entre outros.

Hoje, existe uma grande variedade de empresas produtores de ferramentas de corte. Um são mais especializadas em certas operações que outras, contudo continua a haver diversas opções de escolha dando assim uma vasta possibilidade de escolha de ferramentas consoante a operação de fresagem a realizar.

As empresas que talvez mais se destacam neste ramo por causa da sua versatilidade, tecnologia e produtos são:

- Iscar;
- Sandvik;
- Kennametal;
- Seco.

Todas as empresas mencionadas em cima, têm uma vasta escolha de ferramentas proporcionando um aumento da produtividade da empresa consoante as operações a realizar.

8.2 Ferramentas recolhidas

No âmbito da dissertação, fez-se uma pesquisa e recolheu-se as ferramentas que melhor se aplicavam à operação de fresagem a estudar - o desbaste-, cuja compilação com os dados relevantes encontra-se no Anexo 8.

Na escolha das ferramentas teve-se em atenção as profundidades máximas de cada ferramenta, os diâmetros, o número de dentes e ainda o material a que se destina a mesma. Nesta seleção, também se optou por ferramentas capazes de gerar baixas forças de corte e de causar as mínimas vibrações possíveis com tecnologias como *Silent-tools*. As ferramentas estão organizadas por empresa fabricante e por tipo de operação.

A profundidade das ferramentas recolhidas varia entre 2,8mm e 71mm e os diâmetros entre 50mm e 100mm

8.3 Escolha de ferramenta

A ferramenta selecionada é da gama CoroMill390 da Sandvik. Estas fresas são indicadas, pela empresa, para a operação de desbaste na indústria de moldes. A CoroMill390 abrange muitas aplicações com um programa amplo e versátil. As fresas geram cantos a 90° com ótima qualidade e são ideais para operações de fresagem em rampa e interpolação helicoidal [17].

A CoroMill390 tem as seguintes particularidades [17]:

- Tolerâncias apertadas proporcionando um excelente acabamento superficial;
- Grande profundidade de corte e capacidade de fresamento em rampas acentuadas;
- Disponíveis diferentes diâmetros;
- Fresa Lightweight disponível para combinar com adaptadores de fresamento Silent Tools™ para vibração reduzida e maior estabilidade;

- Integrado à tecnologia antivibração para maior remoção de metal e melhor acabamento superficial com pastilhas tamanho 7mm e 11mm.

As suas principais aplicações são [17]:

- Fresamento de cantos a 90°;
- Fresamento de cantos a 90° profundos;
- Fresagem lateral;
- Fresagem de cavidades;
- Fresamentos helicoidal;
- Fresamento em rampa.

As pastilhas são de aresta reta no intervalo de valores de [7mm a 18mm]. As plaquetas possuem duas arestas de corte, geram um corte leve e possuem classes de alto desempenho. Estas últimas características permitem uma fresagem sem vibrações, gerando baixas forças de corte e proporcionando uma fresagem segura na maquinação de todos os materiais [17].

Analisada a gama de fresas pertencentes à família CoroMill390, a fresa escolhida foi a fresa de referência R390-066Q22-18M.No Anexo 8 estão as características da ferramenta bem como os parâmetros de catálogo.

A escolha recaiu numa fresa de diâmetro 66mm pelo facto de ter o mesmo diâmetro e o mesmo número de dentes da ferramenta utilizada pela empresa Aníbal H. Abrantes dando assim possibilidade de comparação de valores e parâmetros.

As pastilhas utilizadas nesta ferramenta têm um comprimento de aresta de 18mm. No catálogo disponibilizado pela empresa, existem 16 plaquetas compatíveis com a fresa escolhida, de onde 10 pertencem às pastilhas de corte leve, 5 às pastilhas de corte médio e por fim apenas uma pastilha pertence ao grupo de corte pesado.

A diferença entre as pastilhas, é o intervalo de parâmetros utilizados. Devido às características do material a maquinar (Aço 2738) e à operação a realizar decidiu-se optar por plaquetas de corte médio de referência R390-180612M-PM.

As pastilhas em questão têm uma profundidade máxima de corte de 15.4mm e 1.2mm de raio de ponta dando assim mais possibilidade de escolha de avanços. A classe escolhida para as pastilhas foi a classe GC1130. É uma classe altamente confiável, projetada para maquinar em condições difíceis aumentando a vida útil das ferramentas tornando o processo de desbaste mais seguro [18].

Os benefícios da GC1130 são [18]:

- Maquinação mais segura com uma maior vida útil da pastilha, devido às arestas limpas e intactas;

- Alta taxa de remoção de metal, mesmo em condições difíceis e instáveis;
- Excelente desempenho na fresagem com e sem refrigeração.

A classe GC1130 da Sandvik tem um substrato com alto teor de Cr resistindo assim ao lascamento da aresta e ao desgaste contínuo causado pela maquinação em condições exigentes, como por exemplo variações de temperatura ou mesmo variações bruscas de forças de corte, oferecendo assim um corte mais suave e mais seguro. A área de aplicação das pastilhas engloba todos os tipos de aços.

A junção da CoroMill390 com a classe GC1130 é ótima para fresagem de cavidades profundas, desbastes de grandes quantidades de material, longos períodos de fresagem e para uma maquinação em condições desfavoráveis [18].

8.4 Simulações

Nesta secção são apresentados os resultados obtidos na sequência das simulações realizadas. Estas experiências têm como objetivo estudar o comportamento dos parâmetros da fresa CoroMill390 e da fresa CD65,7RT6 e conseguir concluir o desempenho destas, fazendo variar unicamente o avanço e a profundidade.

De maneira a ter pontos de comparação a velocidade de corte utilizada foi de 170m/-min (Igual à velocidade de corte utilizada na AHA) em todas as simulações. As características e parâmetros das ferramentas que foram utilizados constantes nos ensaios estão apresentadas na Tab.8.1 para o caso da fresa Sandvik e na Tab. 8.2 para o caso da ferramenta utilizada na Aníbal H. Abrantes.

Tabela 8.1: Características e parâmetros constantes nas simulações- R390-066Q22-18M

Características	Parâmetros
Diâmetro (D)	66mm
Número de dentes (Z)	6
Rotações (N)	820rpm
Profundidade radial (e)	49.5mm

Tabela 8.2: Características e parâmetros constantes nas simulações - CD65,7RT6

Características	Parâmetros
Diâmetro (D)	66mm
Número de dentes (Z)	6
Rotações (N)	820rpm
Profundidade radial (e)	45mm

Estes parâmetros, mantiveram-se constantes ao longo de todas as simulações de maneira a ter variável apenas o avanço e a profundidade.

As simulações realizadas foram as seguintes:

- Primeira simulação: Manter a taxa de remoção igual no tempo fazendo variar o avanço e a profundidade;
- Segunda simulação: Manter a potência igual no tempo com a variação do avanço e da profundidade;

8.4.1 Primeira simulação: Manter a taxa de remoção igual no tempo fazendo variar o avanço e a profundidade

A primeira simulação consiste em manter, no tempo, a taxa de remoção. Para tal, decidiu-se escolher uma taxa de remoção igual a $220\text{cm}^3/\text{min}$. Esta taxa de remoção é cerca de 65% superior à taxa de remoção obtida com os parâmetros da empresa. Esta simulação foi realizada para as duas fresas, a fresa de alto avanço Depo (CD65,7RT6) e a fresa CoroMill390 escolhida.

Para tal realizou-se uma folha de cálculo onde a entrada seria a taxa de remoção pretendida e todos os valores dependeriam dessa mesma taxa como visto no capítulo 6. Esta folha de cálculo é viável para qualquer taxa de remoção não havendo necessidade de qualquer alteração aos valores e às fórmulas escolhidas para a obtenção dos parâmetros.

A folha de cálculo está dividida em 4 colunas. A primeira coluna diz respeito ao intervalo de valores de avanços recomendados. No caso da fresa da Sandvik o intervalo escolhido para o avanço foi $f_z = [0.08; 0.3]$ enquanto que para a fresa Depo o intervalo foi $f_z = [0.5; 1.2]$. A segunda coluna calcula, com base no avanço, a profundidade necessária que faz corresponder à taxa de remoção pretendida. A profundidade foi calculada utilizando a seguinte Expressão 8.1:

$$p = \frac{Z_m}{\frac{e * f_z * N * Z}{1000}} \quad (8.1)$$

Como a espessura de corte (e), o número de rotações (N) e o número de dentes (Z) são constantes nas duas fresas, podemos substituir esses mesmos na expressão ficando

assim com a Eq.8.2 para o caso da R390-066Q22-18M e com a Eq. 8.3 para os parâmetros utilizados na empresa:

$$p = \frac{Z_m}{243.54 * f_z} \quad (8.2)$$

$$p = \frac{Z_m}{221.4 * f_z} \quad (8.3)$$

A terceira coluna, dá os valores correspondentes às forças de corte. Para tal, houve a necessidade de chegar à seguinte Expressão 8.4:

$$F_{total} = \sum_{d=1}^{Numerodentes} f_z * sen(\theta) * p * K_s \quad (8.4)$$

Para o cálculo das forças, as fresas comportam-se de maneiras diferentes visto que temos diferentes espessuras de corte (e). No caso da ferramenta CoroMill390 os $sen(\theta)$ são iguais (Explicado no Cap.5), enquanto que na fresa Depo, como a largura de corte é diferente, os ângulos de corte são diferentes.

Assim sendo para a fresa CoroMill390, os ângulos e a respetiva expressão é:

$$\theta = \frac{360}{Z} = \frac{360}{6} = 60^\circ$$

$$\theta' = \cosh \frac{e - \frac{D}{2}}{\frac{D}{2}} = \cosh \frac{49.5 - 33}{33} = 60^\circ$$

Com os ângulos principais calculados, pode-se calcular o ângulo que os dentes em corte fazem com o plano vertical.

$$\theta_1 = 180 - 60 = 120^\circ$$

$$\theta_2 = 120 - 60 = 60^\circ$$

Com estes cálculos verificou-se que dois dos seis dentes estão em corte. Assim sendo, substitui-se os valores na equação 8.4 ficando com a Eq.8.5:

$$F_{total} = f_z * \sin 120 * p * \frac{200 * 10^7}{f_z^{0.2}} + f_z * \sin 60 * p * \frac{200 * 10^7}{f_z^{0.2}} \quad (8.5)$$

Expressada a equação para o cálculo das forças na fresa da marca Sandvik, falta mostrar a expressão para o cálculo das forças na fresa utilizada na empresa Aníbal H. Abrantes. Começou-se por calcular os ângulos entre os dentes e o plano de corte, sendo estes calculados de igual maneira, contudo como a largura de corte é diferente têm-se os seguintes ângulos:

$$\theta = \frac{360}{6} = 60^\circ$$

$$\theta' = \cosh \frac{45 - 33}{33} = 68.67^\circ$$

Com os ângulos principais calculados, estão criadas as condições para calcular o ângulo que os dentes fazem com o plano vertical.

$$\theta_1 = 180 - 68.67 = 111.32^\circ$$

$$\theta_2 = 111.32 - 68.67 = 51.32^\circ$$

Verificou-se à mesma, dois dentes em corte, que substituindo na equação força leva à seguinte expressão 8.6:

$$F_{total} = a * \sin 111.32 * P * \frac{200 * 10^7}{a^{0.2} + a * \sin 51.32 * P * \frac{200 * 10^7}{a^{0.2}}} \quad (8.6)$$

Por último, a quarta coluna dá a potência necessária para realizar o corte. Esta, é calculada de igual forma para as duas ferramentas chegando assim à expressão 8.7:

$$N_m = 2 * pi * \frac{N}{60} * F_{total} * 10^{-3} \quad (8.7)$$

Substituindo pelos valores constantes ao longo de todas as experiências a Eq.8.8:

$$N_m = \frac{820 * pi}{3} * F_{total} * 10^{-3} \quad (8.8)$$

Desmonstradas as expressões, passou-se então à observação dos resultados. As seguintes tabelas refletem os resultados para a taxa de remoção de 220cm³/min. A Tab.8.3 diz respeito aos parâmetros obtidos para a CoroMill390, enquanto que a Tab.8.4 apresenta os valores para a fresa Depo.

CAPÍTULO 8. RECOLHA E ORGANIZAÇÃO DE INFORMAÇÃO COMERCIAL DE FERRAMENTAS

Tabela 8.3: Resultados da simulação com a fresa R390-066Q22-18M

	Avanço (mm/- dente)	Profundidade (mm)	Forças de corte (N)	Potência de corte (W)
1	0,08	11,3	5186	14695
2	0,09	10,0	5065	14353
3	0,1	9,0	4959	14054
4	0,11	8,2	4866	13788
5	0,12	7,5	4782	13550
6	0,13	6,9	4706	13335
7	0,14	6,5	4637	13139
8	0,15	6,0	4573	12959
9	0,16	5,6	4514	12793
10	0,17	5,3	4460	12639
11	0,18	5,0	4409	12495
12	0,19	4,8	4362	12360
13	0,2	4,5	4317	12234
14	0,21	4,3	4275	12116
15	0,22	4,1	4236	12003
16	0,23	3,9	4198	11897
17	0,24	3,8	4163	11796
18	0,25	3,6	4129	11700
19	0,26	3,5	4097	11609
20	0,27	3,3	4066	11522
21	0,28	3,2	4036	11438
22	0,29	3,1	4008	11358
23	0,3	3,0	3981	11281

Tabela 8.4: Resultados da simulação com a fresa CD65,7RT6

	Avanço (mm/- dente)	Profundidade (mm)	Forças de corte (N)	Potência de corte (W)
1	0,5	2,0	3909	11076
2	0,51	1,9	3893	11033
3	0,52	1,9	3878	10990
4	0,53	1,9	3863	10948
5	0,54	1,8	3849	10907
6	0,55	1,8	3835	10867
7	0,56	1,8	3821	10828
8	0,57	1,7	3808	10790
9	0,58	1,7	3794	10752
10	0,59	1,7	3781	10716
11	0,6	1,7	3769	10680
12	0,61	1,6	3756	10644
13	0,62	1,6	3744	10610
14	0,63	1,6	3732	10576
15	0,64	1,6	3720	10543
16	0,65	1,5	3709	10510
17	0,66	1,5	3698	10478
18	0,67	1,5	3687	10447
19	0,68	1,5	3676	10416
20	0,69	1,4	3665	10385
21	0,7	1,4	3654	10355
22	0,71	1,4	3644	10326
23	0,72	1,4	3634	10297
24	0,73	1,4	3624	10269
25	0,74	1,3	3614	10241
26	0,75	1,3	3604	10214
27	0,76	1,3	3595	10187
28	0,77	1,3	3585	10160
29	0,78	1,3	3576	10134
30	0,79	1,3	3567	10108
31	0,8	1,2	3558	10083
32	0,81	1,2	3549	10058
33	0,82	1,2	3541	10033
34	0,83	1,2	3532	10009
35	0,84	1,2	3524	9985

CAPÍTULO 8. RECOLHA E ORGANIZAÇÃO DE INFORMAÇÃO COMERCIAL DE FERRAMENTAS

: Tabela 8.4: Resultados da simulação com a fresa CD65,7RT6 (Continuação)

36	0,85	1,2	3515	9961
37	0,86	1,2	3507	9938
38	0,87	1,1	3499	9915
39	0,88	1,1	3491	9892
40	0,89	1,1	3483	9870
41	0,9	1,1	3475	9848
42	0,91	1,1	3468	9826
43	0,92	1,1	3460	9805
44	0,93	1,1	3453	9783
45	0,94	1,1	3445	9763
46	0,95	1,0	3438	9742
47	0,96	1,0	3431	9722
48	0,97	1,0	3424	9701
49	0,98	1,0	3417	9682
50	0,99	1,0	3410	9662
51	1	1,0	3403	9642
52	1,01	1,0	3396	9623
53	1,02	1,0	3389	9604
54	1,03	1,0	3383	9586
55	1,04	1,0	3376	9567
56	1,05	0,9	3370	9549
57	1,06	0,9	3363	9531
58	1,07	0,9	3357	9513
59	1,08	0,9	3351	9495
60	1,09	0,9	3345	9478
61	1,1	0,9	3339	9460
62	1,11	0,9	3332	9443
63	1,12	0,9	3327	9426
64	1,13	0,9	3321	9410
65	1,14	0,9	3315	9393
66	1,15	0,9	3309	9377
67	1,16	0,9	3303	9360
68	1,17	0,8	3298	9344
69	1,18	0,8	3292	9329
70	1,19	0,8	3286	9313
71	1,2	0,8	3281	9297

Com as tabelas realizadas e os dados organizados, gerou-se gráficos de linhas de maneira a observar as evoluções do avanço e da profundidade. A fig.8.1 mostra a evolução dos parâmetros na CoroMill390 enquanto que a fig.8.2 diz respeito à fresa de alto avanço.

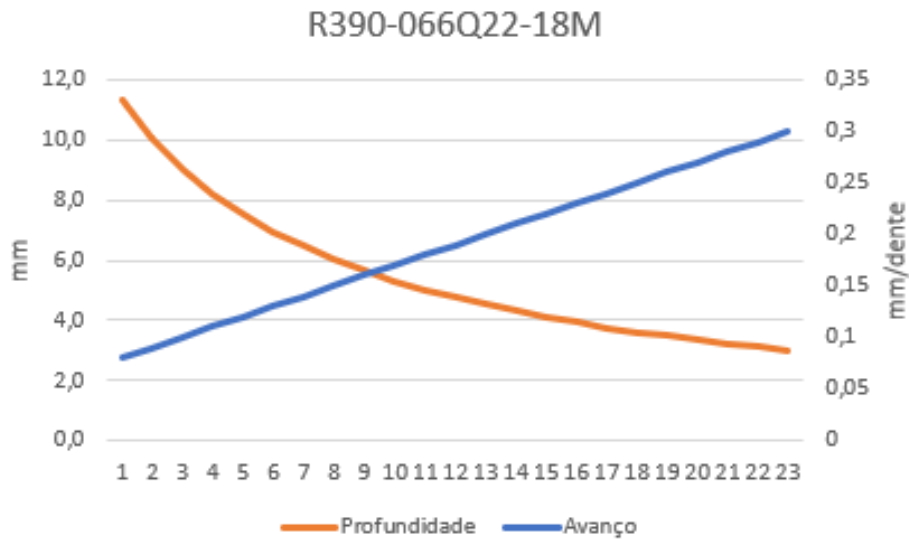


Figura 8.1: Evoluções do avanço e da profundidade para a fresa R390-066Q22-18M

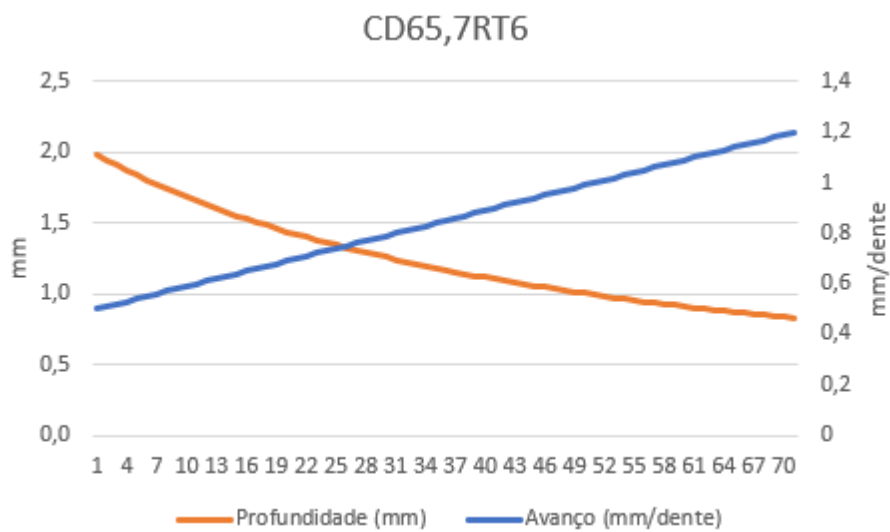


Figura 8.2: Evoluções do avanço e da profundidade para a fresa CD65,7RT6

Ao visualizar os gráficos, é possível observar que o parâmetro da profundidade não é linear. A sua evolução ao longo do gráfico tem semelhanças com uma função logarítmica. Para melhor compreensão dessa semelhança decompôs-se a expressão 8.5 em duas funções força, uma função a depender do avanço e uma segunda a depender da profundidade.

Para se chegar a essas expressões utilizou-se a equação da taxa de remoção para isolar as variáveis da profundidade e do avanço podendo assim proceder à substituição de qualquer parâmetro na função força.

A primeira função, é em função do avanço. Para tal substitui-se a velocidade de avanço pela sua expressão (eq.5.2) ficando assim a taxa de remoção unicamente a depender do avanço e da profundidade. Por fim, isolou-se a variável do parâmetro profundidade na expressão da taxa de remoção como mostra a equação 8.9 e substitui-se na equação 8.5 ficando assim com a função força dada pela expressão 8.10.

$$p = \frac{220}{49.5 * f_z * 820 * 6 * 10^{-3}} \quad (8.9)$$

$$F(f_z) = 2 * f_z * 0.866 * \frac{220}{243.54 * f_z} * \frac{200}{f_z^{0.2}} * 10 \quad (8.10)$$

A fig. 8.3 mostra a função força a depender do avanço.

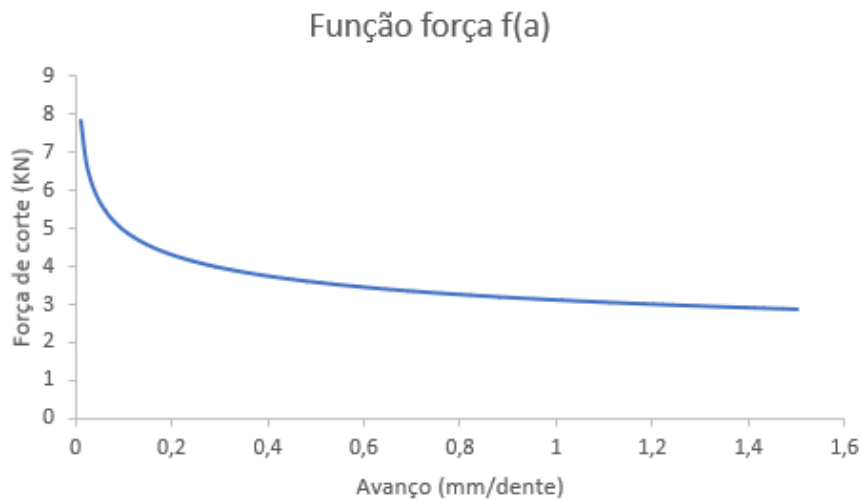


Figura 8.3: Função força a depender do avanço

Através do gráfico visualizou-se que a função é decrescente concluindo que quanto maior o avanço menor será a força de corte imposta para a taxa de remoção em estudo.

Para mostrar a função força a depender da profundidade, o raciocínio foi idêntico isolando assim a variável do parâmetro do avanço na equação 8.11. Ao se substituir na equação 8.5 fica-se com a função força dada pela equação 8.12:

$$f_z = \frac{220}{49.5 * p * 820 * 6 * 10^{-3}} \quad (8.11)$$

$$F(p) = 2 * p * 0.866 * \frac{220}{243.54p} * \frac{200}{\frac{220}{243.54p}^{0.2}} * (1/100) \quad (8.12)$$

A fig. 8.4 mostra a função força a depender da profundidade.

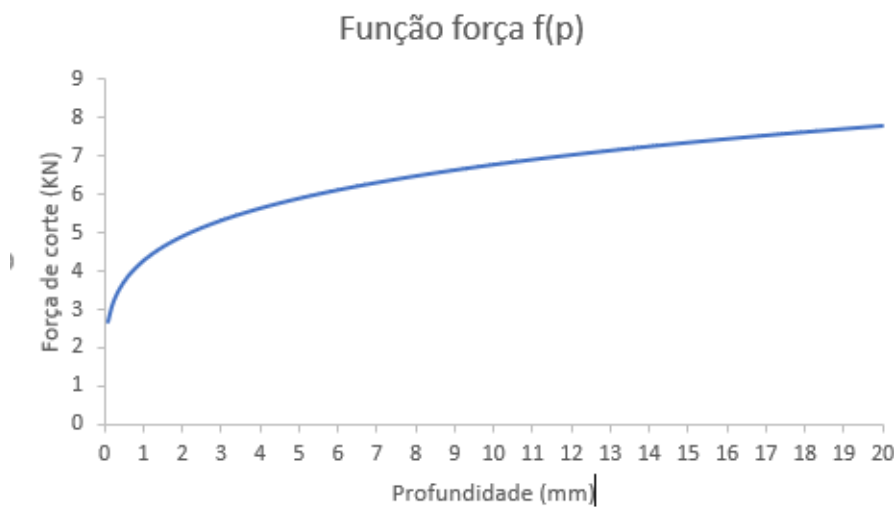


Figura 8.4: Função força a depender da profundidade

Como é possível observar a partir dos gráficos, ambas as funções são do tipo logarítmicas. Isto é possível devido a ter-se optado por fazer uma aproximação mais exata da energia específica de corte (K_s), fazendo esta depender do avanço.

A expressão em função do avanço é decrescente enquanto que a função a depender da profundidade é no sentido oposto, ou seja, crescente. A observação dos gráficos faz querer que quando se trabalha com avanços maiores as forças geradas são cada vez menores apoiando assim a ideia de que trabalhar com altos avanços as forças geradas são menores havendo assim menos gastos energéticos na maquinação.

8.4.2 Segunda simulação: Manter a potência igual no tempo com a variação do avanço e da profundidade

8.4.2.1 Ensaio 1

A segunda simulação consiste em manter, no tempo, a potência. Numa primeira instância, escolheu-se uma potência igual a 6365W. Esta é a potência necessária para realizar a fresagem utilizando a fresa CD65,7RT6 da empresa. Assim sendo, o primeiro ensaio recaiu sobre o comportamento dos parâmetros da fresa CoroMill390 quando se mantém uma potência de 6365W.

Para tal, realizou-se uma folha de cálculo onde o valor de entrada seria a potência pretendida.

Esta folha de cálculo está dividida em quatro colunas, igualmente à primeira. A primeira coluna diz respeito às forças de corte geradas para a potência pedida. Essas forças de corte são calculadas com base na expressão 8.13.

$$F_{total} = \frac{N_m}{2 * \pi * \frac{D}{2} * \frac{N}{60} * 10^{-3}} \quad (8.13)$$

Substituindo pelos valores definidos inicialmente tem-se a expressão 8.14:

$$F_{total} = \frac{N_m}{0.902 * \pi} \quad (8.14)$$

A segunda coluna, faz referência aos avanços tabelados nos catálogos. Como visto na simulação anterior, o intervalo de avanços para a fresa escolhida é de $f_z = [0.08; 0.3]$.

A terceira coluna calcula, com base no avanço, a profundidade à qual faz corresponder à potência pedida. A profundidade foi calculada utilizando a expressão 8.15:

$$p = \frac{F_{total}}{2 * f_z * \text{sen}(x) * K_s * 10} \quad (8.15)$$

Os ângulos já foram calculados na simulação anterior pelo que se procede à substituição dos devidos valores na expressão 8.15, ficando assim a Eq.8.16.

$$p = \frac{F_{total}}{2 * f_z * \text{sen}(60) * \frac{200}{f_z^{0.2}} * 10} \quad (8.16)$$

Por último, a quarta coluna apresenta os valores da taxa de remoção que dependem dos parâmetros utilizados e da potência imposta inicialmente. Esta taxa de remoção é obtida utilizando a expressão 8.17:

$$Z_m = p * e * \frac{V_a}{1000} \quad (8.17)$$

Substituindo a expressão da velocidade de avanço (V_a) na expressão 8.17 chega-se à equação 8.18:

$$Z_m = p * e * \frac{Z * N * f_z}{1000} \quad (8.18)$$

Obtida assim a expressão final, substitui-se pelos valores já definidos, ficando a equação 8.19 :

$$Z_m = p * 243.54 * f_z \quad (8.19)$$

Estabelecidas todas as expressões, realizou-se uma tabela apresentando todos os valores para uma potência de 6365W. A tabela 8.5 é o resultado das equações mencionadas.

Tabela 8.5: Variação da taxa de remoção para a mesma potência, com a fresa R390-066Q22-18M

	Forças de corte (N)	Avanço por dente (mm/dente)	Profundidade (mm)	Taxa de remoção (cm ³ /min)
1	2246	0,08	4,9	95,3
2	2246	0,09	4,5	97,6
3	2246	0,1	4,1	99,6
4	2246	0,11	3,8	101,6
5	2246	0,12	3,5	103,3
6	2246	0,13	3,3	105,0
7	2246	0,14	3,1	106,6
8	2246	0,15	3,0	108,1
9	2246	0,16	2,8	109,5
10	2246	0,17	2,7	110,8
11	2246	0,18	2,6	112,1
12	2246	0,19	2,4	113,3
13	2246	0,2	2,3	114,5
14	2246	0,21	2,3	115,6
15	2246	0,22	2,2	116,7
16	2246	0,23	2,1	117,7
17	2246	0,24	2,0	118,7
18	2246	0,25	2,0	119,7
19	2246	0,26	1,9	120,6
20	2246	0,27	1,8	121,5
21	2246	0,28	1,8	122,4
22	2246	0,29	1,7	123,3
23	2246	0,3	1,7	124,1

Como é visível, com a potência definida nos 6365W, a fresa escolhida tem uma produtividade muito mais baixa comparada com os parâmetros usados pela empresa. Contudo a potência escolhida foi bastante baixa continuando assim, a trabalhar à margem da capacidade do centro de maquinação. Por esta razão procedeu-se à realização de uma segunda simulação utilizando uma potência mais elevada.

8.4.2.2 Ensaio 2

O segundo ensaio tem como base a mesma tese, ou seja, manter a taxa de remoção, contudo um pouco mais elevada que o primeiro ensaio. Nesta simulação utilizou-se as duas fresas com o intuito de obter uma comparação de resultados. Para a CoroMill390 utilizou-se a mesma folha de cálculo realizada para o primeiro ensaio, apenas houve a necessidade de elaborar uma folha de cálculo nova para a fresa Depo; no entanto os conceitos teóricos eram os mesmo apenas se efetuou à atualização dos parâmetros chegando assim às seguintes expressões (8.20; 8.21; 8.22):

- Coluna 1:

$$F_{total} = \frac{N_m}{0.902 * \pi i} \quad (8.20)$$

- Coluna 2:

$$f_z = [0.5; 1.2]$$

- Coluna 3:

$$p = \frac{F_{total}}{f_z * \text{sen}(111.32) * \frac{200}{f_z^{0.2}} * 10 + f_z * \text{sen}(51.32) * \frac{200}{f_z^{0.2}} * 10} \quad (8.21)$$

- Coluna 4:

$$Z_m = p * 243.54 * f_z \quad (8.22)$$

Com as expressões 8.20, 8.21, 8.22 para a potência de 12000W e obteve-se as tabelas 8.6 e 8.7. A tab. 8.6 mostra os parâmetros necessários utilizar na fresa CoroMill390 para atingir uma potência de 12000W enquanto que a tab. 8.7 diz respeito à fresa CD65,7RT6.

Tabela 8.6: Parâmetros obtidos para uma Potência 12000W - fresa R390-066Q22-18M

	Forças de corte (N)	Avanço por dente (mm/dente)	Profundidade (mm)	Taxa de remoção (cm ³ /min)
1	4235	0,08	9,2	179,7
2	4235	0,09	8,4	183,9
3	4235	0,1	7,7	187,9
4	4235	0,11	7,1	191,5
5	4235	0,12	6,7	194,8
6	4235	0,13	6,3	198,0
7	4235	0,14	5,9	200,9
8	4235	0,15	5,6	203,7
9	4235	0,16	5,3	206,4
10	4235	0,17	5,0	208,9
11	4235	0,18	4,8	211,3
12	4235	0,19	4,6	213,6
13	4235	0,2	4,4	215,8
14	4235	0,21	4,3	217,9
15	4235	0,22	4,1	219,9
16	4235	0,23	4,0	221,9
17	4235	0,24	3,8	223,8
18	4235	0,25	3,7	225,6
19	4235	0,26	3,6	227,4
20	4235	0,27	3,5	229,1
21	4235	0,28	3,4	230,8
22	4235	0,29	3,3	232,4
23	4235	0,3	3,2	234,0

CAPÍTULO 8. RECOLHA E ORGANIZAÇÃO DE INFORMAÇÃO COMERCIAL DE FERRAMENTAS

Tabela 8.7: Parâmetros obtidos para uma Potência 12000W - fresa CD65,7RT6

	Forças de corte (N)	Avanço por dente (mm/dente)	Profundidade (mm)	Taxa de remoção (cm ³ /min)
1	4235	0,5	2,2	238,3
2	4235	0,51	2,1	239,3
3	4235	0,52	2,1	240,2
4	4235	0,53	2,1	241,1
5	4235	0,54	2,0	242,0
6	4235	0,55	2,0	242,9
7	4235	0,56	2,0	243,8
8	4235	0,57	1,9	244,7
9	4235	0,58	1,9	245,5
10	4235	0,59	1,9	246,4
11	4235	0,6	1,9	247,2
12	4235	0,61	1,8	248,0
13	4235	0,62	1,8	248,8
14	4235	0,63	1,8	249,6
15	4235	0,64	1,8	250,4
16	4235	0,65	1,7	251,2
17	4235	0,66	1,7	252,0
18	4235	0,67	1,7	252,7
19	4235	0,68	1,7	253,5
20	4235	0,69	1,7	254,2
21	4235	0,7	1,6	254,9
22	4235	0,71	1,6	255,7
23	4235	0,72	1,6	256,4
24	4235	0,73	1,6	257,1
25	4235	0,74	1,6	257,8
26	4235	0,75	1,6	258,5
27	4235	0,76	1,5	259,2
28	4235	0,77	1,5	259,8
29	4235	0,78	1,5	260,5
30	4235	0,79	1,5	261,2
31	4235	0,8	1,5	261,8
32	4235	0,81	1,5	262,5
33	4235	0,82	1,4	263,1
34	4235	0,83	1,4	263,8
35	4235	0,84	1,4	264,4

: Tabela 8.7: Parâmetros obtidos para uma Potência 12000W - fresa CD65,7RT6 (continuação)

36	4235	0,85	1,4	265,0
37	4235	0,86	1,4	265,7
38	4235	0,87	1,4	266,3
39	4235	0,88	1,4	266,9
40	4235	0,89	1,4	267,5
41	4235	0,9	1,3	268,1
42	4235	0,91	1,3	268,7
43	4235	0,92	1,3	269,3
44	4235	0,93	1,3	269,8
45	4235	0,94	1,3	270,4
46	4235	0,95	1,3	271,0
47	4235	0,96	1,3	271,6
48	4235	0,97	1,3	272,1
49	4235	0,98	1,3	272,7
50	4235	0,99	1,2	273,2
51	4235	1	1,2	273,8
52	4235	1,01	1,2	274,3
53	4235	1,02	1,2	274,9
54	4235	1,03	1,2	275,4
55	4235	1,04	1,2	275,9
56	4235	1,05	1,2	276,5
57	4235	1,06	1,2	277,0
58	4235	1,07	1,2	277,5
59	4235	1,08	1,2	278,0
60	4235	1,09	1,2	278,5
61	4235	1,1	1,1	279,1
62	4235	1,11	1,1	279,6
63	4235	1,12	1,1	280,1
64	4235	1,13	1,1	280,6
65	4235	1,14	1,1	281,1
66	4235	1,15	1,1	281,5
67	4235	1,16	1,1	282,0
68	4235	1,17	1,1	282,5
69	4235	1,18	1,1	283,0
70	4235	1,19	1,1	283,5
71	4235	1,2	1,1	284,0

Ao interpretar as tabelas, para uma potência de 12000W (Cerca de 60% da potência da máquina), a fresa capaz de grandes profundidades consegue ter uma taxa de remoção considerável com parâmetros não muito "abusivos", enquanto que a fresa de alto avanço, para chegar a uma potência de 12000W, precisa de trabalhar no limite capaz da fresa e da máquina, pois para chegar a um avanço de 1,2mm/dente é necessário impor uma velocidade de avanço de 6000m/min enquanto que o máximo capaz pelo centro de maquinação é de 8000m/min. Em relação à profundidade, para fresas de alto avanço as profundidades aconselháveis são, no máximo, 1,2mm a 1,3mm. Ao visualizar a tabela, a profundidade encontra-se nos limites da fresa pelo que é de prever que, caso se queira aproveitar mais potência oferecida pelo centro de maquinação, a fresa de alto avanço não seja capaz de suportar os valores pedidos.

8.5 Conclusões

Da realização das simulações, foi possível concluir que conjugando um alto avanço com a profundidade indicada, é-se capaz de obter boas taxas de remoção a potências mais baixas. Este fenómeno, não se é capaz de atingir com fresas de altas profundidades, no entanto quando há a necessidade/capacidade de aproveitar a potência oferecida pelo centro de maquinação e levar assim a um aumento da taxa de remoção constou-se que a fresa de alto avanço não tem capacidade para satisfazer o pedido. Assim sendo, pelas razões mencionadas em cima, a fresa que mais se adequa à operação de desbaste é a fresa CoroMill390, uma fresa capaz de suportar grandes forças de maquinação e uma fresa robusta com capacidade de variar os seus parâmetros sem haver um desgaste maior da ferramenta.

PROPOSTA DE MELHORIA

9.1 Introdução

O trabalho desenvolvido até ao momento, indica dois caminhos e duas tarefas distintas. A primeira consistiu em identificar e avaliar o trabalho realizado pela empresa e assim verificar pontos de melhoria. Na análise aos parâmetros e recursos usados pela empresa Aníbal H. Abrantes conclui-se que não estariam a utilizar a melhor ferramenta que conjugasse os parâmetros utilizados com o melhor rendimento da máquina-ferramenta.

Com a identificação do problema, seguiu-se a procura por melhores ferramentas e ferramentas capazes de aumentar a produtividade da empresa. Com a procura surgiu a ferramenta CoroMill390, uma ferramenta indicada para o desbaste pesado na indústria de moldes e capaz de combinar uma boa taxa de remoção com a potência utilizada. Identificada a ferramenta a utilizar passou-se ao seu estudo havendo assim capacidade de apresentar uma proposta de melhoria.

De notar que esta proposta de solução apenas foi estudada em termos teóricos (simulação), carecendo de uma comprovação experimental na máquina-ferramenta normalmente usada neste trabalho na empresa, o que não foi possível em tempo útil.

9.2 Proposta de melhoria

Com a análise da ferramenta, da máquina-ferramenta CNC e do comportamento dos parâmetros com as mudanças impostas, a proposta de melhoria é a seguinte:

- Avanço: 0.2mm/dente;
- Profundidade: 4.2mm;
- Velocidade de corte: 170m/min
- Largura de corte: 49.5mm

Com a escolha de parâmetros acima referidos, consegue-se aumentar a taxa de remoção, tirar um maior partido da máquina-ferramenta e aumentar assim a produtividade com uma redução de 2h no tempo total. A tabela 9.1 mostra a comparação da utilização das duas fresas:

Tabela 9.1: Resultados comparativos entre a fresa usada (Depo) e a proposta (Sandvik)

	Depo	Sandvik
Taxa de remoção (cm³/min)	148,5 cm ³ /min	206,8 cm ³ /min (+39%)
Potência de corte (kW)	6,3kW (29%)	11,5kW (52%)
Tempo de maquinação	7h:46min	5h:35min

A tabela 9.2 e o gráfico 9.1 mostra o tempo total e a percentagem de utilização de cada fresa.

Tabela 9.2: Tempos de maquinação utilizando os novos parâmetros e a nova fresa

Diâmetro	Tempo
Fresa 66	335 min (5h:35min)
Fresa 35	124 min (2h:4min)
Fresa 20	21 min

Tempo de cada fresa

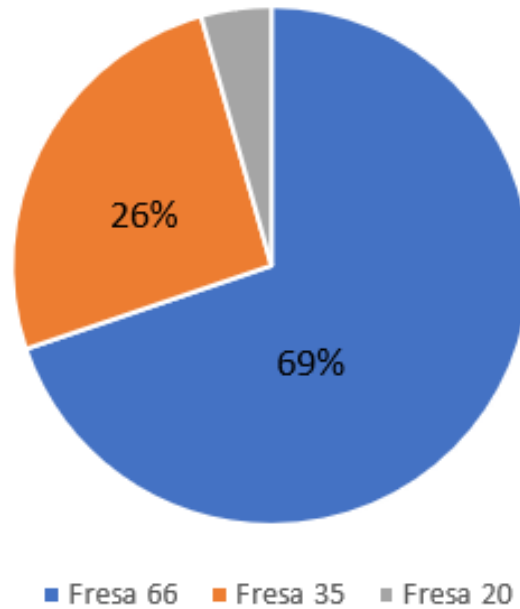


Figura 9.1: Percentagem de utilização das fresas

Como é possível reparar, a percentagem de utilização está um pouco mais equilibrada. Esta proposta de melhoria não põe de parte a utilização da fresa de alto avanço. A solução que se apresenta é um primeiro desbaste com a fresa CoroMill390 deixando uma sobre-espessura pequena que depois seria maquinada com a fresa Depo já que as plaquetes redondas se adequam à maquinação de superfícies esculpidas e ao desbaste em sobre-espessuras pequenas.

CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

10.1 Conclusão

Este estudo serviu para a comparação dos parâmetros do avanço por dente e da profundidade em diferentes fresas (uma de alto avanço e outra de grandes profundidades).

O trabalho relevante para esta dissertação começou com a recolha de dados na Aníbal H. Abrantes. Após ao levantamento feito dos dados da máquina-ferramenta e das ferramentas usadas na empresa, realizou-se uma análise aos parâmetros utilizados, à taxa de remoção e à potência. Desta análise, conclui-se que os parâmetros utilizados estavam de acordo com os parâmetros fornecidos nos catálogos das empresas fabricantes das ferramentas no entanto originavam uma taxa de remoção baixa levando assim a um desaproveitamento da potência da máquina-ferramenta, sugerindo a ideia de que haveria uma oportunidade na melhoria do processo.

Feita a análise aos dados fornecidos pela empresa entrou-se na fase cujo objetivo era pesquisar e analisar a operação de desbaste bem como as ferramentas que o mercado oferecia para a operação a estudar. Nesta fase foi realizada uma base de dados que continha todos as informações necessárias para o objetivo da dissertação.

Finalizada a pesquisa das ferramentas oferecidas do mercado, a escolha recaiu pela fresa R390-066Q22-18M e pelas pastilhas R390-180612M-PM, a qual é uma ferramenta indicada para o desbaste na indústria de moldes e capaz de aguentar condições bastante adversas ao corte. Escolhida a ferramenta que melhor se ajustava à operação de desbaste decidiu-se fazer um estudo do comportamento dos parâmetros de profundidade e de avanço.

Para tal realizou-se duas simulações, na primeira manteu-se a taxa de remoção constante no tempo e observou-se a evolução dos parâmetros. A segunda simulação passou por manter a potência constante observando a variação dos seus parâmetros. Destas duas

simulações conclui-se que a evolução dos dois parâmetros era semelhante a uma função logarítmica. De maneira a concluir melhor a razão desta semelhança decidiu-se isolar, os dois parâmetros na equação do cálculo das forças e observar a evolução através da realização de um gráfico. Ao analisar o gráfico conclui-se que ao manter uma taxa de remoção, as forças de corte diminuem com um aumento do avanço, em sentido oposto, um aumento da profundidade cria um aumento das forças geradas no corte. Isto é possível pelo facto de a energia específica de corte ser o resultado de uma equação a depender do avanço fazendo assim com que a evolução dos parâmetros não seja linear.

Assim, com base em simulação mostrou-se que há possibilidade de reduzir o tempo de maquinação de uma operação de desbaste de 10h:10min para 8h:00min.

Contudo, apesar das forças de corte não aumentarem proporcionalmente com um aumento do avanço, esta técnica não se encaixa na operação de desbaste nem na utilização de centros de maquinação com grandes potências pois as fresas de alto avanço são demasiado sensíveis a mudanças de parâmetros e a condições de corte difíceis apoiando assim à utilização de grandes profundidade em contraste aos altos avanços.

Ao aumentar a profundidade de corte, a fresa apenas depende da potência da máquina-ferramenta e da altura das plaquetas (para dar maiores profundidades de corte) para aumentar a produtividade da produção, enquanto que ao utilizar uma fresa de alto avanço esta dependeria da velocidade de avanço, da potência do centro de maquinação, mas não poderá elevar a profundidade de corte, uma vez que levaria a trabalhar em condições pouco favoráveis ao corte e potencialmente geradores de vibrações.

Com o estudo realizado conclui-se que as fresas de alto avanço são relevantes quando se está perante taxas de remoção pequenas fazendo assim um proveito da sua capacidade de avanço ou quando estamos presentes em centros de maquinação com baixa potência retirando assim uma produtividade maior da ferramenta e do centro de maquinação. No entanto, quando estamos perante um centro de maquinação de grande potência e na operação de desbaste, as fresas que melhor se adequam à maquinação são as fresas de grandes profundidades pois são capazes de aguentar condições difíceis de trabalho conjugando uma boa taxa de remoção com o proveito da potência.

Em suma, ambas as técnicas (altos avanços e altas profundidades) são corretas quando utilizadas nas devidas operações/condições havendo assim um maior rendimento quer das ferramentas quer dos centros de maquinação. Este estudo revela um conteúdo importante no que toca à utilização das ferramentas no meio industrial invocando as empresas a ter uma atitude mais crítica quando toca à escolha de ferramentas dos fornecedores e ajustar assim as ferramentas às suas máquinas-ferramentas.

De um ponto de visto pessoal, a dissertação permitiu a aquisição de um vasto conhecimento industrial no que diz respeito à fresagem, às técnicas utilizadas e à maquinação CNC. Permitiu desenvolver competências na indústria de moldes na área da maquinação, integrando conhecimento teórico adquirido com condições reais de trabalho, que são essenciais para uma integração no mercado de trabalho.

10.2 Trabalhos futuros

O trabalho desenvolvido despertou outros trabalhos futuros que poderão ter como base o estudo realizado. Estes projetos são:

- A importância da energia específica de corte na escolha de parâmetros;
- Desenvolver expressões de energia específica de corte para diferentes ferramentas, em particular, investigar o efeito da geometria da ferramenta e a relação desta com os parâmetros e respetiva influência em K_s ;
- Avaliar o impacto de baixas profundidade e altos avanços na vibração e consequências no funcionamento do centro de maquinação.

BIBLIOGRAFIA

- [1] *História do Setor*. [Consultado a 10/01/2020]. URL: <https://www.cefamol.pt/index.php?id=29>.
- [2] F. S. Fernandes. *Portugal é o terceiro produtor europeu de moldes*. [Consultado a 10/01/2020]. 2018. URL: <https://www.jornaldenegocios.pt/negocios-iniciativas/detalhe/portugal-e-o-terceiro-produtor-europeu-de-moldes>.
- [3] D. Granja. *Materiais para moldes. Manual do projetista para moldes de injeção de plástico*. Vol. 28. CENTIMFE, 2003.
- [4] *Processo produtivo de um molde*. [Consultado a 14/09/2020]. URL: http://formacao.training.pt/?page_id=50.
- [5] S. Coromant. *Fabricación de Moldes y Matrices guia de aplicacion*. 2000.
- [6] *Fresagem*. [Consultado a 15/03/2020]. URL: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/milling/pages/default.aspx>.
- [7] J. J. P. Teixeira. *Fundamentos Físicos do Corte dos Metais*. Universidade Nova de Lisboa, 2001.
- [8] G. Boothroyd. *Fundamentals of metal machining and machine tools*. Marcel Dekker, INC, 1989.
- [9] CadSolid. *Otimização da fresagem através de estratégias*. [Consultado a 15/03/2020]. URL: <https://www.cadsolid.pt/noticia/noticias-topsolid/item/otimizacao-da-fresagem-atraves-de-estrategias-volumill>.
- [10] SECO. *High Speed Bridge Type Machining Center*. [Consultado a 16/03/2020]. URL: <https://www.secotools.com/article/21477?language=pt>.
- [11] MoldMakingTechnology. *Rough and tough*. [Consultado a 15/03/2020]. URL: <https://www.moldmakingtechnology.com/articles/rough-and-tough>.
- [12] A. M. CO. *Company profile*. [Consultado a 18/08/2020]. URL: <https://www.awea.com/aweaen/companyprofile/advantage/>.
- [13] M. T. Engineering. *Cuting tools products catalogue*. Moldino Tool Engineering, 2019-2020.
- [14] DEPO. *Catálogo e Guia técnico*. DEPO, 2018.

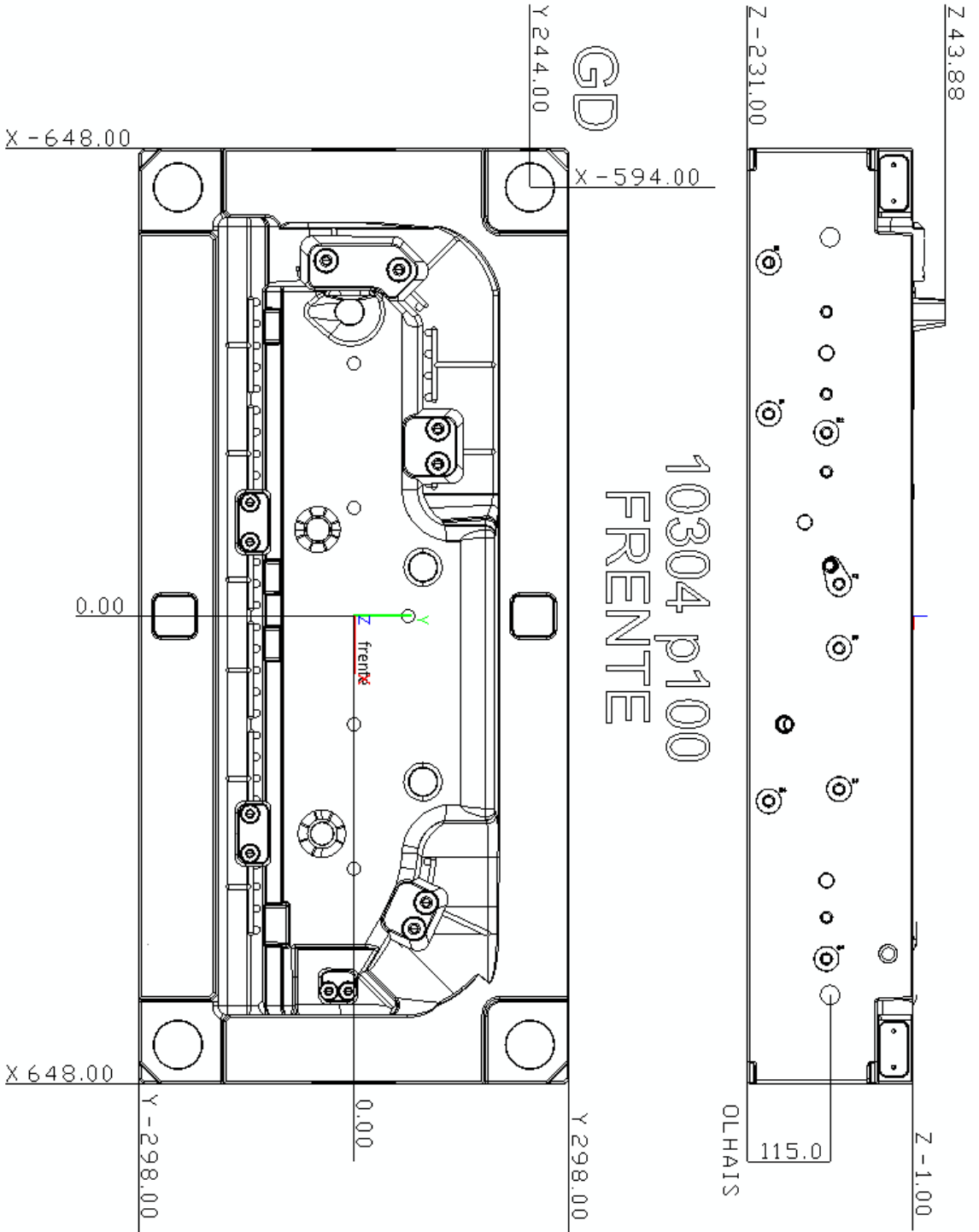
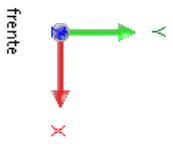
BIBLIOGRAFIA

- [15] S. Tools. *R217.21-1635.RE-LP06.5A*. [Consultado a 10/01/2020]. URL: https://www.secotools.com/article/p_02789711.
- [16] S. Tools. *R217.21-0816.RE-LP05.3A*. [Consultado a 10/01/2020]. URL: https://www.secotools.com/article/p_02881030.
- [17] S. Coromant. *Catálogo Ferramentas rotativas*. Sandvik Coromant, 2020.
- [18] Sandvik. *Fresagem de aços Classe GC11330*. [Consultado a 25/08/2020]. URL: <https://www.sandvik.coromant.com/SiteCollectionDocuments/campaigns/made-for-milling/pdf/m4m-steel-milling-grade-por.pdf>.

A N E X O



P E Ç A



A N E X O



SEQUÊNCIA DE PROGRAMAS

Dimensões Peça max X : 648,00 max Y : 298,00 Plano + alto da peça = Z43,88
 Após Ativação min X : 648,00 min Y : 298,00 Plano da base da peça = Z-231,00

*** Fase 1 ***

DESBASTE

Nº	Ficheiro	Tipo de Maq.	Ordem	Tool	I	Altura	Cone	Stock	Pas Lat	Step Z	Rotação	Avanço	Z Min	Tempo	Descritivo	Validar
1	oe0101.HD1	Desbaste/Redesbaste Global		CD65,7RT6_Hirachi	24	103.4	PR	1.00	45.00	0.60	820	5500	-58.70	0:30	Desbaste Geral X+	
1	oe0102.HD1	Desbaste/Redesbaste Global		CD65,7RT6_Hirachi	24	103.4	PR	1.00	45.00	0.60	820	5500	-58.70	0:28	Desbaste Geral X+	
2	oe0201.HD1	Desbaste/Redesbaste Global		CD65,7RT6_Hirachi	24	103.4	PR	1.00	45.00	0.60	820	5500	-58.70	0:30	Desbaste Geral X-	
2	oe0202.HD1	Desbaste/Redesbaste Global		CD65,7RT6_Hirachi	24	103.4	PR	1.00	45.00	0.60	820	5500	-58.70	0:28	Desbaste Geral X-	
3	oe0301.HD1	Desbaste/Redesbaste Global		CD65,7RT6_Hirachi	24	142.9	PR	1.00	45.00	0.60	820	5500	-95.90	0:44	Desbaste Geral	
3	oe0302.HD1	Desbaste/Redesbaste Global		CD65,7RT6_Hirachi	24	142.9	PR	1.00	45.00	0.60	820	5500	-95.90	0:44	Desbaste Geral	
3	oe0303.HD1	Desbaste/Redesbaste Global		CD65,7RT6_Hirachi	24	142.9	PR	1.00	45.00	0.60	820	5500	-95.90	0:44	Desbaste Geral	
3	oe0304.HD1	Desbaste/Redesbaste Global		CD65,7RT6_Hirachi	24	142.9	PR	1.00	45.00	0.60	820	5500	-95.90	0:44	Desbaste Geral	
3	oe0305.HD1	Desbaste/Redesbaste Global		CD65,7RT6_Hirachi	24	142.9	PR	1.00	45.00	0.60	820	5500	-95.90	0:44	Desbaste Geral	
3	oe0306.HD1	Desbaste/Redesbaste Global		CD65,7RT6_Hirachi	24	142.9	PR	1.00	45.00	0.60	820	5500	-95.90	0:44	Desbaste Geral	
3	oe0307.HD1	Desbaste/Redesbaste Global		CD65,7RT6_Hirachi	24	142.9	PR	1.00	45.00	0.60	820	5500	-95.90	0:44	Desbaste Geral	
3	oe0308.HD1	Desbaste/Redesbaste Global		CD65,7RT6_Hirachi	24	142.9	PR	1.00	45.00	0.60	820	5500	-95.90	0:36	Desbaste Geral	
4	oe0401.HD1	Acabamento de planos		CD65,7RT6_Hirachi	24	7.0	PR	0.50	26.00	0.00	820	1200	45.50	0:6	Pre Acabar Planos Pes	
5	oe0501.HD1	Desbaste/Redesbaste Global		CRP35RT1,8	2	85.9	CM_75	1.00	23.00	0.35	1730	5500	-115.47	1:53	Desbaste Geral	
6	oe0601.HD1	Acabamento de planos		CRP35RT1,8	2	84.9	CM_75	0.80	15.00	0.00	1730	1200	-114.20	0:11	Pre Acabar Planos	
7	oe0701.HD1	Desbaste/Redesbaste Global		CRP20RT1,8	4	78.7	CT20_H122	1.00	12.00	0.25	3025	4000	-115.27	0:21	Reducao Geral	

Tempo Total : (96h 19min)

A N E X O



ESPECIFICAÇÕES DO CENTRO CNC



VP-2012HSS series model shown.

SP-3016HSS High Speed Bridge Type Machining Center:

Print This Page	VP-2012HSS	SP-2016HSS	SP-3016HSS	SP-3016
WORKING CAPACITY				
X-axis travel	2,000 mm (78.7")	2,100 mm (82.7")	3,060 mm (120.5")	3,060 mm (120.5")
Y-axis travel	1,200 mm (47.2")	1,600 mm (63.0")	1,600 mm (63.0")	1,600 mm (63.0")
Z-axis travel	760 mm (30.0")	760 mm (30.0")	760 mm (30.0")	760 mm (30.0")
Table size	2,000 x 1,100 mm (78.7" x 43.3")	2,310 x 1,500 mm (90.9" x 59.0")	3,260 x 1,500 mm (128.3" x 59.0")	3,260 x 1,500 mm (128.3" x 59.0")
Table load capacity	3,500 kg (7,700 lb)	8,000 kg (17,600 lb)	10,000 kg (22,000 lb)	10,000 kg (22,000 lb)
Dist. between columns	1,300 mm (51.2")	1,700 mm (66.9")	1,700 mm (66.9")	1,700 mm (66.9")
SPINDLE				
Spindle motor (cont. / 30 min.)	18.5 / 22 kW (25 / 30 HP)	18.5 / 22 kW (25 / 30 HP)	18.5 / 22 kW (25 / 30 HP)	22 / 26 kW (30 / 35 HP)
Spindle speed	10 ~ 15,000 rpm	10 ~ 15,000 rpm	10 ~ 15,000 rpm	10 ~ 6,000 rpm (Standard) 10 ~ 8,000 rpm direct drive (Option)
Spindle taper	BT 40	BT 40	BT 40	BT 50 (ISO 50) / DIN69871 A (Option)
Dist. from spindle nose to table top	160 ~ 920 mm (6.3" ~ 36.2")	160 ~ 920 mm (6.3" ~ 36.2")	160 ~ 920 mm (6.3" ~ 36.2")	240 ~ 1,000 mm (9.4" ~ 39.4")
FEED RATE				
X / Y axes rapids	20,000 mm/min. (787.4 IPM)	20,000 mm/min. (787.4 IPM)	20,000 mm/min. (787.4 IPM)	20,000 mm/min. (787.4 IPM)
Z-axis rapids	20,000 mm/min.	15,000 mm/min.	15,000 mm/min.	15,000 mm/min.

A N E X O

IV

AVALIAÇÃO DO PERITO

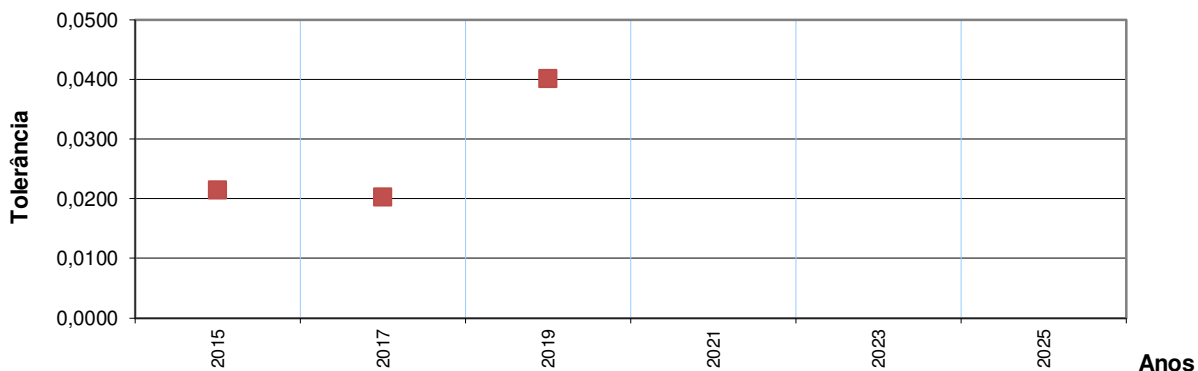


ABRANTES

CARACTERÍSTICAS GERAIS DO EQUIPAMENTOSECÇÃO:
FRES. CNCNOME DO EQUIPAMENTO: **AWEA SP3016** EQUIP. Nº: **9/33**ANO DE FABRICO: **2000**
ANO DE INSTALAÇÃO: **2005** Nº DE SÉRIE: **308**CONTROLADOR / SOFTWARE: **HEID** VERSÃO/ANO **426**CURSOS MÁX. DO EQUIP.: X: **3060** Y: **1600** Z: **760**
(Eixos) (mm) (mm) (mm)DIMENSÕES DA MESA: X: **3260** Y: **1500**
(Eixos) (mm) (mm)PESO MÁX. ADMISSÍVEL: **10000** INT. DE PRESSÃO DO AR COMPRIMIDO **6**
(Kg) (Bares)CORRENTE MÁX. TRAB.: **-**
Amperes (A)AVANÇO MÁXIMO: **8000** ROTAÇÃO MÁX.: **6000**
(mm/min.) (Arvore/Eixo C) (rot/min)Nº DE FERRAMENTAS: **32** PESO MÁX.: **20** DIM. MÁX.: **315**
(Kg) (mm)Sujeita a verificação dos Erros de Posicionamento?: **SIM** **NÃO** Critério: $T \leq 0,04$ mm (conforme ET6.3)

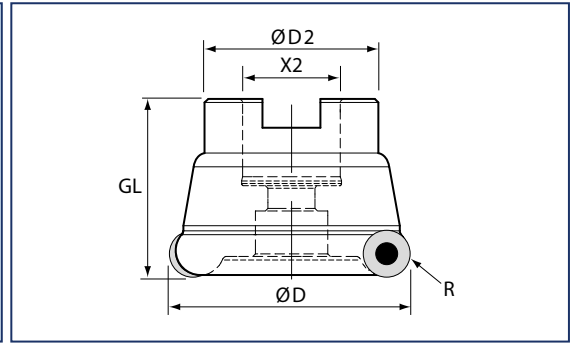
Data	Entidade	Nº certificado	Erro máx	Incerteza max	Resultado $T \leq$ (mm)	Observações	Resp.
22-jul-15	CENTIMFE	2108/2015	0,016	0,005	0,021	Ok	Paulo Marrazes
10-out-17	CENTIMFE	2850/2017	0,01	0,004	0,020	Ok	Paulo Marrazes
29-out-19	CENTIMFE	3853/2019	0,03	0,006	0,040	Maquinar a partir de 37,5 mm	Paulo Marrazes

Gráficos dos resultados tolerâncias obtidas nas calibrações





CATÁLOGO FRESA CD65RT7,6



- ▶ Aufsteckfräser für Rund-Wendeschneidplatte mit Aufnahme nach DIN 8030
- ▶ Auf Anfrage: Innerer Kühlmittelzufuhr zur Schneide oder zentral, axial positive Trägerwerkzeuge
- ▶ Hochgenaue, hartbearbeitete Plattensitze sorgen für präzise Plattenpositionierung sowie höchste Rund- und Planlaufgenauigkeit

Passende WSP finden Sie auf Seite 46-48



Einsatzrichtwerte auf Seite 45 – 46

WG 20

Bestell-Nr.	Ø D	Ø D2	R	GL	X2	Z	WSP	Spannschraube	Klemmschraube	Klemmscheibe
45230	52	40	8	50	AF22 M10	4	0416	4550	-	1050
55231	52	40	6	50	AF22 M10	5	0312	3550	3551	-
65232	52	40	5	50	AF22 M10	6	0210	3550	-	-
56630	66	48	8	50	AF27 M12	5	0416	4550	-	1050
66631	66	48	6	50	AF27 M12	6	0312	3550	3551	-
76632*	66	48	5	50	AF27 M12	7	0210	3550	-	-
58030*	80	60	8	50	AF27 M12	5	0416	4550	-	1050
68030	80	60	8	50	AF27 M12	6	0416	4550	-	1050
78031	80	60	6	50	AF27 M12	7	0312	3550	3551	-
710030*	100	70	8	55	AF32 M16	7	0416	4550	-	1050
812530	125	90	8	55	AF40 M20	8	0416	4550	-	1050
916030	160	120	8	55	AF40 M20	9	0416	4550	-	1050

*Solange der Vorrat reicht.

Ersatzteile:



WG 159

Schraubendreher

für Schraube	3550	4550
Bestell-Nr.	1550	2050





CATÁLOGO PLAQUETES MOLDINO

Work piece material	Recommend grade & Target hardness (HRC)			Emulsion	Mist	Al ₂ O ₃	Parameter	R2.5/Ø5		RR3.5/Ø7		R4/Ø8		R5/Ø10		R6/Ø12		R8/Ø16			
	30	40	50					General	High Feed	General	High Feed	General	High Feed	General	High Feed	General	High Feed	General	High Feed	General	High Feed
								• V _c (m/min)	f _t feed/tooth	a _p (mm)	• V _c (m/min)	f _t feed/tooth	a _p (mm)	• V _c (m/min)	f _t feed/tooth	a _p (mm)	• V _c (m/min)	f _t feed/tooth	a _p (mm)	• V _c (m/min)	f _t feed/tooth
I Carbon-Steel <30HRC	CY250						• V _c (m/min)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
	HC844						• f _t feed/tooth	0.2	0.3	0.4	0.5	0.4	0.6	0.5	0.8	0.5	0.8	0.6	1		
	TB6045						• a _p (mm)	0.8	0.4	1	0.5	1.2	0.6	1.6	0.8	2	1.2	3	1.5		
III Alloy-Steel 30-40HRC	CY250						• V _c (m/min)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	HC844						• f _t feed/tooth	0.2	0.4	0.4	0.5	0.4	0.6	0.5	0.8	0.5	0.8	0.6	1		
	TB6045						• a _p (mm)	0.6	0.3	0.8	0.4	1	0.6	1.2	0.6	1.8	0.9	2.5	1.2		
IV Pre-Hardened steel 40-50HRC	TB6020						• V _c (m/min)	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
	JP4020						• f _t feed/tooth	0.15	0.25	0.25	0.4	0.25	0.4	0.35	0.5	0.35	0.5	0.4	0.6		
	TB6045						• a _p (mm)	0.4	0.25	0.5	0.25	0.7	0.35	0.8	0.4	1	0.5	1.4	0.7		
V Hardened steel 50-55HRC	JP4005						• V _c (m/min)	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
	TB6020						• f _t feed/tooth	0.15	0.25	0.25	0.4	0.25	0.4	0.35	0.5	0.35	0.5	0.4	0.6		
	JP4020						• a _p (mm)	0.3	0.15	0.4	0.2	0.5	0.25	0.6	0.3	0.8	0.4	1	0.5		
V Hardened steel >55HRC	JP4005						• V _c (m/min)	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	JP4020						• f _t feed/tooth	0.1	0.15	0.15	0.2	0.15	0.2	0.2	0.25	0.2	0.3	0.25	0.4		
	JP4020						• a _p (mm)	0.2	0.1	0.3	0.15	0.4	0.2	0.5	0.25	0.6	0.3	0.8	0.4		
VI Cast-Iron GG EN-JL10**	JP4020						• V _c (m/min)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	TB6045						• f _t feed/tooth	0.2	0.4	0.4	0.5	0.4	0.6	0.5	0.8	0.5	0.8	0.6	1		
	CY250						• a _p (mm)	0.5	0.3	1	0.5	1.2	0.6	1.6	0.8	2	1.2	3	1.5		
VI Cast-Iron GGG EN-JS10**	JP4020						• V _c (m/min)	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	TB6045						• f _t feed/tooth	0.2	0.4	0.4	0.5	0.4	0.6	0.5	0.8	0.5	0.8	0.6	1		
	CY250						• a _p (mm)	0.5	0.3	1	0.5	1.2	0.6	1.6	0.8	2	1.2	3	1.5		
VII Stainless Steels	JP4020						• V _c (m/min)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	TB6045						• f _t feed/tooth	0.2	0.4	0.4	0.5	0.4	0.6	0.5	0.8	0.5	0.8	0.6	1		
	CY250						• a _p (mm)	0.5	0.3	1	0.5	1.2	0.6	1.6	0.8	2	1.2	3	1.5		

A N E X O

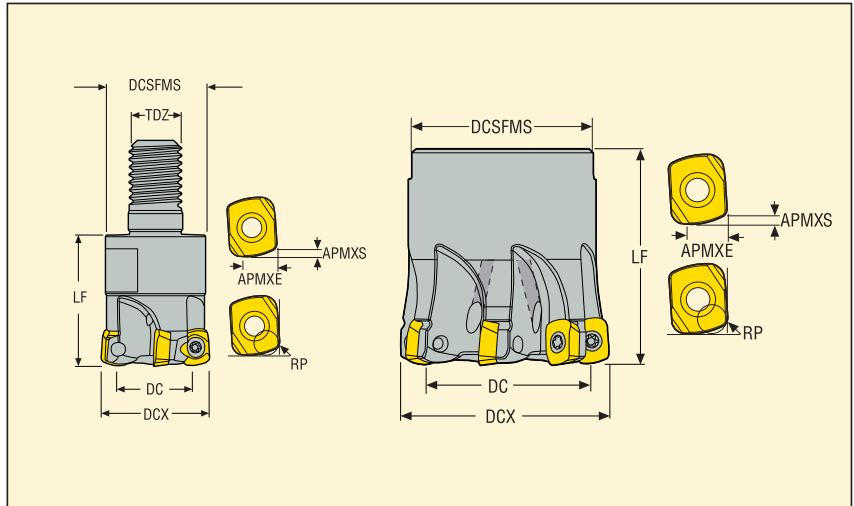


VII

CATÁLOGO FRESAS E PLAQUETES SECO

R217/220.21-LP06

Fresas High Feed - LP



- Para seleção da pastilha e recomendações de dados de corte, ver pág.(s) 439-440
- Para programa completo de pastilhas, ver pág.(s) 630
- Para explanação dos atributos ISO, ver pág. 15

Código	Tipo de montagem	Dimensões em mm										RMPX°	C min	C máx				Pastilha
		APMXE	APMXS	DCX	DC	DCB	DCSFMS	TDZ	LF	RP								
R217.21-0816.RE-LP06.2A	Combimaster	4,5	0,8	16,0	7,5	-	13,5	M8	20,0	1,8	5,0	23,5	30,0	2	0,3	39000	LP..06	
R217.21-1020.RE-LP06.2A	Combimaster	4,5	0,8	20,0	11,5	-	18,5	M10	28,0	1,8	3,0	31,5	38,0	2	0,3	35000	LP..06	
R217.21-1020.RE-LP06.3A	Combimaster	4,5	0,8	20,0	11,5	-	18,5	M10	28,0	1,8	3,0	31,5	38,0	3	0,4	35000	LP..06	
R217.21-1225.RE-LP06.3A	Combimaster	4,5	0,8	25,0	16,5	-	23,0	M12	30,0	1,8	2,0	41,5	48,0	3	0,3	30000	LP..06	
R217.21-1225.RE-LP06.4A	Combimaster	4,5	0,8	25,0	16,5	-	23,0	M12	30,0	1,8	2,0	41,5	48,0	4	0,4	30000	LP..06	
R217.21-1632.RE-LP06.5A	Combimaster	4,5	0,8	32,0	23,5	-	30,0	M16	35,0	1,8	1,5	55,5	62,0	5	0,2	27000	LP..06	
R217.21-1635.RE-LP06.5A	Combimaster	4,5	0,8	35,0	26,5	-	30,0	M16	35,0	1,8	1,5	61,5	68,0	5	0,3	26000	LP..06	
R217.21-2040.RE-LP06.7A	Combimaster	4,5	0,8	40,0	31,5	-	36,5	M20	40,0	1,8	0,9	71,5	78,0	7	0,4	24000	LP..06	
R220.21-0035-LP06.6A	Arbor	4,5	0,8	35,0	26,5	16,0	32,0	-	35,0	1,8	1,29	61,5	68,0	6	0,4	26000	LP..06	
R220.21-0040-LP06.6A	Arbor	4,5	0,8	40,0	31,5	16,0	32,0	-	40,0	1,8	0,9	71,5	78,0	6	0,2	24000	LP..06	

Para hastes e dimensões Combimaster, ver MN Tooling System

Componentes

P/ fresa	Chave (Estilo T)	Paraf. past.	Chave past.	Paraf. Arbor	Torque (Nm)
Ø16-20	DOUBLE-T	C02555-T08P	H4B-T08P	-	1,2
Ø25-40	DOUBLE-T	C02506-T08P	H4B-T08P	-	1,2
R220.21-..	DOUBLE-T	C02506-T08P	H4B-T08P	220.17-689	1,2

Verifique a disponibilidade no programa de vendas

Chaves torquímetro, ver pag. 710

R217/220.21-LP06 – Seleção da pastilha

SMG		a_p	f_z		
			100%	70%	30%
P1	LPHT060310TR-M06 T350M	0,70	0,65	0,65	0,80
P2	LPHT060310TR-M06 T350M	0,70	0,65	0,65	0,85
P3	LPHT060310TR-M06 T350M	0,70	0,60	0,60	0,80
P4	LPHT060310TR-M06 MP2501	0,70	0,60	0,60	0,75
P5	LPHT060310TR-M06 MP2501	0,70	0,60	0,60	0,75
P6	LPHT060310TR-M06 MP2501	0,70	0,60	0,60	0,75
P7	LPHW060310TR-MD07 MP2501	0,70	0,70	0,70	0,85
P8	LPHW060310TR-MD07 MP2501	0,70	0,70	0,70	0,90
P11	LPHW060310TR-MD07 MS2500	0,70	0,70	0,70	0,85
P12	LPHW060310TR-MD07 MS2500	0,60	0,48	0,48	0,60
M1	LPHT060310TR-ME05 F40M	0,70	0,55	0,55	0,70
M2	LPHT060310TR-ME05 F40M	0,70	0,50	0,50	0,65
M3	LPHT060310TR-ME05 F40M	0,60	0,40	0,40	0,50
M4	LPHT060310TR-M06 F40M	0,44	0,42	0,42	0,50
M5	LPHT060310TR-M06 F40M	0,44	0,42	0,42	0,50
K1	LPHW060310TR-D06 MP3000	0,70	0,65	0,65	0,85
K2	LPHW060310TR-D06 MP3000	0,70	0,60	0,60	0,75
K3	LPHW060310TR-D06 MP3000	0,70	0,60	0,60	0,75
K4	LPHW060310TR-D06 MP3000	0,70	0,60	0,60	0,75
K5	LPHW060310TR-D06 MP3000	0,70	0,55	0,55	0,70
K6	LPHW060310TR-D06 MP3000	0,70	0,60	0,60	0,75
K7	LPHW060310TR-D06 MP3000	0,70	0,55	0,55	0,70
N1	LPHT060310ER-E05 H25	0,70	0,70	0,70	0,90
N2	LPHT060310ER-E05 H25	0,70	0,70	0,70	0,90
N3	LPHT060310ER-E05 H25	0,70	0,70	0,70	0,90
N11	LPHT060310ER-E05 H25	0,70	0,70	0,70	0,90
S1	LPHT060310TR-M06 MS2500	0,44	0,42	0,42	0,50
S2	LPHT060310TR-M06 MS2500	0,44	0,42	0,42	0,50
S3	LPHT060310TR-M06 MS2500	0,44	0,38	0,38	0,48
S11	LPHT060310TR-M06 MS2050	0,50	0,48	0,48	0,60
S12	LPHT060310TR-M06 MS2050	0,50	0,48	0,48	0,60
S13	LPHT060310TR-M06 MS2050	0,44	0,42	0,42	0,50
H5	LPHW060310TR-D06 MH1000	0,44	0,34	0,34	0,44
H8	LPHW060310TR-D06 MH1000	0,40	0,26	0,26	0,34
H11	LPHW060310TR-D06 MP3000	0,44	0,34	0,34	0,44
H12	LPHT060310TR-M06 T350M	0,40	0,26	0,26	0,34
H21	LPHW060310TR-D06 MH1000	0,40	0,26	0,26	0,34

SMG = Seco Material Group

f_z = mm/dente

v_c = m/min

a_g/DC = %

Todos os dados de corte são valores iniciais de referência

R217/220.21-LP06 – Dados de corte $v_c = (m/min)$

SMG	MP2050			MP2501			MP3000			T350M			F40M			MM4500		
	100%	70%	30%	100%	70%	30%	100%	70%	30%	100%	70%	30%	100%	70%	30%	100%	70%	30%
P1	290	340	405	295	345	415	280	330	395	260	300	360	225	265	315	195	230	275
P2	285	330	390	290	335	395	275	320	375	250	295	345	220	255	300	190	225	265
P3	250	290	340	255	295	350	240	280	330	220	260	305	190	225	265	170	200	235
P4	220	255	300	225	260	305	210	245	290	195	230	265	170	200	230	150	175	205
P5	210	245	290	215	250	295	200	235	280	185	215	260	160	190	225	140	165	195
P6	235	275	330	240	280	335	225	265	315	210	245	290	180	210	255	160	185	220
P7	220	260	310	225	265	315	215	250	300	195	230	275	170	200	240	150	175	210
P8	210	245	285	215	250	290	200	235	275	185	215	255	160	190	220	140	165	195
P11	215	250	300	220	255	305	210	245	290	190	225	265	165	195	230	145	170	200
P12	145	175	200	145	175	205	140	165	195	130	155	180	110	135	155	95	115	135
M1	205	235	280	210	245	285	205	240	280	195	225	265	175	205	240	165	190	230
M2	170	195	235	170	200	240	170	195	235	160	185	225	145	170	205	135	160	190
M3	140	165	195	140	170	200	140	170	200	130	160	190	120	145	170	110	135	155
M4	110	135	160	115	140	160	110	140	160	105	130	150	95	120	135	90	110	125
M5	95	115	130	95	115	135	95	115	130	90	110	125	80	100	115	75	90	105
K1	225	260	310	230	265	315	215	255	300	200	235	275	175	205	240	—	—	—
K2	200	230	275	205	235	280	190	225	265	175	205	245	155	180	215	—	—	—
K3	170	195	235	170	200	240	160	190	225	150	175	210	130	150	180	—	—	—
K4	160	190	225	165	190	230	155	180	215	145	165	200	125	145	175	—	—	—
K5	100	115	135	100	115	140	95	110	130	85	100	120	75	90	105	—	—	—
K6	140	165	195	145	170	200	135	160	190	125	145	175	110	130	150	—	—	—
K7	125	145	175	130	150	175	120	140	170	110	130	155	95	115	135	—	—	—
N1	—	—	—	—	—	—	1600	1850	2225	—	—	—	1275	1475	1775	—	—	—
N2	—	—	—	—	—	—	640	750	900	—	—	—	510	600	720	—	—	—
N3	—	—	—	—	—	—	430	500	600	—	—	—	345	400	480	—	—	—
N11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	390	455	550	—	—	—
S1	55	65	75	—	—	—	50	65	75	50	60	70	45	55	65	28	34	39
S2	44	55	60	—	—	—	42	50	60	40	49	55	36	45	50	22	27	31
S3	39	48	55	—	—	—	37	46	50	35	43	50	32	39	45	19	24	27
S11	75	90	105	—	—	—	70	90	100	70	85	95	60	75	90	38	46	55
S12	50	65	75	—	—	—	50	60	70	47	60	65	43	55	60	35	43	49
S13	31	38	43	—	—	—	29	36	42	28	34	40	25	31	36	21	25	29
H5	46	55	65	48	55	65	46	55	65	46	55	60	40	46	55	—	—	—
H8	49	60	70	50	60	70	49	60	70	49	60	65	42	50	60	—	—	—
H11	60	70	80	60	70	85	60	70	80	60	70	80	50	60	70	—	—	—
H12	100	115	135	100	120	135	95	115	130	85	105	120	75	90	105	—	—	—
H21	49	60	70	50	60	70	49	60	70	49	60	65	42	50	60	—	—	—

SMG	MS2050			MS2500			MH1000			H25		
	100%	70%	30%	100%	70%	30%	100%	70%	30%	100%	70%	30%
P1	—	—	—	325	380	455	—	—	—	—	—	—
P2	—	—	—	315	370	435	—	—	—	—	—	—
P3	—	—	—	275	325	380	—	—	—	—	—	—
P4	—	—	—	245	285	335	—	—	—	—	—	—
P5	—	—	—	235	270	325	—	—	—	—	—	—
P6	—	—	—	260	305	365	—	—	—	—	—	—
P7	190	220	265	245	290	345	—	—	—	—	—	—
P8	180	210	245	235	270	320	—	—	—	—	—	—
P11	185	215	255	240	280	335	—	—	—	—	—	—
P12	120	145	170	160	190	225	—	—	—	—	—	—
M1	195	225	265	225	265	310	—	—	—	—	—	—
M2	160	185	225	185	220	260	—	—	—	—	—	—
M3	130	160	190	155	185	220	—	—	—	—	—	—
M4	105	130	150	125	155	175	—	—	—	—	—	—
M5	90	110	125	105	125	145	—	—	—	—	—	—
K1	—	—	—	—	—	—	230	270	320	—	—	—
K2	—	—	—	—	—	—	205	240	285	—	—	—
K3	—	—	—	—	—	—	175	205	245	—	—	—
K4	—	—	—	—	—	—	165	195	230	—	—	—
K5	—	—	—	—	—	—	100	120	140	—	—	—
K6	—	—	—	—	—	—	145	170	205	—	—	—
K7	—	—	—	—	—	—	130	150	180	—	—	—
N1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1325	1550	1825
N2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	530	620	740
N3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	355	415	490
N11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	405	475	560
S1	50	60	70	60	75	85	—	—	—	—	—	—
S2	40	49	55	49	60	70	—	—	—	—	—	—
S3	35	43	50	43	55	60	—	—	—	—	—	—
S11	70	85	95	85	100	120	—	—	—	—	—	—
S12	47	60	65	60	70	80	—	—	—	—	—	—
S13	28	34	40	34	42	48	—	—	—	—	—	—
H5	—	—	—	—	—	—	55	60	70	—	—	—
H8	—	—	—	—	—	—	55	65	80	—	—	—
H11	—	—	—	—	—	—	70	80	90	—	—	—
H12	—	—	—	—	—	—	100	120	140	—	—	—
H21	—	—	—	—	—	—	55	65	80	—	—	—

A N E X O

VIII

BASE DE DADOS DE FERRAMENTAS

	Kennametal	Ferramenta	Profundidade	Diâmetro	rpm	Comprimento funcional	Z
		M4D040Z06S16LN11	11	40	25400	40	4
		M4D040Z07S16LN11	11	40	25400	40	6
		M4D050Z05S22LN11	11	50	22300	40	5
		M4D050Z07S22LN11	11	50	22300	40	7
		M4D050Z09S22LN11	11	50	22300	40	9
		M4D063Z06S22LN11	11	63	19500	40	6
		M4D063Z09S22LN11	11	63	19500	40	9
		M4D080Z08S27LN11	11	80	17100	50	8
		M4D080Z10S27LN11	11	80	17100	50	10
		M4D063Z06S22LN15	15,5	63	14200	40	6
		M4D063Z07S22LN16	15,5	63	14200	40	7
		M4D080Z07S22LN17	15,5	80	12300	50	7
		M4D100Z08S22LN18	15,5	100	10900	50	8
		63A06RS90ED10D	9,9	63	25200	63	6
Iscar	Ferramenta	Profundidade	Diâmetro	rpm	Comprimento funcional	Z	
	H490 F90AX D063-8-22-09	8	63	-----	40	8	
	H490 F90AX D080-7-27-12	12	80	-----	50	7	
	T490 FLN D063-06-27-16	16	63	-----	45	6	
	T490 FLN D080-05-27-16	16	80	-----	50	5	
	H690 F90AX D063-5-27-16	13,5	63	-----	50	5	
	H690 F90AX D080-5-27-16	13,5	80	-----	50	5	

Seco	Ferramenta	Profundidade	Diâmetro	rpm	Comprimento funcional	Z
	R220.79-0063-08-5A	7	63	9400	50	5
	R220.79-0063-08-6A	7	63	9400	50	6
	R217.79-3240.3-08-3A	7	40	11800	150	3
	R220.79-0050-08-4A	7	50	10600	40	4
	R220.79-0050-08-5A	7	50	10600	40	5
	R220.79-0100-08-7A	7	100	7500	50	7
	R220.79-0050-12A	11	50	9700	40	4
	R220.79-0063-12A	11	63	8600	40	5
	R220.79-0080-12A	11	80	7600	50	6
	R217.79-01.50-3-12A	11	38,1	10800	150	3
	R220.94-00063-058-12.5A	58	63	8800	75	6*5
	R220.94-00050-058-12.4A	58	50	9900	80	4*5
	R220.94-00063-046-12.4A	46	63	8800	65	4*4
	R220.94-00080-069-12.5A	69	80	7800	90	5*6
	R220.94-00063-081-12.4A	81	63	8800	93	4*7
	R220.94-03.00-3.18-12-5A	81	76,2	8000	95	5*7

ANEXO VIII. BASE DE DADOS DE FERRAMENTAS

Sandvik	Ferramenta	Profundidade	Diâmetro	rpm	Comprimento funcional	Z
	R390-040Q16-07M	5,8	40	21500	35	7
	R390-040Q16-11M	10	40	2700	40	4
	R390-040Q16-17M	15,7	40	21900	40	3
	R390-066Q22-11M	10	63	20700	40	6
	R390-066Q16-17M	15,7	63	16500	40	5
	R390-066Q16-18M	15,4	63	6800	40	5
	R390-100Q32-17M	15,7	100	12700	50	7
	R390-160Q40-18M	15,4	160	4000	63	12
	R390-200Q60-18M	15,4	200	3600	63	10
	R390-040Q16-36M	36	40	18900	56,7	3
	R390-050Q22-36M	36	50	16600	56,7	4
	R390-063Q27-57L	57	63	6800	82,6	3
	R390-080Q32-71L	71	80	5900	96,7	3
	R390-100Q40-57M	57	100	5200	82,6	4
	R390-125Q40-43L	43	125	4600	68,6	6
	R390-160Q40-43L	43	160	4000	68,6	8
	725-063C5-21M	2,8	63	5894	63	5
	725-080C6-21M	2,8	80	5324	65	5
	725-100C8-21M	2,8	100	4765	65	7
	725-063Q22-21M	2,8	63	5894	50	5
	725-080Q27-21M	2,8	80	5324	50	6
	725-100Q32-21M	2,8	100	4765	50	7
	725-160Q40-21M	2,8	160	3675	63	10

A N E X O



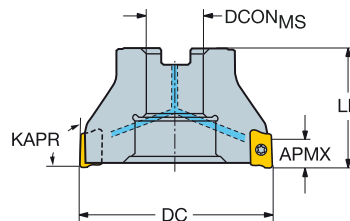
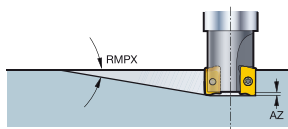
ESPECIFICAÇÕES DA R390-066Q22-18M

Fresa CoroMill® 390 para cantos a 90 graus

Árvore - refrigeração interna

STDNO
KAPR

ISO 6462
90°



										Dimensões, mm								
DC		CZC _{MS}	APMX _{EFW}	APMX _{FFW}	RMPX	AZ	CNSC			Código para pedido	DCON _{MS}	ISO	LF	NM	KG	RPMX	CICT	MIID
40.0	07	16	2.0	5.80	0°	0.5	1		7	R390-040Q16-07M	16.0	A	35.0	0.5	0.20	21500	7	390R-07..
	07	16	2.0	5.80	0°	0.5	1		10	R390-040Q16-07H	16.0	A	35.0	0.5	0.20	21500	10	390R-07..
	11	16	5.5	10.00	2°	1.0	1		4	R390-040Q16-11M	16.0	A	40.0	1.2	0.44	27000	4	R390-11..
	11	16	5.5	10.00	2°	1.0	1		6	R390-040Q16-11H	16.0	A	40.0	1.2	0.50	27000	6	R390-11..
	17	16	8.5	15.70	3°	1.5	1	2		R390-040Q16-17L	16.0	A	40.0	3.0	0.38	21900	2	R390-17..
	17	16	8.5	15.70	3°	1.5	1		3	R390-040Q16-17M	16.0	A	40.0	3.0	0.46	21900	3	R390-17..
	17	16	8.5	15.70	3°	1.5	1	4		R390-040Q16-17H	16.0	A	40.0	3.0	0.20	21900	4	R390-17..
44.0	11	16	5.5	10.00	1°	1.0	1		4	R390-044Q16-11M	16.0	A	40.0	1.2	0.20	25600	4	R390-11..
	17	16	8.5	15.70	3°	1.5	1		3	R390-044Q16-17M	16.0	A	40.0	3.0	0.20	20600	3	R390-17..
50.0	11	22	5.5	10.00	1°	1.0	1		5	R390-050Q22-11M	22.0	A	40.0	1.2	0.35	23700	5	R390-11..
	11	22	5.5	10.00	1°	1.0	1		7	R390-050Q22-11H	22.0	A	40.0	1.2	0.38	23700	7	R390-11..
	17	22	8.5	15.70	2°	1.5	1		3	R390-050Q22-17L	22.0	A	40.0	3.0	0.35	19000	3	R390-17..
	17	22	8.5	15.70	2°	1.5	1		4	R390-050Q22-17M	22.0	A	40.0	3.0	0.32	19000	4	R390-17..
	17	22	8.5	15.70	2°	1.5	1		5	R390-050Q22-17H	22.0	A	40.0	3.0	0.30	19000	5	R390-17..
	18	22	1.1	15.40	5°	0.0	1		3	R390-050Q22-18L	22.0	A	40.0	3.0	0.59	7900	3	R390-18..
	18	22	1.1	15.40	5°	0.0	1		4	R390-050Q22-18M	22.0	A	40.0	3.0	0.58	7900	4	R390-18..
	18	22	1.1	15.40	5°	0.0	1	5		R390-050Q22-18H	22.0	A	40.0	3.0	0.30	7900	5	R390-18..
54.0	11	22	5.5	10.00	1°	1.0	1		5	R390-054Q22-11M	22.0	A	40.0	1.2	0.39	22600	5	R390-11..
	17	22	8.5	15.70	2°	1.5	1		4	R390-054Q22-17M	22.0	A	40.0	3.0	0.37	18200	4	R390-17..
	18	22	1.1	15.40	5°	0.0	1		4	R390-054Q22-18M	22.0	A	40.0	3.0	0.30	7500	4	R390-18..
63.0	11	22	5.5	10.00	1°	1.0	1		6	R390-063Q22-11M	22.0	A	40.0	1.2	0.68	20700	6	R390-11..
	11	22	5.5	10.00	1°	1.0	1		8	R390-063Q22-11H	22.0	A	40.0	1.2	0.48	20700	8	R390-11..
	17	22	8.5	15.70	2°	1.5	1		4	R390-063Q22-17L	22.0	A	40.0	3.0	0.50	16500	4	R390-17..
	17	22	8.5	15.70	2°	1.5	1		5	R390-063Q22-17M	22.0	A	40.0	3.0	0.48	16500	5	R390-17..
	17	22	8.5	15.70	2°	1.5	1		6	R390-063Q22-17H	22.0	A	40.0	3.0	0.68	16500	6	R390-17..
	18	22	1.1	15.40	4°	0.0	1		4	R390-063Q22-18L	22.0	A	40.0	3.0	0.81	6800	4	R390-18..
	18	22	1.1	15.40	4°	0.0	1		5	R390-063Q22-18M	22.0	A	40.0	3.0	0.70	6800	5	R390-18..
	18	22	1.1	15.40	4°	0.0	1	6		R390-063Q22-18H	22.0	A	40.0	3.0	0.70	6800	6	R390-18..
66.0	11	22	5.5	10.00	3°	1.0	1		6	R390-066Q22-11M	22.0	A	40.0	1.2	0.72	20200	6	R390-11..
	17	22	8.5	15.70	1°	1.5	1		5	R390-066Q22-17M	22.0	A	40.0	3.0	0.50	16100	5	R390-17..
	18	22	1.1	15.40	3°	0.0	1		6	R390-066Q22-18M	22.0	A	40.0	3.0	0.71	6700	5	R390-18..
80.0	11	27	5.5	10.00	0°	1.0	1		7	R390-080Q27-11M	27.0	A	50.0	1.2	1.08	18200	7	R390-11..
	11	27	5.5	10.00	0°	1.0	1		10	R390-080Q27-11H	27.0	A	50.0	1.2	0.72	18200	10	R390-11..
	17	27	8.5	15.70	1°	1.5	1		4	R390-080Q27-17L	27.0	A	50.0	3.0	1.06	14400	4	R390-17..
	17	27	8.5	15.70	1°	1.5	1		6	R390-080Q27-17M	27.0	A	50.0	3.0	0.96	14400	6	R390-17..
	17	27	8.5	15.70	1°	1.5	1		8	R390-080Q27-17H	27.0	A	50.0	3.0	0.94	14400	8	R390-17..
	18	27	1.1	15.40	3°	0.0	1		4	R390-080Q27-18L	27.0	A	50.0	3.0	1.05	5900	4	R390-18..
	18	27	1.1	15.40	3°	0.0	1		6	R390-080Q27-18M	27.0	A	50.0	3.0	1.00	5900	6	R390-18..
84.0	11	27	5.5	10.00	3°	1.0	1		7	R390-084Q27-11M	27.0	A	50.0	1.2	1.41	17700	7	R390-11..
	17	27	8.5	15.70	1°	1.5	1		6	R390-084Q27-17M	27.0	A	50.0	3.0	1.07	14100	6	R390-17..
	18	27	1.1	15.40	3°	0.0	1		6	R390-084Q27-18M	27.0	A	50.0	3.0	1.25	5800	6	R390-18..
100.0	17	32	8.5	15.70	0°	1.5	1		5	R390-100Q32-17L	32.0	B	50.0	3.0	1.77	12700	5	R390-17..
	17	32	8.5	15.70	0°	1.5	1		7	R390-100Q32-17M	32.0	B	50.0	3.0	1.73	12700	7	R390-17..
	17	32	8.5	15.70	0°	1.5	1		9	R390-100Q32-17H	32.0	B	50.0	3.0	1.57	12700	9	R390-17..
	18	32	1.1	15.40	2°	0.0	1		5	R390-100Q32-18L	32.0	B	50.0	3.0	1.83	5200	5	R390-18..
	18	32	1.1	15.40	2°	0.0	1		7	R390-100Q32-18M	32.0	B	50.0	3.0	1.75	5200	7	R390-18..
125.0	17	40	8.5	15.70	0°	1.5	1		6	R390-125Q40-17L	40.0	B	63.0	3.0	2.71	11200	6	R390-17..
	17	40	8.5	15.70	0°	1.5	1		8	R390-125Q40-17M	40.0	B	63.0	3.0	2.70	11200	8	R390-17..
	17	40	8.5	15.70	0°	1.5	1		11	R390-125Q40-17H	40.0	B	63.0	3.0	2.74	11200	11	R390-17..
	18	40	1.1	15.40	1°	0.0	1		6	R390-125Q40-18L	40.0	B	63.0	3.0	2.72	4600	6	R390-18..
	18	40	1.1	15.40	1°	0.0	1		8	R390-125Q40-18M	40.0	B	63.0	3.0	2.76	4600	8	R390-18..



I74



L2



M1



ISO 13399



N23



N6



N9



N15

Ferramentas para fresamento de cantos a 90 graus

CoroMill® 390

Código para pedido	Avanço por dente, f_z mm/dente		Espessura máxima de cavacos, h_{bx} mm	
	Valor inicial	(mín. - máx.)	Valor inicial	(mín. - máx.)
R390-11T331M-PM	0.12	(0.08-0.2)	0.12	(0.08-0.2)
R390-11T304E-P4-NL	0.17	(0.1-0.2)	0.17	(0.1-0.2)
R390-170404E-KM	0.1	(0.08-0.15)	0.1	(0.08-0.18)
R390-170404E-MM	0.15	(0.08-0.2)	0.12	(0.08-0.2)
R390-170404E-PM	0.12	(0.08-0.2)	0.12	(0.08-0.2)
R390-170404M-KM	0.1	(0.08-0.15)	0.1	(0.08-0.15)
R390-170404M-PM	0.1	(0.08-0.15)	0.1	(0.08-0.15)
R390-170408E-KL	0.08	(0.05-0.15)	0.08	(0.05-0.15)
R390-170408E-ML	0.08	(0.04-0.15)	0.08	(0.04-0.15)
R390-170408E-NL	0.17	(0.1-0.2)	0.15	(0.08-0.25)
R390-170408E-PL	0.08	(0.05-0.15)	0.08	(0.05-0.15)
R390-170408M-KH	0.2	(0.15-0.35)	0.2	(0.15-0.35)
R390-170408M-KL	0.08	(0.05-0.15)	0.08	(0.05-0.15)
R390-170408M-KM	0.15	(0.1-0.25)	0.15	(0.1-0.25)
R390-170408M-MM	0.15	(0.08-0.2)	0.15	(0.08-0.2)
R390-170408M-PH	0.2	(0.15-0.35)	0.2	(0.15-0.35)
R390-170408M-PL	0.08	(0.05-0.15)	0.08	(0.05-0.15)
R390-170408M-PM	0.15	(0.1-0.25)	0.15	(0.1-0.25)
R390-170412E-KM	0.1	(0.08-0.18)	0.1	(0.08-0.18)
R390-170412E-MM	0.12	(0.08-0.2)	0.12	(0.08-0.2)
R390-170412E-PM	0.12	(0.08-0.2)	0.12	(0.08-0.2)
R390-170416E-KM	0.15	(0.1-0.25)	0.1	(0.08-0.18)
R390-170416E-MM	0.12	(0.08-0.2)	0.12	(0.08-0.2)
R390-170416E-PM	0.12	(0.08-0.2)	0.12	(0.08-0.2)
R390-170416M-KM	0.12	(0.08-0.2)	0.15	(0.1-0.25)
R390-170416M-PH	0.2	(0.15-0.35)	0.2	(0.15-0.35)
R390-170416M-PM	0.15	(0.1-0.25)	0.15	(0.1-0.25)
R390-170420E-KM	0.1	(0.08-0.18)	0.1	(0.08-0.18)
R390-170420E-MM	0.12	(0.08-0.2)	0.12	(0.08-0.2)
R390-170420E-NL	0.2	(0.12-0.32)	0.2	(0.1-0.3)
R390-170420E-PM	0.12	(0.08-0.2)	0.12	(0.08-0.2)
R390-170424E-KM	0.1	(0.08-0.18)	0.1	(0.08-0.18)
R390-170424E-MM	0.12	(0.08-0.2)	0.12	(0.08-0.2)
R390-170424E-PM	0.12	(0.08-0.2)	0.12	(0.08-0.2)
R390-170431E-KM	0.15	(0.1-0.25)	0.1	(0.08-0.18)
R390-170431E-MM	0.12	(0.08-0.2)	0.12	(0.08-0.2)
R390-170431E-NL	0.2	(0.12-0.32)	0.2	(0.12-0.32)
R390-170431E-PM	0.12	(0.08-0.2)	0.12	(0.08-0.2)
R390-170431M-KM	0.12	(0.08-0.2)	0.15	(0.1-0.25)
R390-170431M-PM	0.15	(0.1-0.25)	0.15	(0.1-0.25)
R390-170440E-KM	0.1	(0.08-0.18)	0.1	(0.08-0.18)
R390-170440E-MM	0.12	(0.08-0.2)	0.12	(0.08-0.2)
R390-170440E-NL	0.2	(0.12-0.4)	0.2	(0.12-0.32)
R390-170440E-PM	0.12	(0.08-0.2)	0.12	(0.08-0.2)
R390-170448E-KM	0.1	(0.08-0.18)	0.1	(0.08-0.18)
R390-170448E-MM	0.12	(0.08-0.2)	0.12	(0.08-0.2)
R390-170448E-PM	0.12	(0.08-0.2)	0.12	(0.08-0.2)
R390-170450E-KM	0.1	(0.08-0.18)	0.1	(0.08-0.18)
R390-170450E-MM	0.12	(0.08-0.2)	0.12	(0.08-0.2)
R390-170450E-NL	0.2	(0.12-0.4)	0.2	(0.12-0.4)
R390-170450E-PM	0.12	(0.08-0.2)	0.12	(0.08-0.2)
R390-170460E-KM	0.1	(0.08-0.18)	0.1	(0.08-0.18)
R390-170460E-MM	0.12	(0.08-0.2)	0.12	(0.08-0.2)
R390-170460E-PM	0.12	(0.08-0.2)	0.12	(0.08-0.2)
R390-170464E-KM	0.08	(0.04-0.15)	0.1	(0.08-0.18)
R390-170464E-MM	0.12	(0.08-0.2)	0.12	(0.08-0.2)
R390-170464E-PM	0.12	(0.08-0.2)	0.12	(0.08-0.2)
R390-170408E-P6-NL	0.17	(0.1-0.2)	0.17	(0.1-0.2)
R390-180608H-KL	0.11	(0.05-0.22)	0.11	(0.05-0.22)
R390-180608H-ML	0.11	(0.05-0.22)	0.11	(0.05-0.22)
R390-180608H-PL	0.11	(0.05-0.22)	0.11	(0.05-0.22)
R390-180608M-KM	0.2	(0.08-0.3)	0.2	(0.08-0.3)
R390-180608M-MM	0.18	(0.1-0.3)	0.18	(0.1-0.3)
R390-180608M-PM	0.2	(0.08-0.3)	0.2	(0.08-0.3)
R390-180612H-KL	0.11	(0.05-0.22)	0.11	(0.05-0.22)
R390-180612H-ML	0.11	(0.05-0.22)	0.11	(0.05-0.22)
R390-180612H-PL	0.11	(0.05-0.22)	0.11	(0.05-0.22)
R390-180612M-KM	0.2	(0.08-0.3)	0.2	(0.08-0.3)
R390-180612M-KMR	0.2	(0.08-0.3)	0.2	(0.08-0.3)
R390-180612M-MM	0.18	(0.1-0.3)	0.18	(0.1-0.3)
R390-180612M-MMR	0.18	(0.1-0.3)	0.18	(0.1-0.3)
R390-180612M-PM	0.2	(0.08-0.3)	0.2	(0.08-0.3)