



M 2017

OTIMIZAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO DA CÉLULA DE ELÉTRODOS NO GRUPO SIMOLDES

JOSÉ MIGUEL DA CRUZ OLIVEIRA ALVES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA

À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM

ORIENTADOR

PROFESSOR VITOR MARTINS AUGUSTO

<i>CANDIDATO</i>	José Miguel da Cruz Oliveira Alves	<i>Código</i>	201101766
<i>TÍTULO</i>	Otimização da Programação da Célula de Eléktodos no Grupo Simoldes		
<i>DATA</i>	20 de fevereiro de 2017		
<i>LOCAL</i>	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - Sala F106 - 11:00h		
<i>JÚRI</i>	<i>Presidente</i>	Professor Doutor Luís Filipe Malheiros de Freitas Ferreira	DEMM/FEUP
	<i>Arguente</i>	Professor Doutor Carlos Alberto Moura Relvas	DEM/UA
	<i>Orientador</i>	Professor Vitor Manuel Branco Martins Augusto	DEMM/FEUP

Resumo

Esta dissertação surgiu de uma colaboração com o grupo Simoldes devido à necessidade de otimizar a programação CAM para a célula de eléctrodos recentemente adquirida. Sendo assim, o objetivo do projeto foi uniformizar e otimizar os procedimentos de programação CAM para esta mesma célula.

Inicialmente, foi realizada uma análise a todo o setor de erosão, desde a extração de eléctrodos até à eletroerosão, dando especial atenção às etapas de programação CAM e de maquinagem. Com esta análise, foram identificados múltiplos pontos de possível melhoria, nomeadamente a inconstância de velocidades de corte e estratégias de maquinagem utilizadas por diferentes programadores.

A nível da programação CAM, foram desenvolvidas macros e bases de dados de velocidades de ferramentas. As macros evitam a necessidade de realizar tarefas repetitivas e permitem a criação de programas de maquinagem de forma semi-automática. As bases de dados de velocidades de ferramentas visam uniformizar as velocidades de corte usadas entre programadores, pretendendo minimizar os tempos de maquinagem simultaneamente.

Relativamente à maquinagem, foi testada a utilização da função de compensação do raio da ferramenta de forma a garantir o cumprimento das cotas na maquinagem de eléctrodos.

Os resultados obtidos foram positivos, tendo-se verificado diminuições nos tempos de programação CAM e nos tempos de maquinagem, assim como uma homogeneização de metodologias de programação entre programadores. Perspetiva-se que uma utilização mais regular das macros conduzirá a uma redução ainda mais acentuada dos tempos necessários para a programação e a maquinagem.

Palavras-chave

Eléctrodo; PowerMILL; Macros; Ferramentas; Maquinagem

Abstract

This thesis was developed in a collaboration with Simoldes group, aiming at responding to the need of optimizing the CAM programming for a recently acquired electrode cell.

Initially, it was carried out an analysis of the whole EDM sector, from the electrodes extraction to the EDM, giving special attention to the CAM programming and machining stages. This analysis identified multiple points of possible improvement, namely the inconstancy of cutting speeds and machining strategies used by the different programmers.

With respect to CAM programming, macros and tool speed databases have been developed. The macros overcome the need to perform repeated tasks and can create semi-automatic machining programs. The tool speed databases aim at standardizing the cutting speeds used between different programmers, while simultaneously minimizing machining times.

Regarding the machining, the use of the tool radius compensation function was tested in order to guarantee the compliance of the dimensional quotas in the machining of electrodes.

The results obtained were positive, with decreases in the CAM programming times and in the machining times, as well as a homogenization of the machining programs used among programmers. It is envisaged that a more regular use of the macros will lead, in the future, to an even greater reduction on the time required for programming and machining.

Keywords

Electrode; PowerMILL; Macroinstruction; Cutting Tools; Machining

Agradecimentos

Ao professor Vitor Martins Augusto, por todo o acompanhamento e disponibilidade ao longo do desenvolvimento desta dissertação e por me ter proporcionado uma transição do ambiente académico para um ambiente empresarial.

Ao grupo Simoldes, por ter aceite acolher a minha dissertação e por todo o apoio e disponibilidade. Um obrigado especial a todos os intervenientes da Simoldes Aços, que direta ou indiretamente impactaram positivamente o desenvolvimento desta dissertação.

À Norcam por fornecer as licenças dos *softwares* utilizados: PowerMILL, PowerSHAPE e PostProcessor.

A todos os meus amigos, que sempre me apoiaram durante o meu percurso académico e que influenciaram direta ou indiretamente o desenvolvimento deste projeto. Um agradecimento especial a todos os “Verdadeiros” por todo o apoio ao longo de todos estes anos.

Agradeço também à Sara por todo o apoio, compreensão e paciência demonstrada durante este período.

Gostaria ainda de agradecer a toda a minha família, em especial aos meus pais, por todo o apoio e por sempre acreditarem e desejarem o meu sucesso.

Índice

RESUMO	I
ABSTRACT	II
AGRADECIMENTOS	III
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	IX
ABREVIATURAS	X
1.OBJETIVO	1
2.INTRODUÇÃO	2
2.1.1. Grupo Simoldes.....	2
2.2. <i>ELETROEROSÃO</i>	2
2.3. <i>ELÉTRODOS</i>	5
2.4. <i>CÉLULAS ROBÓTICAS</i>	6
2.5. <i>MAQUINAGEM</i>	8
2.5.1. Maquinagem 3 eixos	9
2.5.2. Maquinagem a 3+2 eixos	9
2.5.3. Maquinagem a 5 eixos	10
2.5.4. Comparação entre Tipos de Maquinagem	10
2.5.5. Estratégias de maquinagem	11
2.6. <i>FERRAMENTAS</i>	12
2.6.1. Parâmetros de corte.....	13
2.7. <i>MAQUINAGEM DE ALTA VELOCIDADE</i>	14
2.8. <i>MACROINSTRUÇÃO</i>	14
3.SOFTWARES UTILIZADOS.....	16
3.1. <i>POWERMILL 2016</i>	16

3.2.	<i>POWERSHAPE 2016</i>	16
3.3.	<i>POSTPROCESSOR 2015</i>	17
3.4.	<i>VISUAL STUDIO 2015</i>	17
3.5.	<i>ACCESS 2016</i>	17
4.	PROCESSO DE ELETROEROSÃO NA SIMOLDES AÇOS	18
4.1.	<i>EXTRAÇÃO DOS ELÉTODOS</i>	18
4.2.	<i>PROGRAMAÇÃO DE PERCURSOS DE MAQUINAGEM</i>	18
4.3.	<i>PREPARAÇÃO</i>	18
4.4.	<i>MAQUINAGEM</i>	19
4.4.1.	Fresadoras	19
4.4.2.	Célula robótica Erowa ERS	20
4.5.	<i>CONTROLO DE QUALIDADE</i>	21
4.6.	<i>EROSÃO</i>	21
5.	TRABALHO REALIZADO	23
5.1.	<i>ANÁLISE DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO</i>	23
5.1.1.	Programas de maquinagem	23
5.1.2.	Tipos de eletrodos	24
5.1.3.	Preparação e maquinagem de eletrodos	24
5.2.	<i>DESENVOLVIMENTO/ APLICAÇÃO DE MELHORIAS</i>	24
5.2.1.	Macros simples	25
5.2.2.	Macros de estratégia	27
5.2.3.	Métodos de utilização	33
5.2.4.	Manual de utilização de macros	34
5.2.5.	Simuladores das máquinas	34
5.2.6.	Ferramentas	35
5.2.7.	Pós-processador com compensação de raio	37
5.3.	<i>PROGRAMA DE CONTROLO DE TEMPO</i>	38
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
6.1.	<i>MACRO SIMPLES</i>	40
6.1.1.	Importar modelo	40
6.1.2.	Início	41

6.1.3. Rodar	42
6.1.4. Programa NC.....	43
6.1.5. Mudança de gap de erosão	44
6.1.6. Espelhar	44
6.2. <i>MACROS DE ESTRATÉGIA</i>	44
6.2.1. Parede	45
6.2.2. Frisos	46
6.2.3. Caixa.....	47
6.2.4. Ponta Inclínada.....	47
6.2.5. Pino	47
6.2.6. Grelha	48
6.3. <i>FERRAMENTAS</i>	48
6.3.1. Base de dados de velocidades de ferramentas	48
6.3.2. Ferramenta de Ripa	49
6.4. <i>TEMPO DE MAQUINAGEM</i>	49
6.5. <i>DISCUSSÃO GERAL DOS RESULTADOS</i>	51
7. CONCLUSÕES	53
8. TRABALHO FUTURO	55
9. BIBLIOGRAFIA	56
10. ANEXOS.....	1
ANEXO A - <i>PROCESSO DE ELETROEROSÃO</i>	2
ANEXO B - <i>MACROS SIMPLES</i>	5
ANEXO C - <i>MACROS DE ESTRATÉGIA</i>	8
ANEXO D - <i>PROGRAMA DE CONTROLO DE TEMPO DE MAQUINAGEM</i>	10
ANEXO E - <i>MANUAL DE MACROS</i>	12

Lista de Figuras

FIGURA 1 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO PROCESSO DE EDM ^[5]	3
FIGURA 2 - ILUSTRAÇÃO DE ELETROEROSÃO POR FIO ^[7]	3
FIGURA 3 - ILUSTRAÇÃO DE ELETROEROSÃO POR PENETRAÇÃO OU CONVENCIONAL ^[7]	4
FIGURA 4 - ELETROEROSÃO DE FURAÇÃO ^[7]	4
FIGURA 5 - EXEMPLO GENÉRICO DE UMA CÉLULA COM ROBOT CENTRAL ^[14]	7
FIGURA 6 - EXEMPLO DE UMA CÉLULA ROBÓTICA LINEAR ^[14]	7
FIGURA 7 - EXEMPLO DE UMA CÉLULA ROBÓTICA MÓVEL ^[14]	8
FIGURA 8 - EIXOS DE TRANSLAÇÃO PRINCIPAIS E RESPECTIVOS EIXOS DE ROTAÇÃO ^[16]	10
FIGURA 9 - EXEMPLO DE FRESAS DE CORTE, DE PASTILHA RECAMIÁVEL ^[26] (ESQUERDA) E INTEIRIÇA DE NAVALHAS ^[27] (DIREITA)	12
FIGURA 10 - MÁQUINA DMG MORI HSC 105 LINEAR ^[40]	19
FIGURA 11 - MÁQUINA DMG MORI HSC 55 ^[40]	20
FIGURA 12 - EXEMPLO DE UMA CÉLULA ROBÓTICA DE ELÉTODOS (ESQUERDA) ^[41] . ARMAZÉM DE ELÉTODOS DA CÉLULA ROBÓTICA DA SIMOLDES AÇOS.	21
FIGURA 13 - EXEMPLOS DE BASES DE FIXAÇÃO DE PEÇAS DESENVOLVIDAS PELA EROWA. ESQUERDA - ZONA INFERIOR DA BASE DE FIXAÇÃO; DIREITA - ZONA SUPERIOR DA BASE DE FIXAÇÃO.	21
FIGURA 14 - MÁQUINA DE EROSAO ONA NX8 ^[43]	22
FIGURA 15 - MÁQUINA DE EROSAO ONA NX7 ^[43]	22
FIGURA 16 - EXEMPLOS DE ELÉTODOS DO TIPO PAREDE.	24
FIGURA 17 - FLUXOGRAMA EXPLICATIVO DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE UMA MACRO SIMPLES.	25
FIGURA 18 - EXEMPLO DA JANELA DE ESCOLHA DE MODELO/PROJETO A IMPORTAR APRESENTADA COM A UTILIZAÇÃO DA MACRO DE IMPORTAR.	26
FIGURA 19 - FLUXOGRAMA EXPLICATIVO DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE UMA MACRO DE ESTRATÉGIA.	28
FIGURA 20 - FLUXOGRAMA EXPLICATIVO DA SEQUÊNCIA DE ESTRATÉGIAS APLICADAS NA MACRO PARA ELÉTODOS DO TIPO PAREDE.	28
FIGURA 21 - EXEMPLOS DE ELÉTODOS DO TIPO FRISOS.	29
FIGURA 22 - FLUXOGRAMA EXPLICATIVO DA SEQUÊNCIA DE ESTRATÉGIAS APLICADAS NA MACRO PARA ELÉTODOS DO TIPO FRISOS.	29
FIGURA 23 - EXEMPLOS DE ELÉTODOS DO TIPO CAIXA.	30
FIGURA 24 - FLUXOGRAMA EXPLICATIVO DA SEQUÊNCIA DE APLICAÇÃO DE ESTRATÉGIAS NA MACRO PARA ELÉTODOS DO TIPO CAIXA.	30
FIGURA 25 - EXEMPLO DE ELÉTODOS DO TIPO PONTA INCLINADA.	31

Otimização da programação da célula de eletrodos no grupo Simoldes

FIGURA 26 - FLUXOGRAMA EXPLICATIVO DA SEQUÊNCIA DE APLICAÇÃO DE ESTRATÉGIAS NA MACRO PARA ELÉTODOS DO TIPO PONTA INCLINADA.....	31
FIGURA 27 - EXEMPLO DE UM ELÉTRODO DO TIPO PINO.	32
FIGURA 28 - FLUXOGRAMA EXPLICATIVO DA SEQUÊNCIA DE ESTRATÉGIAS APLICADAS NA MACRO PARA ELÉTODOS DO TIPO PINO.....	32
FIGURA 29 - EXEMPLOS DE ELÉTODOS DO TIPO GRELHA.	33
FIGURA 30 - FLUXOGRAMA EXPLICATIVO DA SEQUÊNCIA DE ESTRATÉGIAS APLICADAS NA MACRO PARA ELÉTODOS DO TIPO GRELHA.....	33
FIGURA 31 - BARRA DE FERRAMENTAS CRIADA PARA FACILITAR A UTILIZAÇÃO DAS MACROS DESENVOLVIDAS.	34
FIGURA 32 - MENU DE USUÁRIO COM TODAS AS MACROS REALIZADAS, ACESSÍVEL ATRAVÉS DE UM CLIQUE NO BOTÃO DIREITO DO RATO (ESQUERDA). ATALHOS DE TECLADO CORRESPONDENTES A CADA UMA DAS MACROS (DIREITA).....	34
FIGURA 33 - EXEMPLO DE UMA FERRAMENTA DE RIPA ^[27]	37
FIGURA 34 - MODELO CAD DO ELÉTRODO TESTE DA FUNÇÃO DE COMPENSAÇÃO DE RAIOS (ESQUERDA). ESTRATÉGIA DE ACABAMENTO Z CONSTANTE (DIREITO).	37
FIGURA 35 - MÓDULO DE MEDIÇÃO POR LASER DE FERRAMENTAS, RENISHAW NC4TX.	38
FIGURA 36 - ELÉTRODO MAQUINADO UTILIZANDO A FUNÇÃO DE COMPENSAÇÃO DE RAIOS DE FERRAMENTA. ..	38
FIGURA 37 - TEMPOS DE APLICAÇÃO DE MACROS E DAS AÇÕES CORRESPONDENTES POR MÉTODOS TRADICIONAIS. OS VALORES ACIMA DAS BARRAS CORRESPONDEM À PERCENTAGEM DE TEMPO GANHO COM A UTILIZAÇÃO DE MACROS.....	40
FIGURA 38 - TEMPOS DE IMPORTAÇÃO DE MODELOS COM A UTILIZAÇÃO DA MACRO.....	41
FIGURA 39 - TEMPO DE CRIAÇÃO DE BLOCO E ATIVAÇÃO DO PLANO DE TRABALHO COM A UTILIZAÇÃO DA MACRO DE INÍCIO GENÉRICO.	42
FIGURA 40 - TEMPO DE ROTAÇÃO DO MODELO COM A UTILIZAÇÃO DA MACRO DE RODAR.	43
FIGURA 41 - TEMPOS DE CRIAÇÃO DO PROGRAMA NC UTILIZANDO A MACRO.	43
FIGURA 42 - TEMPOS DE APLICAÇÃO DA MACRO DE ESPELHAR.	44
FIGURA 43 - TEMPOS MÉDIOS DE APLICAÇÃO DE MACROS DE ESTRATÉGIA E TEMPOS MÉDIOS DE CRIAÇÃO DE PROGRAMAS DE MAQUINAGEM SEM A UTILIZAÇÃO DE MACROS. OS VALORES ACIMA DAS BARRAS CORRESPONDEM À PERCENTAGEM DE REDUÇÃO DE TEMPO DE PROGRAMAÇÃO COM A UTILIZAÇÃO DE MACROS. *OS VALORES APRESENTADOS BASEIAM-SE APENAS NUMA MEDIÇÃO PARA CADA CASO. **OS VALORES APRESENTADOS SÃO ESTIMADOS.....	45
FIGURA 44 - TEMPO DE APLICAÇÃO DA MACRO PARA ELÉTODOS DE PAREDE.....	46
FIGURA 45 - TEMPO DE APLICAÇÃO DA MACRO PARA ELÉTODOS DO TIPO FRISO.	47
FIGURA 46 - PERCENTAGEM DE TEMPO DE CADA UMA DAS BASES DE VELOCIDADES DE CORTE DE FERRAMENTAS EM RELAÇÃO AO TEMPO ORIGINAL (100%).....	49

Otimização da programação da célula de eletrodos no grupo Simoldes

FIGURA 47 - TEMPO DE PRODUÇÃO DIÁRIA DA MÁQUINA HSC105. CADA PONTO CORRESPONDE A UM DIA DE TRABALHO.	50
FIGURA 48 - TEMPO DE PRODUÇÃO DIÁRIA DA MÁQUINA HSC55.	51
FIGURA 49 - EXEMPLO DE FOLHA DE SERVIÇO DE UM ELÉTRODO.	3
FIGURA 50 - EXEMPLO DE ETIQUETA APLICADA A TODOS OS ELÉTODOS PARA A SUA MAIS FÁCIL IDENTIFICAÇÃO.	4
FIGURA 51 - FOLHA DE EROÇÃO UTILIZADA PARA DISTRIBUIR CORRETAMENTE OS ELÉTODOS NA MÁQUINA DE EROÇÃO.	4
FIGURA 52 - EXCERTO DO CÓDIGO DA MACRO DE RODAR O MODELO.	6
FIGURA 53 - EXCERTO DO CÓDIGO DA MACRO SIMPLES DE IMPORTAÇÃO DE MODELO.	6
FIGURA 54 - EXCERTO DO CÓDIGO DA MACRO SIMPLES DE CRIAÇÃO DO PROGRAMA NC.	7
FIGURA 55 - EXCERTO DO CÓDIGO DA MACRO DE ESTRATÉGIA PARA ELÉTODOS DO TIPO PAREDE.	9
FIGURA 56 - EXCERTO DO CÓDIGO DA MACRO DE ESTRATÉGIA PARA ELÉTODOS DO TIPO FRISO.	9
FIGURA 57 - EXCERTO DO CÓDIGO DO PROGRAMA DE CONTROLO DE TEMPO DE PROGRAMAÇÃO.	11
FIGURA 58 - EXCERTO DO CÓDIGO DO PROGRAMA DE CONTROLO DE TEMPO DE PROGRAMAÇÃO.	11

Lista de Tabelas

TABELA 1 - PARÂMETROS DE CORTE DO ELÉTRODO UTILIZADO NO TESTE DE COMPENSAÇÃO DE RAIOS.	37
---	----

Abreviaturas

CAD (Computer Aided Design) - Design assistido por computador

CAM (Computer-aided Manufacturing) - Maquinagem assistida por computador

CNC (Computer Numerical Control) - Controlo numérico computadorizado

EDM (Electrical Discharge Machining) - Eletroerosão

HSM (High Speed Machining) - Maquinagem de alta velocidade

NC (Numerical Control) - Controlo numérico

1. Objetivo

Este trabalho surgiu da constatação, por parte do grupo Simoldes, de uma necessidade de otimizar a programação da célula robótica de maquinagem de eletrodos, recentemente adquirida. Esta célula é capaz de uma cadência de produção bastante elevada que, por sua vez, se traduz na necessidade de criação de uma maior quantidade de programas de maquinagem. De forma a responder às exigências da nova célula robótica, foi definido como objetivo principal da presente dissertação a criação de ferramentas de trabalho, como macros, que acelerassem, uniformizassem e otimizassem o desenvolvimento de programas de maquinagem.

2. Introdução

2.1.1. Grupo Simoldes

O grupo Simoldes iniciou a sua atividade em 1959, produzindo moldes para artigos domésticos e brinquedos. Na década de 70, uma aposta na expansão de mercado possibilitou o fabrico para a indústria automóvel europeia. Este grupo é, atualmente, considerado o maior construtor de moldes a nível europeu, tendo aproximadamente 99% da sua cota de produção direcionada para a indústria automóvel europeia ^[1].

Contrariamente ao espectável, o grupo Simoldes optou ao longo dos anos por ir criando várias unidades de produção independentes, com a mesma atividade, tentando assim flexibilizar a sua ação e capacidade de adaptação às exigências de cada mercado ^[1].

Hoje em dia a Simoldes conta com um total de 20 empresas, cujo negócio é dividido em duas áreas distintas - moldes e plásticos. A divisão de moldes baseia-se na construção destes para injeção de termoplásticos, com 10 empresas produtoras, 6 das quais em Portugal. A divisão de plásticos dedica-se à injeção de termoplásticos, com 7 empresas produtoras, 3 das quais em Portugal ^[1].

Alguns dos principais clientes do grupo Simoldes, no ramo automóvel, passam pela Renault, BMW, Volvo, Mercedes, Volkswagen e Seat. Nos outros mercados, a Simoldes tem como principais clientes a Nokia, Hoover, IBM, Whirlpool e Philips ^[1].

2.2. Eletroerosão na indústria de moldes

A eletroerosão ou maquinagem de descarga elétrica (EDM) é um processo de manufatura no qual uma peça é obtida através da aplicação de descargas elétricas que erodem a mesma, recorrendo ao uso de um eléctrodo. Durante a eletroerosão não existe contacto direto entre o eléctrodo e a peça, sendo que a corrente é transmitida para a mesma através de um fluido dielétrico no qual a peça está imersa (Figura 1). Este fluido permite que a faísca apenas ocorra na zona mais próxima entre o eléctrodo e a peça, sendo que, nesta altura, o fluido torna-se condutor devido à alta voltagem aplicada ^[2-5].

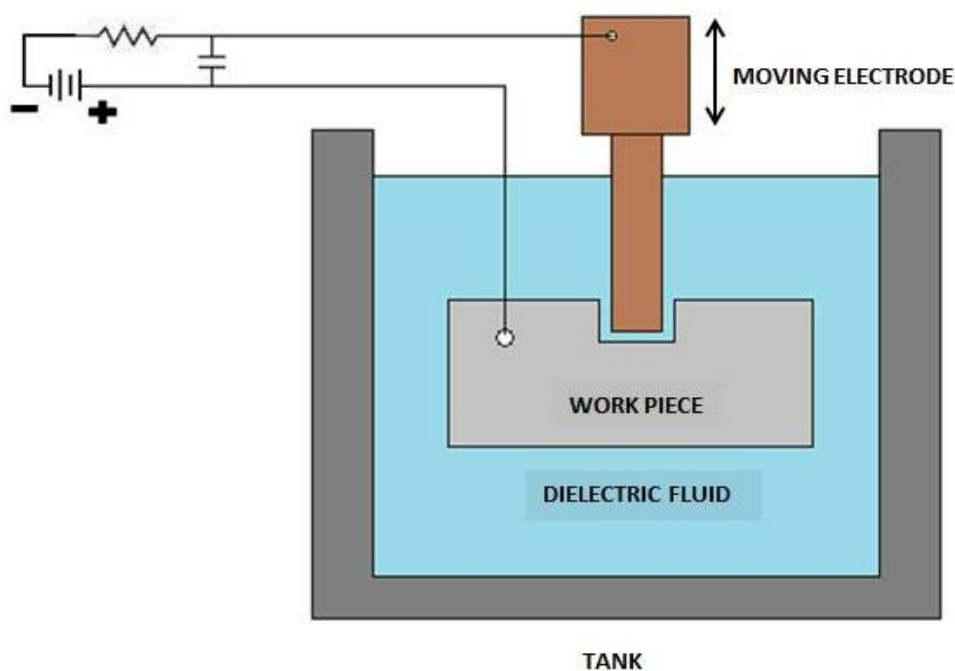


Figura 1 - Representação esquemática do processo de EDM [5].

O processo de eletroerosão é considerado um processo térmico visto que o material é removido devido ao calor produzido no momento da faísca. Visto que a faísca é um acontecimento localizado, a temperatura da peça e do eléctrodo não sofre praticamente alteração. Apenas na zona da faísca existe uma elevação da temperatura que leva à vaporização localizada do material da peça^[2].

Existem 3 principais tipos de eletroerosão: por fio, por penetração e por furação [3].

A eletroerosão por fio é utilizada apenas em cortes passantes, aplicando uma descarga elétrica a partir de um fio para a peça, tal como pode ser visualizado na Figura 2. Este tipo de eletroerosão é utilizado em indústrias como a aeronáutica, médica ou de moldes [2,6,7].

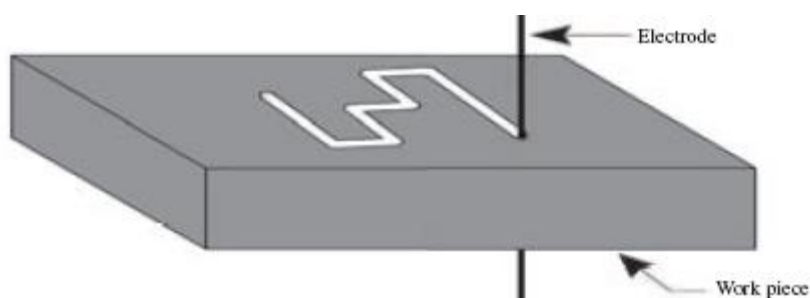


Figura 2 - Ilustração de eletroerosão por fio [7].

A eletroerosão por penetração, ou convencional, é utilizada para produzir peças cegas. Este tipo de EDM utiliza um eléctrodo com o negativo da peça final e, através de descargas eléctricas, erode a peça até se atingir a forma pretendida (Figura 3). Este tipo de EDM é normalmente utilizado para a produção de formas tridimensionais na indústria de moldes ou automóvel [2,7].



Figura 3 - Ilustração de eletroerosão por penetração ou convencional [7].

A eletroerosão de furação consiste na furação de um bloco utilizando eléctrodos ocos (Figura 4). Os diâmetros mais utilizados nesta técnica variam entre 0.08 e 0.10 mm, atingindo profundidades de 6 mm. Esta técnica é normalmente utilizada nas indústrias aeronáutica, automóvel e médica [7,8].

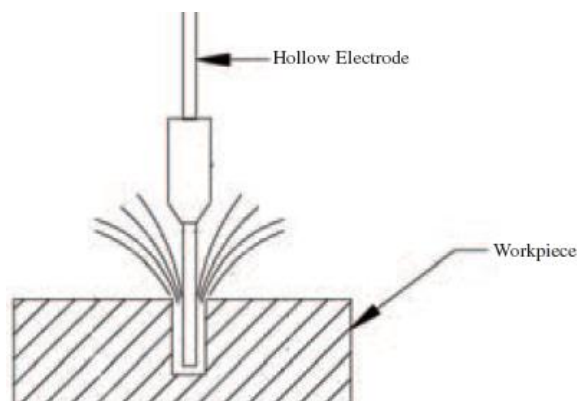


Figura 4 - Eletroerosão de furação [7].

A eletroerosão é aplicável em materiais de qualquer dureza desde que sejam condutores de electricidade. Alguns destes materiais podem ser: alumínio, aço ferramenta, latão, cobre, bronze de alumínio, titânio ou aço inoxidável [4,7,9,10].

O processo de eletroerosão possibilita a produção de peças com formas complexas já que as vibrações e forças aplicadas, inerentes ao processo de eletroerosão, podem ser consideradas insignificantes. Assim, utilizando esta técnica é possível maquinar zonas finas, flexíveis ou irregulares com ângulos internos

bastante agudos e retos. Se os parâmetros forem aplicados corretamente, a eletroerosão permite atingir tolerâncias na ordem dos 0.0025 mm e acabamentos que eliminam a necessidade de polimentos visto apresentarem rugosidades de cerca de 0.4 μm . Deve ser ainda salientado que, visto a dureza do material não ser um fator que influencie a capacidade de corte, moldes que tenham sofrido têmpera não dificultam o corte [7].

2.3. Eléctrodos

O material utilizado para a realização do eléctrodo tem um impacto muito grande na qualidade e durabilidade do mesmo e no acabamento da peça. Para além de ter que ser condutor, um eléctrodo necessita ainda de um elevado ponto de fusão, facilidade de maquinagem e custo reduzido. Os materiais vulgarmente usados para a produção de eléctrodos são o cobre e a grafite, sendo também muito utilizados o latão, o zinco e compósitos resultantes de misturas destes diferentes materiais [2,7,11].

O cobre, também conhecido como cobre eletrolítico ou cobre puro, tem como principal desvantagem a dificuldade de maquinagem visto ser um material bastante dúctil e deformar com bastante facilidade. Para melhorar a sua maquinabilidade é possível utilizar uma liga com 2% de telúrio. Por outro lado, este tem um rácio de desgaste excelente. O compósito de cobre e tungsténio (70% tungsténio e 30% cobre) apesar da dificuldade de maquinagem apresenta uma excelente resistência ao desgaste e uma ótima condutividade eléctrica. Os eléctrodos fabricados com este compósito são normalmente aplicados em peças de carboneto de tungsténio [2,11].

A grafite, apresenta como principal vantagem a sua elevada temperatura de trabalho, até 3350°C, e a facilidade de maquinagem e inexistência de rebarba. Por outro lado, a criação de pó de grafite quando o eléctrodo é maquinado é uma das principais desvantagens deste material. De forma a tornar o processo de maquinagem de eléctrodos mais limpo, os equipamentos de corte têm de ser equipados com sistemas de vácuo de forma a aspirarem todo o pó resultante da maquinagem. Devido à porosidade da grafite, é possível que exista porosidade dentro dos eléctrodos logo é aconselhável que os eléctrodos sejam colocados num forno ou secos ao ar. A utilização de um eléctrodo com humidade pode levar à sua fratura devido à

acumulação de vapores de água resultante da temperatura elevada a que o eléctrodo está submetido quando ocorre a faísca [7,11].

A escolha da grafite está directamente ligada à sua aplicação, visto que, uma grafite com uma densidade maior e um tamanho de grão mais pequeno ($1\mu\text{m}$), logo mais dispendioso, deve apenas ser usada em situações onde é necessário uma qualidade de detalhe e acabamento excelente e uma grande resistência ao desgaste. Por outro lado, para aplicações onde o acabamento e a qualidade dos detalhes não é fundamental, deve-se utilizar uma grafite mais barata que apresente um tamanho de grão maior ($200\mu\text{m}$) e uma menor densidade [7,11].

2.4. Células robóticas

As células robóticas são sistemas completos de fabrico onde são utilizados um ou mais robôs que realizam um grande número de operações que, em sistemas convencionais, seriam conduzidas por operadores humanos. Estas células oferecem vantagens comparativamente aos processos tradicionais como a redução de custos de operação e maximização dos tempos de produção. Estes tipos de robôs industriais podem ser utilizados para realizar sequências de tarefas mecânicas como o carregamento e descarregamento de máquinas, soldadura, pintura e montagem. A principal dificuldade na utilização deste tipo de células é a otimização do seu processo produtivo, nomeadamente o design da célula, a sequência de trabalho e o tempo de produção [12-15].

A configuração genérica de uma célula robótica consiste num ponto de *input*, etapas de processamento (em que cada etapa é responsável por uma determinada tarefa), um ponto de *output* e um ou mais robots que transportam as peças dentro da célula entre as etapas de processamento. Existem 3 tipos principais de células robóticas: as células de robot central (Figura 5), que apresentam uma base fixa e um braço rotativo; as células robóticas de movimento linear (Figura 6), que consistem num robot fixado a uma calha que permite um movimento linear e as células robóticas móveis (Figura 7), que consistem numa junção dos dois tipos anteriores. Este último tipo consiste num robot que pode aplicar um movimento de rotação sobre o seu próprio eixo e realizar um movimento linear ao longo de uma calha [14].

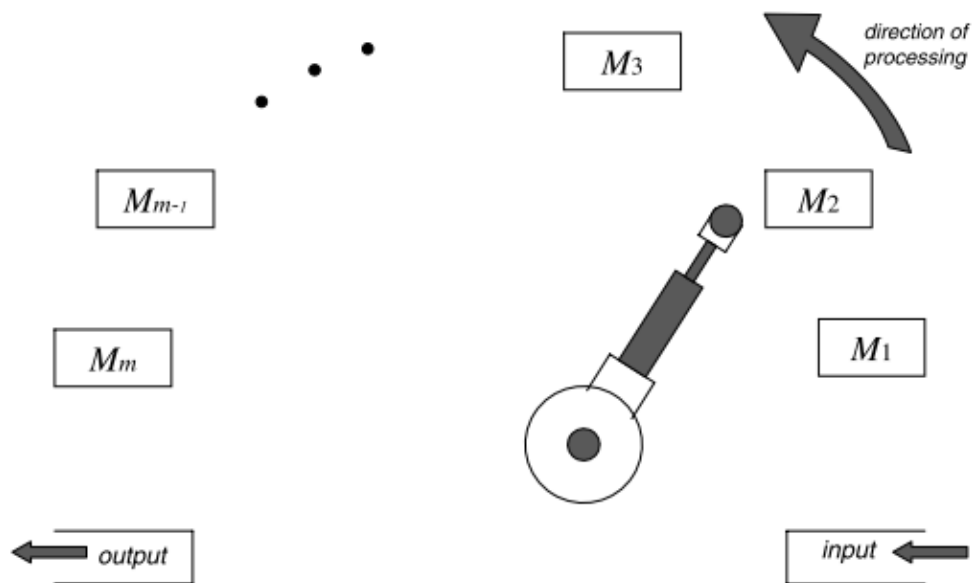


Figura 5 - Exemplo genérico de uma célula com robot central ^[14].

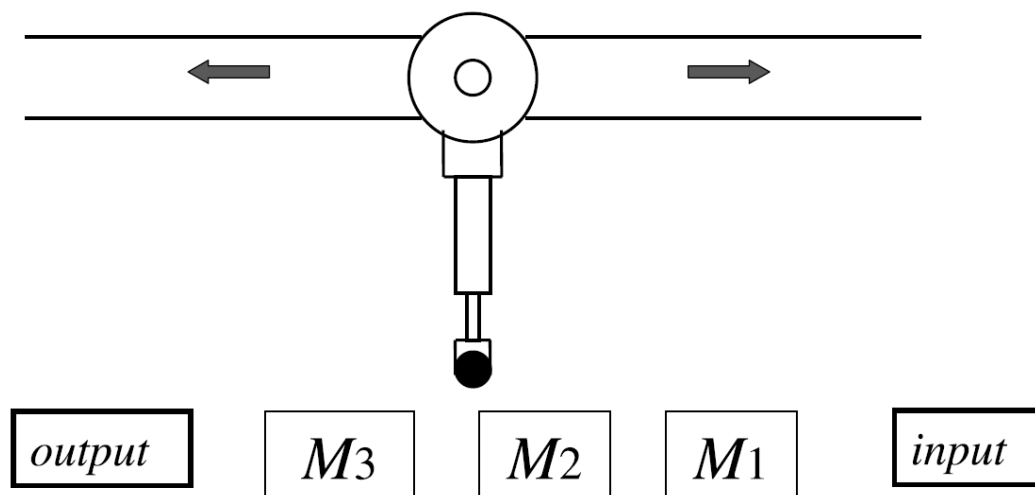


Figura 6 - Exemplo de uma célula robótica linear ^[14].

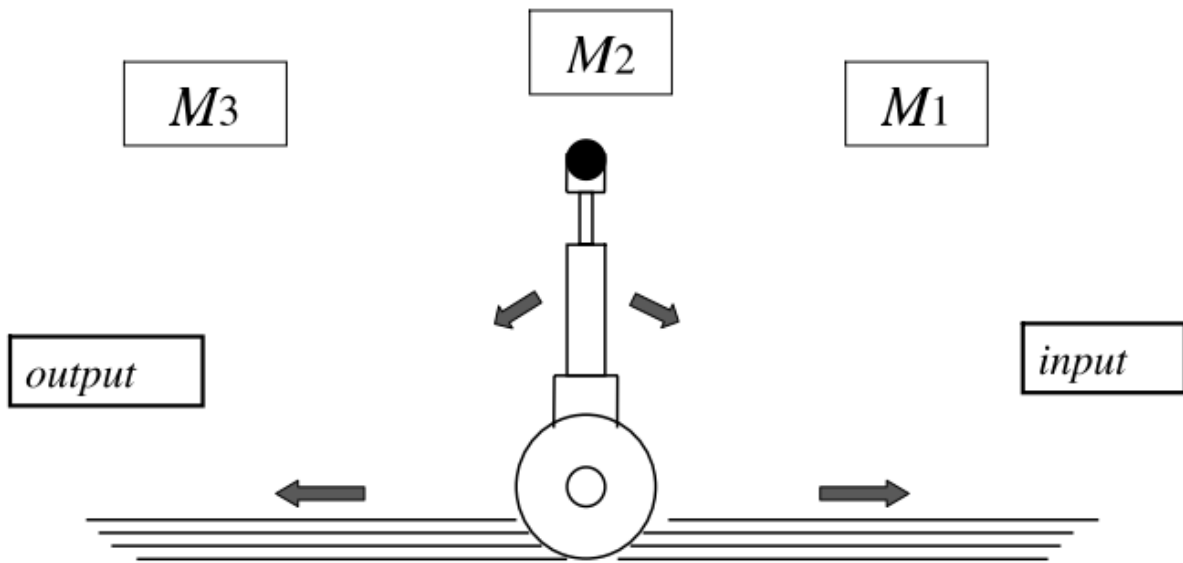


Figura 7 - Exemplo de uma célula robótica móvel [14].

2.5. Maquinagem

As máquinas CNC apresentam um principal elemento diferenciador que se baseia no número de eixos de deslocação que são capazes de aplicar. O cálculo do número de eixos existente num equipamento CNC é realizado através do somatório de todos os eixos de deslocamento da árvore e da mesa [16-18].

Outro elemento diferenciador entre os equipamentos é o tipo de relação que apresentam entre os eixos visto que as máquinas podem ser classificadas segundo a nomenclatura: Cabeça-Cabeça; Cabeça-Mesa; Mesa-Mesa. Esta nomenclatura diferencia a localização dos eixos de rotação A, B e C, no caso das máquinas Cabeça-Cabeça apenas a árvore apresenta movimento, logo os dois eixos de rotação encontram-se nesta. Por outro lado as máquinas Cabeça-Mesa apresentam uma combinação de movimentos entre a árvore e a mesa, ou seja, um dos eixos de rotação encontra-se na árvore e outro na mesa, por fim, os equipamentos Mesa-Mesa são capazes de deslocar apenas a mesa e, por conseguinte, ambos os eixos de rotação encontram-se na mesa [16,17].

2.5.1. Maquinagem 3 eixos

A maioria dos equipamentos CNC existentes no mercado apresentam 3 eixos de movimento capazes de maquinar o bloco de material. Posto isto, é possível criar um sistema de coordenadas onde é possível identificar as áreas de trabalho. Existe normalização para a criação destes eixos para que seja mais simples a permutabilidade entre vários *softwares* [18].

O eixo do X é considerado o principal eixo horizontal, visto que é normalmente o eixo capaz de executar a maior distância de translação com ferramenta. No caso de equipamentos geradores de superfícies de revolução, como tornos ou retificadoras cilíndricas, o movimento de X é radial e positivo no sentido de afastamento do eixo de revolução. Por outro lado, nos equipamentos que apresentam uma ferramenta de rotação, como fresadoras, o plano XZ é paralelo ao solo, sendo o sentido positivo de X à direita quando se observa a peça a partir da ferramenta. No entanto, se o eixo de Z for vertical, o eixo de X é horizontal e positivo quando se visualiza o plano XY a partir da ferramenta [18].

O eixo Y é o principal eixo de traslação, perpendicular ao plano XZ [18].

O eixo Z é considerado o eixo principal perpendicular a XY e por norma paralelo ao eixo da árvore principal da máquina, eixo segundo o qual se move a ferramenta do equipamento. Um movimento em Z positivo leva a um aumento de distância entre a peça e a ferramenta [18].

2.5.2. Maquinagem a 3+2 eixos

Este tipo de maquinagem consiste na utilização de um *software* convencional de maquinagem a 3 eixos, com a particularidade da ferramenta ou peça se encontrarem trancadas numa posição inclinada, através dos eixos rotacionais de um equipamento de 5 eixos. Estes dois eixos adicionais são responsáveis pela orientação estática da ferramenta ao invés de uma orientação dinâmica como acontece na maquinagem a 5 eixos dinâmicos [16,19].

Este tipo de equipamentos apresenta vantagens no que toca ao nível de vibrações existentes nas ferramentas, sendo assim possível utilizar ferramentas mais finas e rígidas e ainda a maquinagem de zonas geométricas com contra-saída. Desta

forma consegue-se um maior controlo dimensional uma vez que há uma diminuição do número de reposicionamentos da peça [16,19].

2.5.3. Maquinagem a 5 eixos

Os equipamentos de maquinagem a 5 eixos são caracterizados pela existência de 5 eixos dinâmicos, ou seja, capazes de movimento relativo em todos os eixos durante a maquinagem, algo que não acontece na maquinagem a 3+2 eixos. Esta característica permite uma maior liberdade de orientação da ferramenta de corte, criando assim trajetórias de desbaste e de acabamento mais complexas [16,17].

Os eixos adicionais consistem na rotação dos eixos principais. Estes três eixos de rotação tomam como nomenclatura A, B e C conforme ilustrado na Figura 8 [18].

O eixo de rotação A está associado ao eixo X e representa a coordenada angular em torno deste [18].

O eixo de rotação B representa a coordenada angular em torno de Y [18].

O eixo de rotação C está associado ao eixo de Z e representa a coordenada angular em torno deste [18].

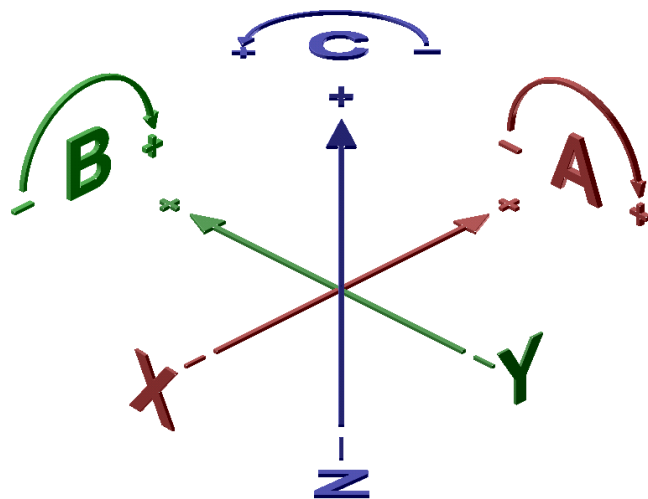


Figura 8 - Eixos de Translação principais e respetivos eixos de rotação [16].

2.5.4. Comparação entre Tipos de Maquinagem

Após a análise individual de cada tipo de maquinagem, relativamente ao número de eixos que apresentam, é relevante discutir os pontos fortes e mais limitantes de cada um.

A maquinagem a 5 eixos é a mais flexível visto apresentar uma total liberdade de movimentos em todos os momentos da maquinagem. Isto leva à minimização do tempo de maquinagem, já que não é necessário parar a maquinagem para movimentar a peça para outra posição, como acontece na maquinagem a 3 eixos.

Esta liberdade de orientação também colmata a necessidade de inclinar a ferramenta ou a peça, como na maquinagem a 3+2 eixos. Através deste tipo de maquinagem é possível realizar maquinagem de superfícies mais complexas, no entanto esta característica aumenta a possibilidade de vibrações na ferramenta devido a um maior número de eixos dinâmicos. Posto isto, os percursos de maquinagem a 5 eixos necessitam de uma atenção especial quando estão a ser calculados. Apenas pessoal especializado os pode desenvolver, aumentando assim o custo das peças. Por outro lado, a maquinagem a 3+2 eixos apresenta um valor de mercado menor e transmite uma menor vibração à ferramenta, visto ter sempre dois eixos fixos. Esta menor vibração conduz a um aumento da robustez do equipamento, que se reflete na capacidade da ferramenta conseguir maiores velocidades de movimento. Contudo, tal como referido anteriormente, é necessário parar a maquinagem para mudar a inclinação da ferramenta. Por fim, a maquinagem a 3 eixos apresenta um preço mais baixo mas é a que consegue uma menor flexibilidade pois é necessário rodar a peça para maquinar cada face, aumentando assim o tempo de maquinagem e de projeto e as incertezas na peça obtida [16,18].

Para concluir, se o objetivo passar apenas por maquinar peças de geometria simples, a maquinagem a 3 eixos poderá ser mais rentável, no entanto quando se pretende maquinar peças complexas, com grandes séries, e tolerâncias dimensionais estritas é melhor optar pela utilização de equipamentos 3+2/5 eixos [16,18].

2.5.5. Estratégias de maquinagem

As estratégias de maquinagem são um ponto fulcral na otimização da qualidade e do tempo de maquinagem de peças. Existem dois tipos de estratégias de maquinagem: de desbaste e de acabamento. O desbaste tem como objetivo retirar grandes quantidades de material, no menor espaço de tempo possível. O principal tipo de desbaste é denominado desbaste 3D, que consiste numa maquinagem por camadas, seguindo uma sequência de alturas em Z. Existem diferentes métodos para aplicar o percurso de corte, podendo este apresentar um corte que realiza um *offset* da peça, um percurso tipo *raster* ou aplicar um percurso do tipo *vortex*. Em alguns casos, é ainda necessário aplicar estratégias de redesbaste, que possibilitam a maquinagem do excesso de material de locais onde a ferramenta de desbaste não foi capaz de maquinar. As estratégias de acabamento podem ser divididas em:

estratégias de acabamento *raster*, estratégias de z constante e estratégias de acabamento de canto [18,20-25].

De forma a alcançar o menor tempo de maquinagem possível, o programador CAM deve optar pelas melhores estratégias de corte, em função da forma de cada peça, ou pela conjugação de múltiplas estratégias, minimizando assim o tempo despendido na maquinagem [20,25].

2.6. Ferramentas

As ferramentas usadas durante a maquinagem de uma peça têm um grande impacto na produtividade do processo. Existem duas classes de fresas: as fresas de pastilha recambiável e as fresas inteiriças de navalhas. As primeiras são constituídas por um corpo ou suporte, onde são montadas as pastilhas. Estas são substituídas quando apresentam um desgaste superior ao admissível. A Figura 9 (esquerda), apresenta um exemplo deste tipo de fresas. As fresas inteiriças são ferramentas que quando apresentam desgaste superior ao admissível são afiadas ou substituídas. A Figura 9 (direita) mostra um exemplo deste tipo de ferramenta. Dentro de cada uma destas classes de ferramentas existem ainda subgrupos que se distinguem pelo seu formato [18].



Figura 9 - Exemplo de fresas de corte, de pastilha recambiável [26](esquerda) e inteiriça de navalhas[27] (direita)

Relativamente às fresas de pastilhas podem ser distinguidas [18]:

- Fresas de facejar, fresas de grande diâmetro;
- Fresas de topo, fresas de diâmetros relativamente pequenos com topo plano;

- Fresas de disco, normalmente utilizadas no corte ou abertura de canais por fresamento tangencial.

No caso das ferramentas inteiriças, estas são divididas em ^[18]:

- Fresas de topo direito, fresas frontais de pequeno diâmetro;
- Fresas de topo direito de furar que permitem cortar com o topo ou com a aresta lateral;
- Fresas de ripa, fresas frontais em que a aresta é ondulada, o que aumenta a resistência ao desgaste;
- Fresas de topo esférico, destinadas ao fresamento de superfícies complexas a 3 ou mais eixos;
- Fresas de forma, grupo de fresas com diferentes geometrias (como fresas cónicas ou em T);
- Fresas cilíndricas, fresas de corte tangencial de diâmetro superior a 32 mm.

2.6.1. Parâmetros de corte

De forma a garantir a integridade da ferramenta e da peça é necessário definir parâmetros de corte otimizados. Estes são a velocidade de rotação, velocidade de avanço, profundidade de corte e largura de corte. A velocidade de rotação consiste na velocidade angular da fresa, em rotações por minuto, e está diretamente relacionada com a velocidade de corte. A velocidade de avanço define a velocidade de movimentação da ferramenta sobre a peça e apresenta-se em milímetros por minuto ou milímetros por rotação. A profundidade de corte consiste na altura de penetração da fresa na peça. Finalmente, a largura de corte remete para a largura de atuação da ferramenta durante o corte ^[18].

Os parâmetros de corte são calculados utilizando as fórmulas seguintes:

$$n = \frac{V_c * 1000}{\pi * D} \quad (1)$$
$$f = f_z * z * n \quad (2)$$
$$f_n = f_z * z \quad (3)$$

n - Velocidade de rotação (rpm)
V_c - Velocidade de corte (m/min)
D - Diâmetro da fresa (mm)
f - Velocidade de avanço (mm/min)
f_n - Velocidade de avanço por rotação (mm/rot)
f_z - Avanço por navalha (mm)
z - Número de navalhas da fresa

A equação 1 indica a velocidade de rotação, a equação 2 a velocidade de avanço e a equação 3 indica a velocidade de avanço por rotação. O valor da velocidade de corte é indicado pelo fornecedor e deve ser sempre tido em consideração pois é o parâmetro que mais influencia a vida útil da ferramenta [18].

2.7. Maquinagem de alta velocidade

A maquinagem de alta velocidade (*High Speed Machining*, HSM) é capaz de aumentar a produção e minimizar os tempos de paragem e de maquinagem, mantendo a precisão com um rácio de custo/performance favorável. A implementação da HSM foi conseguida devido a diferentes fatores [18,28-31]:

- O desenvolvimento de materiais mais resistentes ao desgaste, aplicados a ferramentas;
- A inovação das máquinas-ferramenta, melhorando a sua compensação térmica, rigidez, velocidade das árvores;
- A criação de percursos complexos recorrendo a *softwares* CAM.

A introdução destes percursos tem-se vindo a revelar um fator mais determinante para implementação de HSM. Os percursos complexos, contrariamente aos convencionais, são capazes de manter uma carga constante na ferramenta, permitindo que os parâmetros de corte sejam aumentados e diminuindo o desgaste da ferramenta [18,28-31].

2.8. Macroinstrução

Durante a realização de um projeto em ambiente informático são normalmente repetidas várias ações iguais ou semelhantes, quer seja na

programação de projetos de maquinagem de eletrodos como na escrita num processador de texto. Esta repetição de tarefas, para além de ter um impacto na produtividade, pode levar também a erros, principalmente quando a sequência de comandos é longa. Uma forma de evitar erros e aumentar a produtividade é o desenvolvimento de macroinstruções (macros) que consistem na automatização desses processos. Existem dois métodos de criação de macros: através da escrita de linhas de código numa linguagem de programação ou recorrendo à gravação das ações realizadas pelo utilizador. No primeiro caso, é necessário que o utilizador possua conhecimentos de programação, o que torna o desenvolvimento de macros mais complexo para a maioria dos utilizadores. O segundo método passa por gravar uma sequência de comandos que o utilizador realiza no programa, para que estes possam ser repetidos mais tarde. Visto que o utilizador não necessita de conhecimentos de programação para criar macros utilizando este método, a criação de macros torna-se mais simples e prática. No entanto, o utilizador tem de antecipar as ações que irá repetir no futuro sendo que, aquando da gravação das ações, estas têm de ser aplicadas de forma pensada e correta ^[32-34].

3. *Softwares* utilizados

3.1. PowerMILL 2016

O PowerMILL é uma aplicação de CAM tridimensional que permite a programação de percursos de maquinagem através do cálculo e simulação de múltiplas operações de maquinagem que poderão ser realizadas. Neste *software*, é possível definir o tipo e tamanho de ferramentas e as estratégias de maquinagem [22,30].

Através da incorporação de características como a grande customização, facilidade de otimização de trajetos, velocidade, flexibilidade e a possibilidade de ser compatível com centros de maquinagem a 5 eixos, o PowerMILL é capaz de se diferenciar da concorrência [22,30].

Devido a um constante aumento de complexidade de peças, as empresas necessitam de otimizar o seu processo de trabalho. No caso dos programadores CAM, isto significa encontrar novas formas de maximizar a produtividade. O PowerMILL permite ao utilizador definir *templates*, barras de ferramentas customizadas, criar macros e *plug-ins*. Os *templates* permitem guardar parâmetros de corte e ferramentas. As barras de ferramentas customizadas permitem ao utilizador definir as ações mais convenientes numa interface gráfica de simples acesso. As macros e *plug-ins* permitem ao utilizador automatizar funções do PowerMILL, desde as funções repetitivas mais simples até à criação de programas de maquinagem na sua totalidade [30].

É de salientar que, apesar de atualmente a Delcam pertencer à Autodesk, a versão do PowerMILL utilizada no desenvolvimento deste trabalho foi desenvolvida pela Delcam.

3.2. PowerSHAPE 2016

O PowerSHAPE é uma aplicação de modelação tridimensional, que possibilita a criação de formas complexas através da combinação de sólidos, superfícies e modelos de arames. Este *software* diferencia-se da concorrência visto que apresenta características únicas como a facilidade de modelação direta de sólidos, a utilização

do núcleo matemático Parasolids, a capacidade de importar e corrigir ficheiros de inúmeros formatos, por fim, o PowerSHAPE conta ainda com suplementos que permitem a realização de engenharia inversa, criação de eletrodos, montagem e *design* de moldações [35].

Tal como o PowerMILL, a versão do PowerSHAPE utilizada no decorrer deste trabalho foi desenvolvida pela Delcam.

3.3. PostProcessor 2015

O Post Processor 2015 é um *software* da Delcam que tem como funções o pós-processamento de programas CNC e a capacidade de realizar a edição e criação de pós-processadores. Este *software* está bastante interligado com os diferentes *softwares* da Delcam como o PowerMILL, PowerINSPECT, ArtCAM e FeatureCAM [36].

3.4. Visual Studio 2015

O Visual Studio 2015 é um *software* dedicado ao desenvolvimento de aplicações para plataformas Windows, Android, iOS e Web onde é possível utilizar Visual Basic, C, C++, C# e J# como linguagens de programação. Através deste *software* é possível desenvolver programas bastante complexos com um interface gráfico avançado devido à integração de ferramentas de criação de ambiente gráfico [37].

3.5. Access 2016

O Access é um *software* de criação e gestão de bases de dados integrante no pacote de *softwares* do Microsoft Office. Com a utilização do Access é possível criar bases de dados complexas capazes de consultar dados de várias fontes [38].

4. Processo de eletroerosão na Simoldes Aços

Ao longo deste capítulo, será descrita a totalidade do processo de eletroerosão utilizado na Simoldes Aços. Esta descrição irá abordar a extração de eletrodos, programação de percursos de maquinagem, preparação de blocos de grafite, processo de maquinagem e, por fim, a eletroerosão.

4.1. Extração da geometria dos eletrodos

A extração de eletrodos é feita utilizando o *software* PowerSHAPE. Após uma análise cuidada de todas as cavidades da peça, identificando as que necessitam de sofrer eletroerosão, os eletrodos são criados. Através da ferramenta de criação de eletrodos do PowerSHAPE é definida a folga, a base Erowa e o tipo de grafite utilizado. Por fim, é criada a folha de serviço do eletrodo (Anexo A - Figura 49) e requisitado o material necessário.

4.2. Programação de percursos de maquinagem

A programação é o passo mais crítico da criação de um eletrodo pois define em grande parte a sua qualidade final e tempo de maquinagem. Os operadores definem as estratégias e ferramentas necessárias para produzir o eletrodo, tentando reduzir ao máximo o tempo de maquinagem sem interferir com a integridade do mesmo. Quando o projeto de maquinagem está completo, este é pós-processado e o ficheiro NC enviado para o *software* de gestão de eletrodos da célula robótica, Erowa Manufacturing Control V3, que depois alimenta sequencialmente as máquinas-ferramenta com os programas NC.

4.3. Preparação

A etapa de preparação de eletrodos foca-se principalmente na montagem dos blocos de grafite em bases Erowa, definidas na etapa de extração dos eletrodos, e na identificação de cada bloco com etiquetas que contêm um código de resposta rápida (Anexo A - Figura 50). Consegue-se assim a identificação do eletrodo e facilita-se a marcação de entrada e saída dos eletrodos da célula de eletrodos.

4.4. Maquinagem

A maquinagem conta com 3 equipamentos essenciais, duas fresadoras CNC e uma célula robótica com armazém.

4.4.1. Fresadoras

Os dois centros dedicados à maquinagem de eletrodos contam com controladores Heidenhain iTNC 530 que suportam 5 eixos, maquinagem de alta velocidade, cabeça basculante e mesa rotativa. A máquina-ferramenta DMG MORI HSC105 (Figura 10), uma fresadora de alta velocidade de 3 eixos do tipo cabeça-mesa, tem um carrocel com 30 ferramentas, uma velocidade de rotação máxima de 18000 rpm e dimensões máximas de trabalho de 1050x800x560 mm [39,40].



Figura 10 - Máquina DMG MORI HSC 105 Linear [40].

4.4.1.1. DMG MORI HSC55

A fresadora de 5 eixos DMG MORI HSC55 (Figura 11) do tipo cabeça-mesa, com uma mesa tipo berço, atinge velocidades de rotação de 28000 rpm. Esta máquina está mais limitada no tamanho de eletrodos que pode maquinar por a sua área de trabalho ser de 450x580x460 mm [40].



Figura 11 - Máquina DMG MORI HSC 55 [40].

4.4.2. Célula robótica Erowa ERS

A célula robótica (Figura 12, esquerda) tem como função o carregamento automático das duas fresadoras com eletrodos que se encontram no seu armazém (Figura 12, direita) que apresenta uma capacidade máxima de 180 blocos/eletrodos.

A colocação dos eletrodos nas mesas de trabalho é conseguida com alta precisão devido às bases Erowa. Estas são bases de fixação de peças ou paletes, utilizadas por toda a indústria de produção, que garantem o posicionamento de peças, relativamente a um ponto previamente definido, nas máquinas-ferramenta. O posicionamento das peças é feito através de pinos na base da mesa da máquina-ferramenta que alinham com cavidades que se encontram na base de fixação das peças (Figura 13) [41,42].

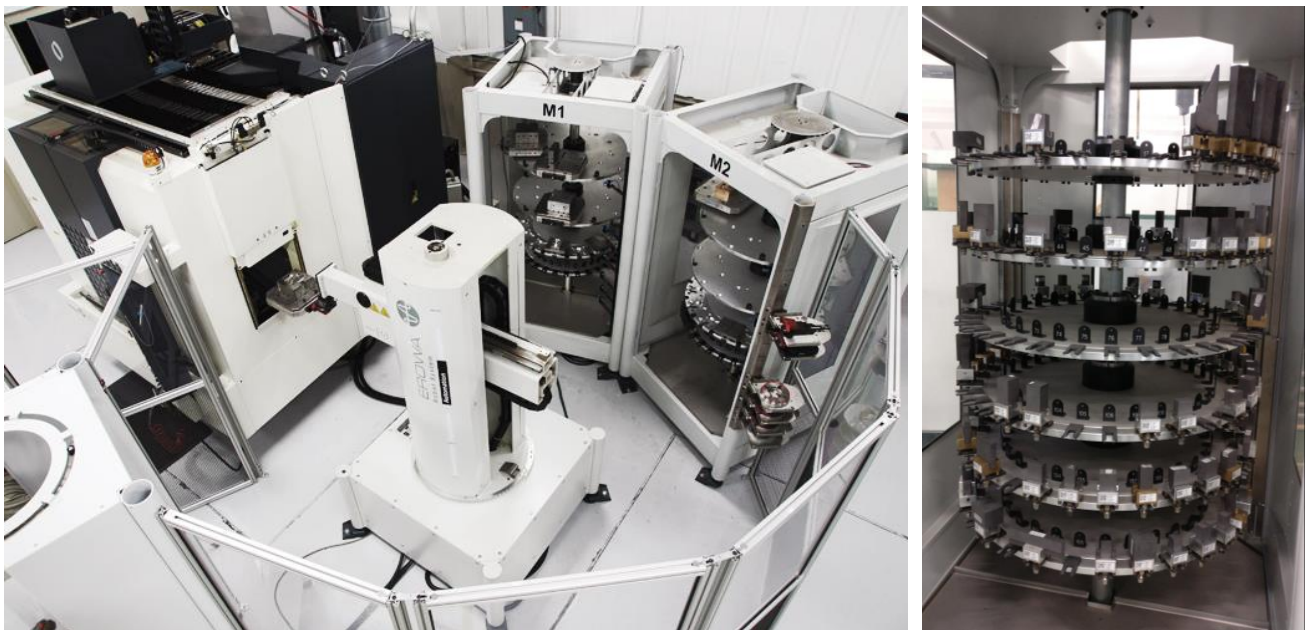


Figura 12 - Exemplo de uma célula robótica de eléctrodos (esquerda) ^[41]. Armazém de eléctrodos da célula robótica da Simoldes Aços.

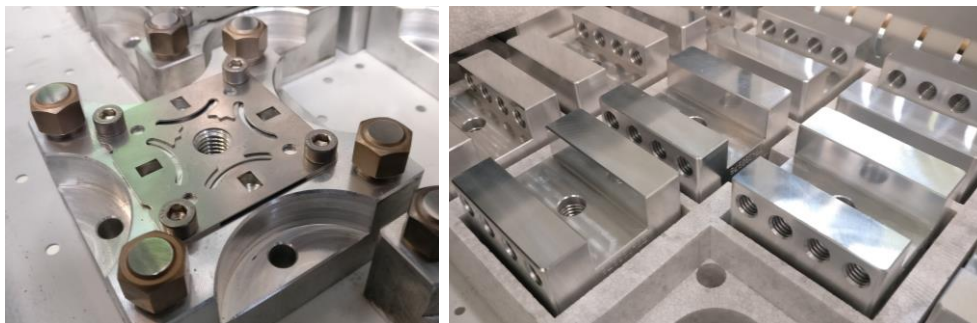


Figura 13 - Exemplos de bases de fixação de peças desenvolvidas pela Erowa. Esquerda - Zona inferior da base de fixação; Direita - Zona superior da base de fixação.

4.5. Controlo de qualidade

Durante a produção de um molde, apenas os eléctrodos que definem zonas críticas sofrem um controlo dimensional. Todos os outros são apenas sujeitos a uma avaliação visual pelo operador para verificar a sua qualidade estrutural e superficial.

4.6. Erosão

Por fim, procede-se à erosão das peças onde se utiliza uma das 3 máquinas de eletroerosão. Existem duas máquinas ONA NX8 (Figura 14) que contam com uma capacidade máxima de 34 eléctrodos cada e uma máquina ONA NX7 (Figura 15) que conta com a capacidade para 26 eléctrodos nos garfos.



Figura 14 - Máquina de erosão Ona NX8 [43].



Figura 15 - Máquina de erosão Ona NX7 [43].

De forma a evitar erros de orientação e facilitar a gestão de eletrodos, foi desenvolvido, internamente, um programa onde é definida a posição dos eletrodos na máquina bem como a sua orientação no garfo. Com este programa, é possível imprimir um documento semelhante ao apresentado no Anexo A, Figura 51. Após introduzir todos os eletrodos nos garfos e realizar o alinhamento da peça procede-se à erosão.

5. Trabalho realizado

O desenvolvimento do presente trabalho passou por 3 etapas fulcrais: análise dos processos de produção, desenvolvimento e aplicação de melhorias e análise quantitativa das melhorias implementadas. No decorrer do trabalho, foram analisados programas de maquinagem, modelos CAD, programas NC, simuladores, pós-processadores e utilizados vários *softwares* como PowerMILL 2016, PowerSHAPE 2016, PostProcessor 2015, Visual Studio 2015 e Access 2016.

5.1. Análise dos processos de produção

A primeira etapa deste trabalho consistiu na observação dos métodos de trabalho (de programação e de maquinagem) do setor de erosão. Foram ainda analisados os eléctrodos produzidos com o intuito de os separar com base no método de programação usado para a produção dos mesmos.

5.1.1. Programas de maquinagem

Foram analisados os métodos e hábitos dos programadores na realização dos programas NC, para uma vasta gama de eléctrodos. Desta análise foram identificadas ações repetidas em praticamente todos os programas, como a aplicação de um bloco, criação de um programa NC, rotação dos eléctrodos, entre outros, que serão posteriormente explorados.

Através desta análise foi ainda possível concluir que não existe um standard para a programação, o que se traduz numa diferença na organização de percursos e nas ferramentas utilizadas, assim como as respetivas velocidades de corte, entre programadores. Este facto poderá levar a um aumento do tempo de maquinagem, a uma maior probabilidade de quebra do eléctrodo e a um desgaste prematuro das ferramentas.

Por fim, foi ainda constatado o desconhecimento de algumas funções do PowerMILL que simplificariam e facilitariam o trabalho realizado como é o caso do acabamento de canto ou do corte escalonado.

5.1.2. Tipos de eléctrodos

De forma a ser possível desenvolver macros com o objetivo de criar programas de maquinagem de forma otimizada, foi necessário analisar e agrupar os eléctrodos maquinados existentes em armazém, consoante a sequência de estratégias de maquinagem aplicadas. Na Figura 16, é possível ver dois eléctrodos agrupados no mesmo tipo, eléctrodos do tipo parede.



Figura 16 - Exemplos de eléctrodos do tipo parede.

5.1.3. Preparação e maquinagem de eléctrodos

Os processos de preparação e maquinagem também foram analisados com o intuito de identificar possíveis melhorias no processo. Esta análise passou principalmente por identificar fontes de possíveis erros causados por falha humana, não descurando melhorias da célula robótica. Foi identificada uma falha no simulador da máquina HSC55, pois não se encontrava limitado no eixo dos z. Esta falha por vezes levava à paragem da máquina visto ter atingido o fim de curso. Foram ainda detetados erros esporádicos nas velocidades de corte devido a enganos na introdução de valores de corte por parte dos programadores, por exemplo, o avanço de mergulho apresentar um valor de 200mm/min quando era pretendido um valor de 2000mm/min. Por fim, foi detetado que a maioria dos eléctrodos produzidos não sofria qualquer tipo de controlo dimensional, o que poderia levar a erros dimensionais na peça final, após sofrer eletroerosão.

5.2. Desenvolvimento/aplicação de melhorias

A segunda etapa deste trabalho teve como objetivo desenvolver e implementar melhorias para os pontos abordados anteriormente.

5.2.1. Macros simples

No seguimento da análise realizada foram identificadas ações recorrentes em praticamente todos os eletrodos, como: criação de bloco; rotação do eletrodo em torno de Z; criação do programa NC; simulação de todos os percursos; alteração do “Gap” de erosão; importação de modelos ou projetos; espelhamento de projetos e gravação dos mesmos. Para minimizar erros e o tempo despendido em cada uma destas ações foram desenvolvidas macros que, de forma automática ou semiautomática, realizam essas funções. Todas as macros foram desenvolvidas utilizando a linguagem de programação do PowerMILL.

O grupo de macros desenvolvidas com o intuito de realizar tarefas recorrentes foi nomeado de macros simples.

A Figura 17 mostra um fluxograma do processo de criação deste tipo de macros. Inicialmente é necessário analisar quais as tarefas recorrentes existentes. Em seguida, realiza-se a gravação de todos os cliques necessários para realizar a tarefa pretendida. Posto isto, passa-se então à edição manual da macro, utilizando ficheiro criado pelo PowerMILL em formato “.mac”. Através de linguagem de programação criam-se variáveis e janelas de *input* que, em conjunto com os ciclos possíveis na linguagem, criam uma macro otimizada. Após a verificação do correto funcionamento da macro, esta é introduzida aos programadores CAM. Por fim, sempre que foi detetada uma possível melhoria, a macro foi editada e melhorada.

No Anexo B, podem ser encontrados excertos de código de algumas macros desenvolvidas. No Anexo E, pode ser consultado o manual de macros que mostra detalhadamente todos os passos que o utilizador necessita de realizar de forma a aplicar corretamente as macros simples.

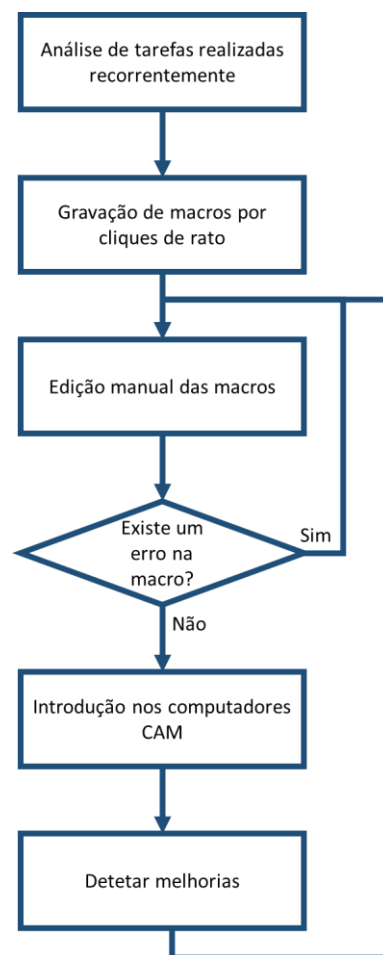


Figura 17 - Fluxograma explicativo do processo de desenvolvimento de uma macro simples.

5.2.1.1. Macro de importar modelos/projetos

A macro de importação de modelos/projetos facilita o processo de importação ao utilizador visto que, apenas com a introdução da sigla da empresa e número de molde, é apresentado ao programador uma janela, semelhante à da Figura 18, que apresenta os modelos ou projetos que o programador pode importar. Assim, o processo de procura nos diretórios do computador pelo ficheiro correto é eliminado. Esta macro tem a particularidade de correr automaticamente ao iniciar cada sessão do PowerMILL.

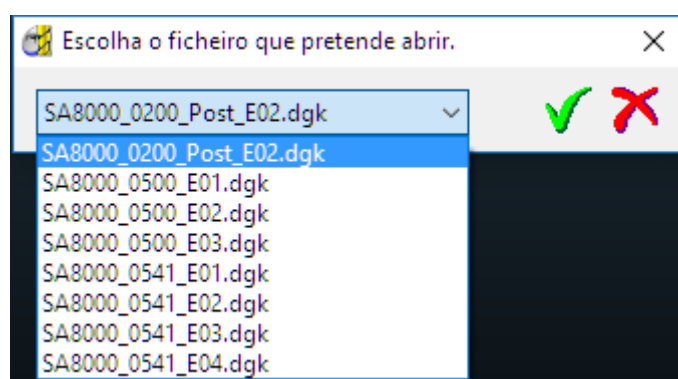


Figura 18 - Exemplo da janela de escolha de modelo/projeto a importar apresentada com a utilização da macro de importar.

5.2.1.2. Macro de início

A macro de início permite ao utilizador criar o bloco de maquinagem, com valores de expansão e altura de acordo com o bloco de grafite existente. Esta macro elimina os processos de cálculo que os programadores necessitam de fazer de forma a determinar a altura correta do bloco, visto apenas terem a informação da altura total do conjunto bloco e base Erowa.

5.2.1.3. Macro de rodar a peça

A macro de rotação da peça permite ao utilizador rodar 90 graus todo o modelo, clicando apenas num ícone, eliminando as etapas de rotação do modelo manualmente.

5.2.1.4. Macro de criação do programa NC

A macro de criação do programa NC tem como objetivo criar automaticamente um programa NC, com todas as especificações necessárias, tendo em conta a máquina-ferramenta que se pretende utilizar. Assim, é possível eliminar os tempos de configuração dos programas NC para cada eletrodo produzido.

5.2.1.5. Macro de mudança de gap de erosão

A macro de mudança de gap de erosão foi desenvolvida para alterar a sobreespessura dos percursos de forma a simplificar a produção de eletrodos destinados a etapas de desbaste e acabamento, que requerem sobreespessuras diferentes. Assim, o programador, após criar um programa de maquinagem para um eletrodo que se destina a uma etapa de desbaste, não necessita de alterar os percursos de maquinagem individualmente de forma a criar um novo projeto de maquinagem para um eletrodo que se destina a uma etapa de acabamento.

5.2.1.6. Macro de espelhar projeto

A macro de espelhar percursos tem como objetivo simplificar os procedimentos necessários para criar um espelho de um projeto de maquinagem. Para tal, a macro grava o projeto original, espelha-o, grava o projeto espelhado e cria o programa NC. Todo este processo é semiautomático, tendo o utilizador que introduzir o nome da empresa e o número de molde do eletrodo em que está a trabalhar.

5.2.1.7. Macro de simulação

A macro de simulação tem como função importar o simulador da máquina-ferramenta necessária e iniciar uma simulação completa de todos os percursos criados, minimizando o tempo despendido pelo utilizador para realizar esta tarefa.

5.2.2. Macros de estratégia

De forma a diminuir de uma maneira mais significativa o tempo de programação e criar um standard de maquinagem, foram desenvolvidas várias macros que têm como objetivo aplicar um conjunto de estratégias pré-definidas para cada tipo de eletrodo. Na Figura 19, é possível consultar um fluxograma explicativo do processo de desenvolvimento de uma macro de estratégia. No seguimento da análise

apresentada no ponto 5.1.2, foram definidos 6 tipos de eléctrodos, com as seguintes denominações: parede; frisos; caixa; ponta inclinada; pino; grelha. Em seguida foram criadas macros para cada tipo de percurso ou função do PowerMILL, como estratégias de desbaste ou criação de uma fronteira. Estas foram conjugadas de forma a criar macros específicas para cada tipo de eléctrodo. Tal como no desenvolvimento de macros simples, após a confirmação do correto funcionamento das macros, estas eram introduzidas nos computadores dos programadores CAM. Por fim, quando eram detetadas possíveis melhorias, as macros eram editadas de forma a otimizar o seu funcionamento.

De forma a simplificar a explicação das macros de estratégia, foram criados fluxogramas que mostram as ações que esta aplica. Todas as bifurcações correspondem a opções que devem ser tomadas pelo utilizador. As diferenças entre macros serão exploradas posteriormente.

No Anexo C, é possível consultar excertos do código das macros de estratégia.

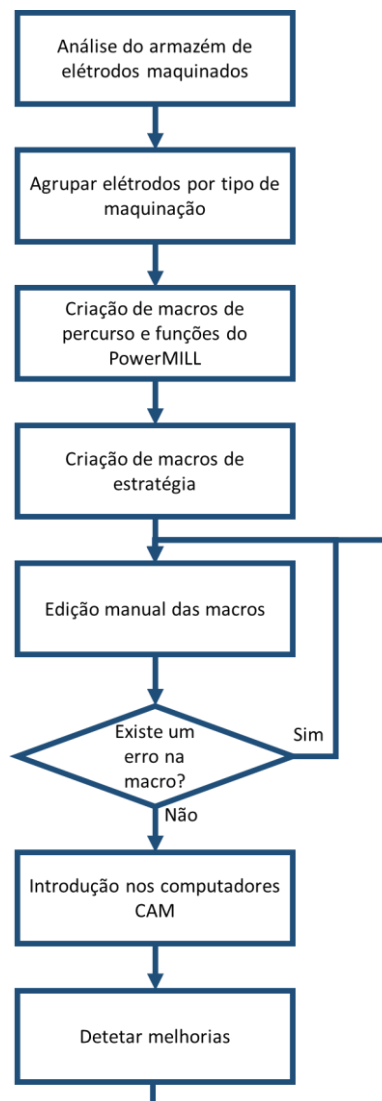


Figura 19 - Fluxograma explicativo do processo de desenvolvimento de uma macro de estratégia.

5.2.2.1. Parede

A macro para eléctrodos do tipo parede conta com a aplicação de 3 estratégias de maquinação, desbaste, *raster* e z constante, e foi desenvolvida para ser aplicada em eléctrodos semelhantes aos apresentados na Figura 16. Na Figura 20, é possível analisar um fluxograma que demonstra a sequência que a macro utiliza.



Figura 20 - Fluxograma explicativo da sequência de estratégias aplicadas na macro para eléctrodos do tipo parede.

A macro começa por, com a ajuda do utilizador, criar um bloco, passando depois a aplicar uma estratégia de desbaste onde o utilizador define a ferramenta e o passo vertical. Passando para a estratégia de *raster*, é pedido ao utilizador que defina a ferramenta, o passo lateral e uma fronteira na zona onde será aplicada a estratégia. Por fim, o utilizador define a ferramenta e o passo vertical para a estratégia de Z constante. A última parte da macro é totalmente autónoma onde a macro guarda o projeto de maquinagem e cria o programa NC.

5.2.2.2. Frisos

A macro para eletrodos do tipo frisos baseia-se na macro de parede, acrescentado algumas estratégias. Na Figura 21, estão apresentados dois eletrodos que se englobam neste tipo.

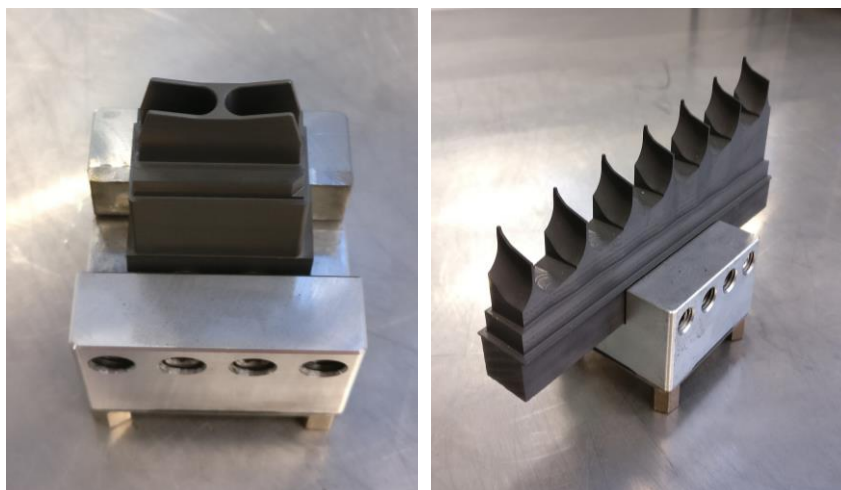


Figura 21 - Exemplos de eletrodos do tipo frisos.

Na Figura 22, é possível observar um fluxograma onde está apresentada a sequência de aplicação de estratégias.

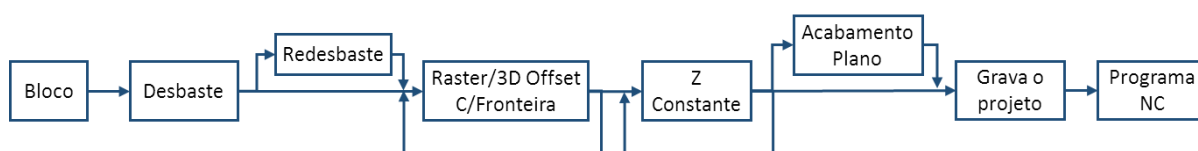


Figura 22 - Fluxograma explicativo da sequência de estratégias aplicadas na macro para eletrodos do tipo frisos.

A macro apresenta as estratégias “obrigatórias”, desbaste, *raster* ou 3D *offset* e Z contante, sendo que é possível aplicar múltiplas vezes as duas últimas. É relevante notar que a estratégia z constante permite a utilização de uma fronteira.

Existem ainda as estratégias opcionais, redesbaste e acabamento plano visto que, caso seja necessário, o utilizador pode aplicá-las.

5.2.2.3. Caixa

A macro desenvolvida para aplicar a eléctrodos do tipo caixa, semelhantes aos apresentados na Figura 23, apresenta uma sequência de aplicação de estratégias como apresentadas na Figura 24.

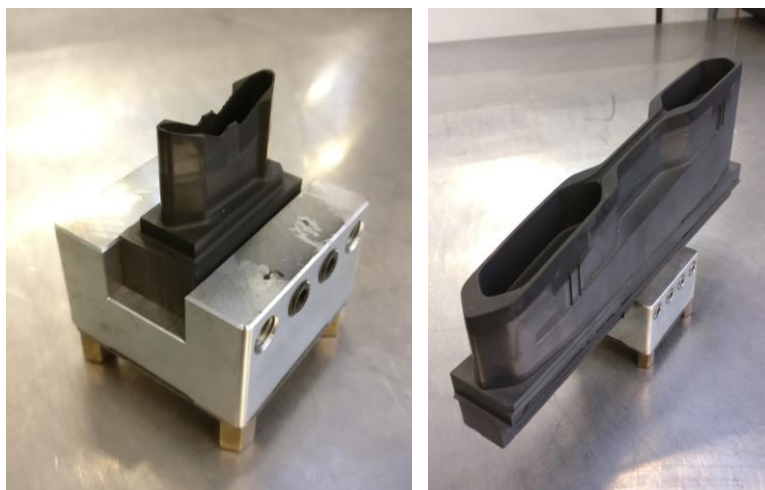


Figura 23 - Exemplos de eléctrodos do tipo caixa.

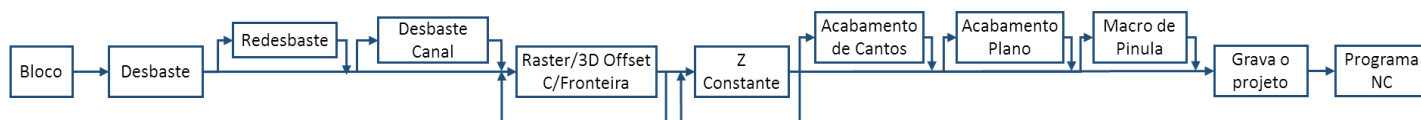


Figura 24 - Fluxograma explicativo da sequência de aplicação de estratégias na macro para eléctrodos do tipo caixa.

À semelhança das macros anteriores, a macro caixa apresenta as mesmas estratégias “obrigatórias”, desbaste, *raster/3D offset* e Z constante, mantendo a capacidade de nas duas últimas ser aplicado um número indeterminado de percursos. É de salientar que a estratégia de Z constante permite a utilização de fronteira. As principais diferenças desta macro estão associadas às estratégias facultativas: redesbaste; desbaste de canal, para casos onde o eléctrodo apresente um canal como na Figura 23, direita; acabamento de cantos; acabamento plano; macro de pínula. A macro de pínula consiste numa macro que aplica 2 estratégias z constante e uma estratégia de *offset* plano de forma a garantir um acabamento correto da pínula do eléctrodo.

5.2.2.4. Ponta Inclinada

A macro desenvolvida para eletrodos do tipo ponta inclinada, Figura 25, teve a necessidade de incluir a função de criação de um novo plano de trabalho visto que este tipo de eletrodos necessita de ser maquinado a 3+2 eixos. Na Figura 26, é possível analisar o fluxograma que mostra a sequência de aplicação de cada estratégia.



Figura 25 - Exemplo de eletrodos do tipo ponta inclinada.

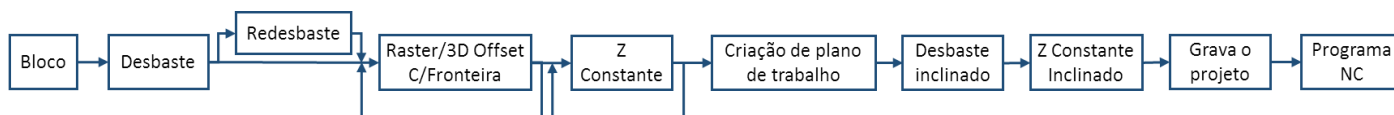


Figura 26 - Fluxograma explicativo da sequência de aplicação de estratégias na macro para eletrodos do tipo ponta inclinada.

Os passos obrigatórios desta macro são: desbaste; *raster/3D offset*; z constante, criação de plano de trabalho; desbaste inclinado; Z constante inclinada. Nesta macro, o utilizador é apenas capaz de repetir duas estratégias, *raster/3D offset* e Z constante, sendo que na estratégia de Z constante existe a opção de aplicar uma fronteira. Existe ainda uma estratégia facultativa, o redesbaste.

5.2.2.5. Pino

A macro utilizada para os eletrodos do tipo pino, Figura 27, é bastante semelhante à macro de parede, substituindo apenas a estratégia de *raster* por um acabamento radial.

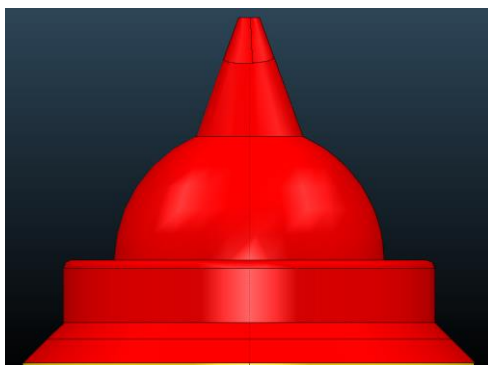


Figura 27 - Exemplo de um eléctrodo do tipo pino.

A Figura 28 mostra um fluxograma explicativo da sequência de aplicação de estratégias na macro de eléctrodos tipo pino.



Figura 28 - Fluxograma explicativo da sequência de estratégias aplicadas na macro para eléctrodos do tipo pino.

Esta macro, à semelhança da macro de eléctrodos do tipo parede, apresenta apenas 3 estratégias, sendo todas “obrigatórias”. As estratégias são: desbaste; acabamento radial; acabamento Z constante.

5.2.2.6. Grelhas

Os eléctrodos do tipo grelha (Figura 29) são, normalmente, os mais complexos e demorados de programar devido à necessidade de aplicar múltiplas estratégias de redução de espessura e de raio. Tendo isto em consideração, a macro desenvolvida teve como objetivo simplificar o processo de criação de um programa para este tipo de eléctrodos.



Figura 29 - Exemplos de eletrodos do tipo grelha.

Na Figura 30, é possível analisar um fluxograma explicativo da sequência de aplicação das estratégias de maquinagem.

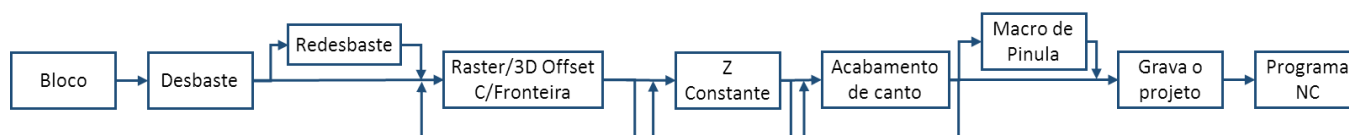


Figura 30 - Fluxograma explicativo da sequência de estratégias aplicadas na macro para eletrodos do tipo grelha

Esta macro apresenta 4 estratégias obrigatórias: desbaste; *raster/3D offset*; Z Constante; acabamento de canto, onde nas 3 últimas é possível aplicar múltiplas estratégias. É de salientar que a estratégia de Z constante permite a utilização de uma fronteira. Em relação às estratégias opcionais, o utilizador pode escolher se aplica um redesbaste e a macro de pínula.

5.2.3. Métodos de utilização

De forma a facilitar a utilização das macros, foram criadas 3 formas alternativas de iniciar uma macro: através de uma barra de ferramentas que mostra ícones ilustrativos da ação da macro, ou do tipo de eletrodo (Figura 31) com a

Otimização da programação da célula de eletrodos no grupo Simoldes

utilização de um menu de usuário que mostra todas as macros sob a forma de texto e no caso dos eletrodos, as estratégias aplicadas pela macro (Figura 32, esquerda), ou, através de atalhos de teclados, atualmente definidos para as teclas “F” do teclado (Figura 32, direita).

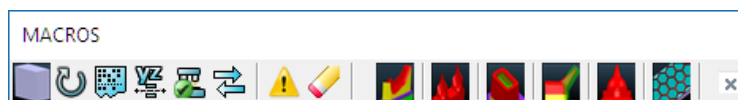


Figura 31 - Barra de ferramentas criada para facilitar a utilização das macros desenvolvidas.

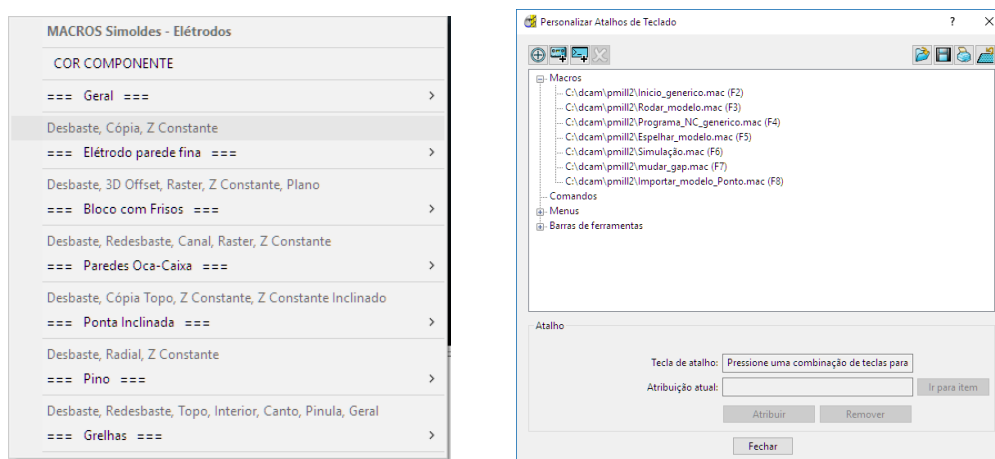


Figura 32 - Menu de usuário com todas as macros realizadas, acessível através de um clique no botão direito do rato (Esquerda). Atalhos de teclado correspondentes a cada uma das macros (Direita).

5.2.4. Manual de utilização de macros

Com o intuito de tornar a aprendizagem da utilização das macros mais simples, foi desenvolvido um manual de funcionamento das mesmas. Ao longo deste manual são explicados detalhadamente todos os passos das macros simples e os passos gerais das macros de estratégia. Este manual pode ajudar futuros programadores a se inteirarem do funcionamento das macros e a compreenderem melhor os métodos de trabalho para a maquinagem de grafite. No Anexo E, é possível consultar a totalidade do manual de funcionamento de macros.

5.2.5. Simuladores das máquinas

De forma a colmatar um dos problemas descritos em 5.1.3, foi realizada uma edição do ficheiro “.mtd” da máquina HSC55 de forma a criar um limite de movimentação em Z, eliminando assim a possibilidade da máquina parar devido a fim de curso.

5.2.6. Ferramentas

5.2.6.1. Inventário de Ferramentas

De modo a perceber com rigor quais as ferramentas existentes em carrocel e em stock foi necessário realizar um inventário. A realização deste tinha duas funções principais: perceber quais seriam as melhores ferramentas para encomendas futuras, e a otimização das velocidades de corte utilizadas. Este procedimento deu também origem a um controlo mais rigoroso do desgaste das ferramentas. Isto foi conseguido visto que os operadores passaram a marcar o tempo de corte da ferramenta por modelo (nome de código do fabricante) e não por posição no carrocel.

5.2.6.2. Otimização de velocidades de corte

De forma a tentar solucionar os problemas apresentados nos pontos 5.1.1, incoerência de utilização de velocidades de corte, e 5.1.3, erros na introdução de velocidades de corte, foram desenvolvidas 3 bases de dados de velocidades de corte: base real, base do fabricante e base otimizada.

Inicialmente, foi feita uma análise a mais de 500 percursos de corte criados pelos programadores, dos quais foram recolhidos os parâmetros de corte gerando-se, assim, uma base de dados de parâmetros de corte reais. Os dados foram organizados por ferramentas e, recorrendo às velocidades mais usadas por tipo de corte, foi criada a base real.

De forma a ter uma base de comparação, foram consultados os catálogos dos fabricantes (Seco ^[44,45], Hitachi ^[46], Van Hoorn ^[27] e Widia ^[47]), onde estão indicados parâmetros como: velocidade de corte (v_c , m/min), avanço por navalha (f_z , mm), profundidade de corte axial (a_p , mm), profundidade de corte radial (a_e , mm) e número de dentes (z). De forma a obter os valores de velocidade de rotação (n , rpm) e de velocidade de avanço (f , mm/min), foram utilizadas as seguintes fórmulas ^[18]:

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

$$f = f_z * z * n \quad (2)$$

Em alguns casos, a velocidade de rotação era superior ao suportado pelas máquinas, sendo assim necessário ajustar a velocidade de avanço para se adequar à

velocidade máxima de rotação da máquina. Estes valores de velocidade foram usados para constituir a base do fabricante.

Por fim, foi criada a base otimizada, com os valores de parâmetros de corte reais mais elevados obtidos na análise dos valores reais. A criação desta teve como objetivo obter uma base de dados de valores reais, mas mais próximos dos indicados pelos fabricantes, que são na grande maioria dos casos superiores ao que se verificou numa situação real. Visto existirem ferramentas em que a informação existente relativamente aos parâmetros de corte usados era ainda reduzida, os valores inseridos para estes foram os recomendados pelos fornecedores.

Partindo destes valores, os utilizadores poderão aumentar a rentabilidade do processo de produção e ir reiterando as velocidades usadas até chegar a uma situação ótima.

5.2.6.3. Ferramenta de ripa

Após a realização do inventário de ferramentas e o levantamento das velocidades de corte do fabricante, houve um tipo de ferramenta que se destacou devido à sua grande capacidade de corte e baixa taxa de utilização por parte dos programadores. O tipo de ferramenta em questão é denominado no grupo Simoldes como ferramenta de ripa (Figura 33). Esta ferramenta é normalmente utilizada em estratégias de desbaste devido à sua elevada capacidade de corte, visto ser capaz de cortar com todo o corpo da ferramenta. Devido a esta característica, as estratégias comuns de desbaste não são as mais indicadas já que não foram otimizadas para grandes incrementos verticais. Posto isto, é necessário utilizar uma estratégia de desbaste do tipo *vortex*, que aplica movimentos trocoidais complexos de forma a alcançar o máximo controlo de carga da ferramenta, possibilitando a aplicação de incrementos verticais elevados [22]. De forma a usufruir do potencial máximo destas estratégias, foi introduzida aos programadores a função de corte escalonado, utilizada após a aplicação de um grande incremento vertical. Esta função faz incrementos verticais positivos de menor extensão no eixo do z, possibilitando uma maior aproximação à forma do eletrodo, minimizando o efeito de patamar.



Figura 33 - Exemplo de uma ferramenta de ripa [27].

5.2.7. Pós-processador com compensação de raio

De forma a corrigir a falta de controlo dimensional dos eléctrodos mencionada no ponto 5.1.3, foi testada a maquinagem com compensação de raio de ferramenta. Esta função foi testada para colmatar a interferência do desgaste das ferramentas na maquinagem, mantendo assim os eléctrodos dentro de cota. Para testar a capacidade desta função foi criado no PowerSHAPE um eléctrodo de teste com uma geometria simples, como é possível observar na Figura 34. Os parâmetros de corte aplicados neste eléctrodo estão apresentados na Tabela 1.

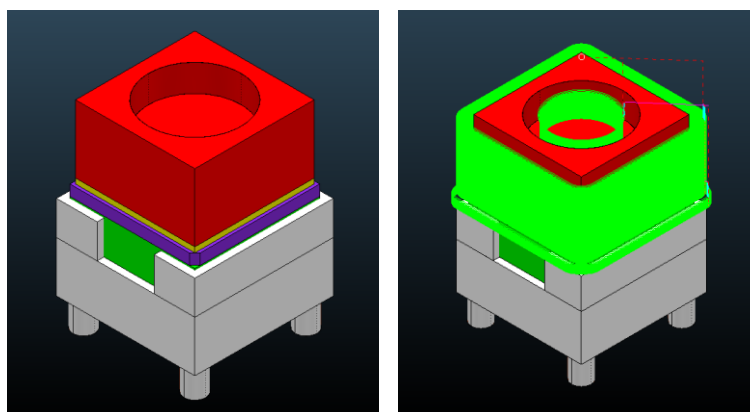


Figura 34 - Modelo CAD do eléctrodo teste da função de compensação de raio (Esquerda). Estratégia de acabamento Z constante (Direito).

Tabela 1 - Parâmetros de corte do eléctrodo utilizado no teste de compensação de raio.

Ferramenta	Diâmetro	Raio de ponta	Velocidade de rotação	10000 RPM
	10 mm	1 mm		
Sobremetal	0 mm		Avanço de corte	6000 mm/min
Passo vertical	0.2 mm		Avanço de mergulho	5700 mm/min

Antes de iniciar a maquinagem do eléctrodo teste, foi realizada uma medição do raio da ferramenta através do módulo de medição por laser, Renishaw NC4tx, incorporado na máquina (Figura 35). De forma a acentuar o impacto da compensação

de raio de ferramenta, foi utilizada uma ferramenta normalmente usada para desbaste que, após a medição, apresentou uma variação de 0.03 mm do valor teórico de diâmetro. O resultado da maquinagem pode ser consultado na Figura 36. De forma a verificar as cotas do eléctrodo maquinado foi medido, utilizando um paquímetro digital com um erro de 0.01 mm, a largura do eléctrodo e o diâmetro da caixa. Os valores obtidos foram sempre iguais aos valores definidos no modelo CAD, validando assim a capacidade da compensação automática de raio de ferramenta como forma de maquinar os eléctrodos, garantindo que as cotas estabelecidas são cumpridas.



Figura 35 - Módulo de medição por laser de ferramentas, Renishaw NC4tx.



Figura 36 - Eléctrodo maquinado utilizando a função de compensação de raio de ferramenta.

5.3. Programa de controlo de tempo

Após a introdução das macros, foi necessário quantificar os ganhos obtidos. Para tal foi desenvolvido um programa em Visual Basic capaz de gravar automaticamente numa base de dados, criada no Access, os tempos de programação, com e sem macro, de cada eléctrodo. Este programa funciona lendo ficheiros

temporários criados pelas macros ou na importação de modelos e através da deteção de novos programas NC. Utilizando as informações contidas nos ficheiros temporários, nome do eléctrodo e tipo de macro utilizada, o programa é capaz de determinar a hora de início de programação, parando depois a contagem de tempo quando é criado um programa NC referente àquele eléctrodo. No Anexo D, podem ser encontrados excertos do código utilizado neste programa.

6. Resultados e discussão

6.1. Macro Simples

Ao longo desta secção serão apresentados os resultados da aplicação das macros simples. Na Figura 37, é possível consultar os tempos médios da realização de certas funções, com e sem a utilização de macros. Os diferentes resultados obtidos serão discutidos nas secções seguintes.

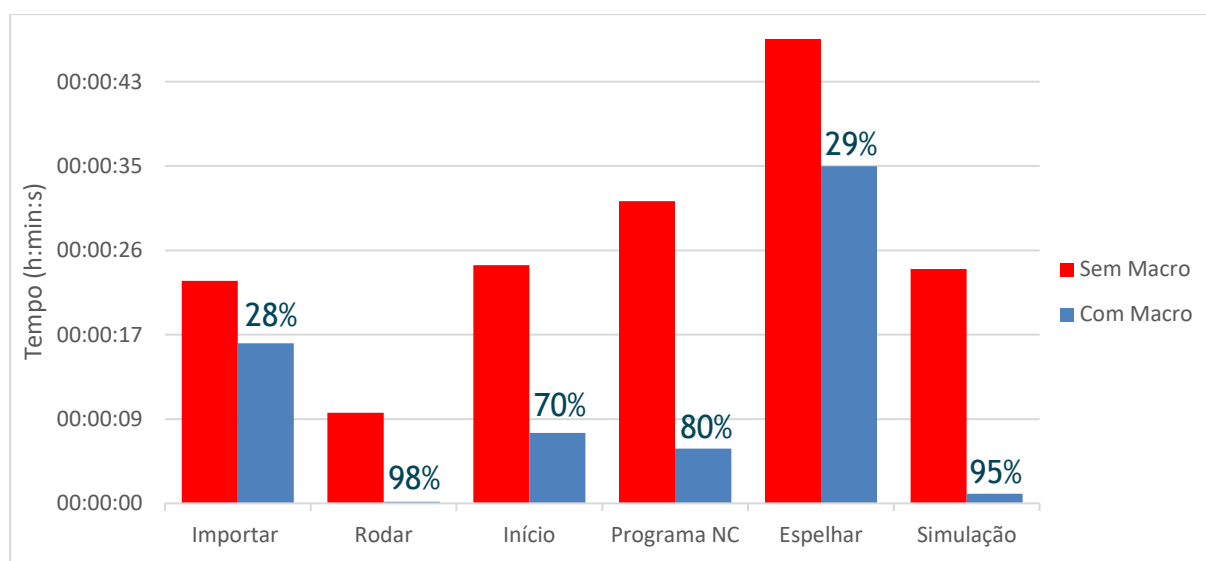


Figura 37 - Tempos de aplicação de macros e das ações correspondentes por métodos tradicionais. Os valores acima das barras correspondem à percentagem de tempo ganho com a utilização de macros.

Todos os gráficos apresentados nas secções subsequentes apresentam uma linha de tendência linear, o que possibilita a perceção da evolução dos tempos necessários para a aplicação das macros e uma linha que corresponde ao valor médio de tempo despendido na realização de cada uma das ações sem a aplicação de uma macro. Os tempos de aplicação de macros foram obtidos num espaço de cerca de 1 mês.

6.1.1. Importar modelo

Após a aplicação da macro de importação de modelos e projetos, a média de tempo despendido passou de 23 para 16 segundos (Figura 37). Este valor corresponde a uma diminuição de 28% do tempo usado neste processo, quando comparado com a importação de modelos e projetos pelo método convencional. Na Figura 38, é possível consultar os tempos de importação de modelos com a utilização de macros

(azul), a regressão linear que demonstra uma diminuição do tempo de aplicação da macro, ao longo do tempo (verde), e o tempo médio para importar o modelo sem a utilização da macro (vermelho).

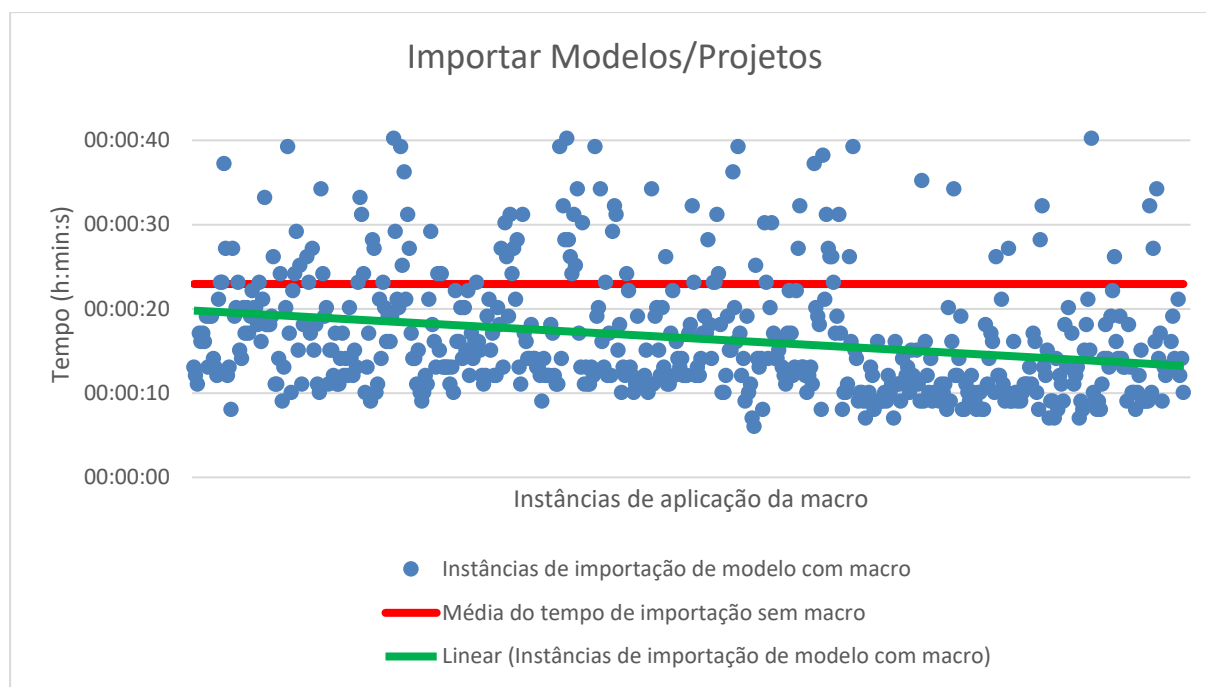


Figura 38 - Tempos de importação de modelos com a utilização da macro.

6.1.2. Início

Com a introdução da macro de início, que define o bloco de material e ativa o plano de trabalho correto, houve uma diminuição de tempo de cerca de 70%, passando de cerca de 24 para 7 segundos (Figura 37). Na Figura 39, é possível observar os tempos de aplicação da macro de início (azul), a linha de tendência que mostra uma diminuição do tempo de aplicação da macro (verde), e ainda o tempo médio de realização das mesmas tarefas sem macro (vermelho).

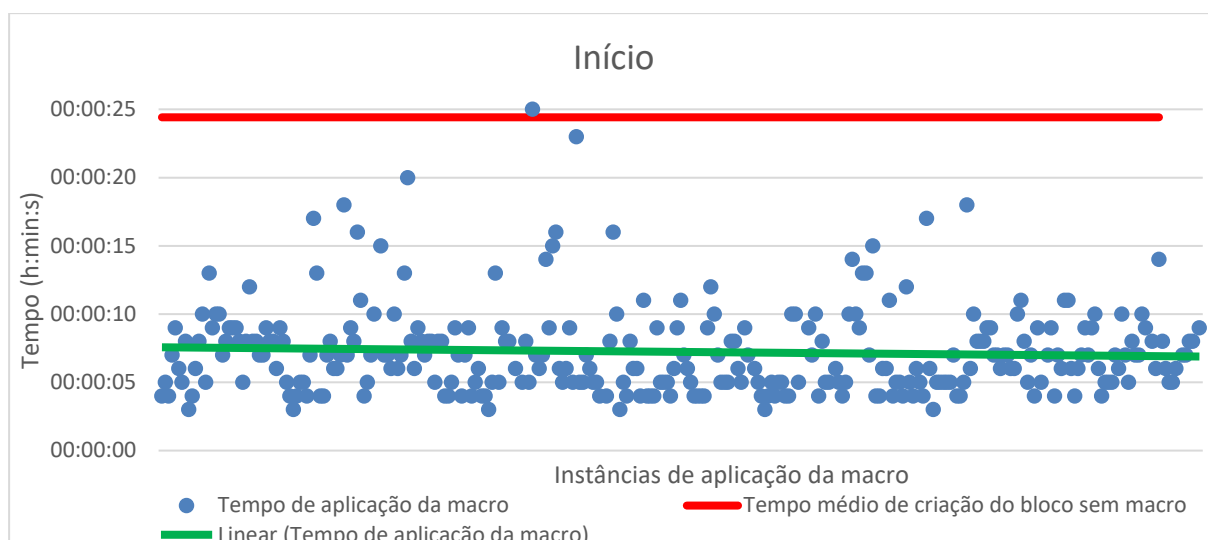


Figura 39 - Tempo de criação de bloco e ativação do plano de trabalho com a utilização da macro de início genérico.

6.1.3. Rodar

A macro definida para rodar o modelo 90° possibilitou o maior aumento de produtividade visto não necessitar de qualquer *input* do utilizador. Os tempos passaram a aproximar-se de 0 segundos, enquanto que, quando se realizava esta operação manualmente, o tempo médio rondava os 9 segundos (Figura 37). Isto traduz-se numa redução de tempo de cerca de 98%. Na Figura 40, é possível observar os tempos de aplicação da macro de rodar o modelo, a linha de tendência que mostra uma diminuição do tempo de aplicação da macro (verde), e ainda o tempo médio de realização desta tarefa sem a utilização de macros (vermelho).

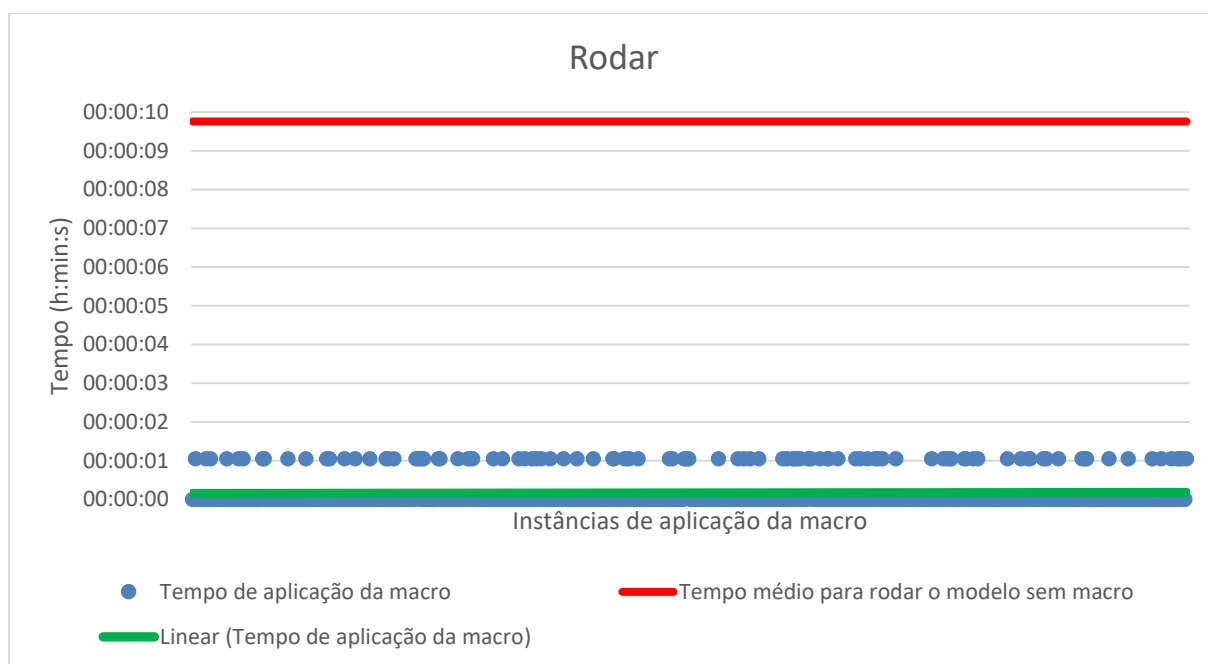


Figura 40 - Tempo de rotação do modelo com a utilização da macro de rodar.

6.1.4. Programa NC

Com a aplicação desta macro, o tempo de criação de programa NC com as devidas configurações baixou cerca de 81%, passando de 31 para 6 segundos, em média (Figura 37). Os resultados da macro de programa NC podem ser consultados na Figura 41, sendo que a azul estão representados os momentos de aplicação da macro, a verde a linha de regressão linear e, a vermelho, o tempo médio necessário para criar um programa NC sem a utilização das macros.

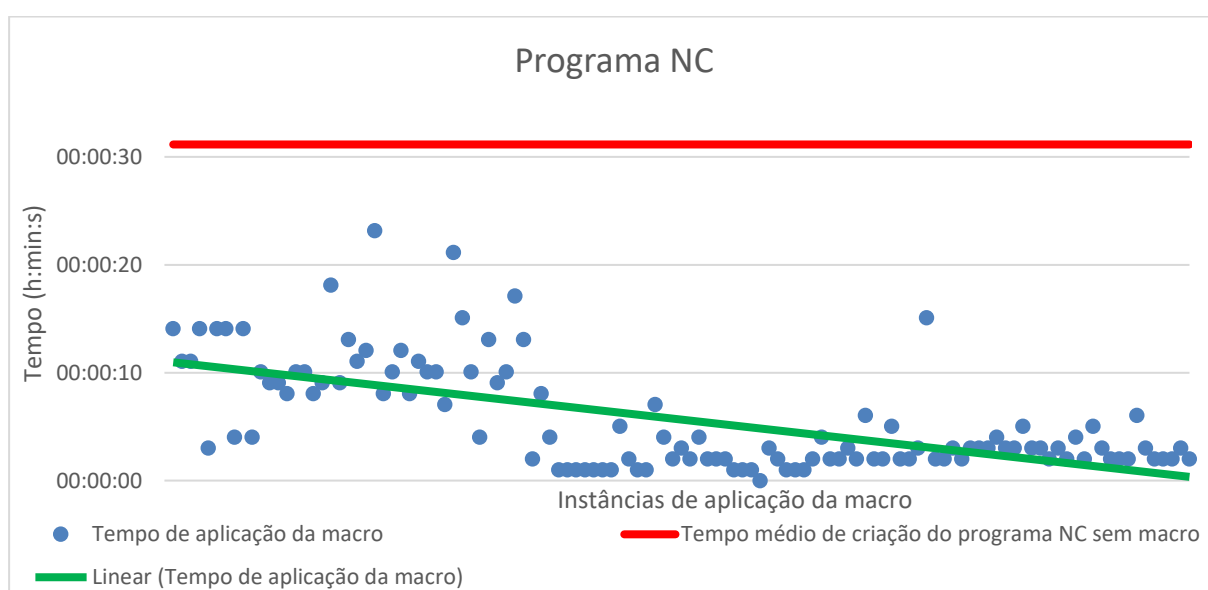


Figura 41 - Tempos de criação do programa NC utilizando a macro.

6.1.5. Mudança de *gap* de erosão

Durante o período de obtenção de dados não foi registada nenhuma ocorrência da utilização deste tipo de macro logo não é possível apresentar qualquer comparação entre o tempo despendido no processo tradicional e o tempo de aplicação da macro. No entanto, visto que a macro é um processo semiautomático, o tempo de aplicação da macro será sempre inferior ao tempo utilizado no método tradicional.

6.1.6. Espelhar

A macro de espelhar os projetos possibilitou uma diminuição do tempo necessário para esta ação na ordem dos 29%, passando de 49 segundos, quando aplicado o método convencional, para 35 segundos com a utilização de macro (Figura 37). Na Figura 42 é possível analisar os tempos de aplicação da macro de espelhar (azul), a linha de regressão linear do tempo de aplicação da macro (verde), e ainda o tempo médio necessário para realizar o espelho do programa não aplicando a macro (vermelho).

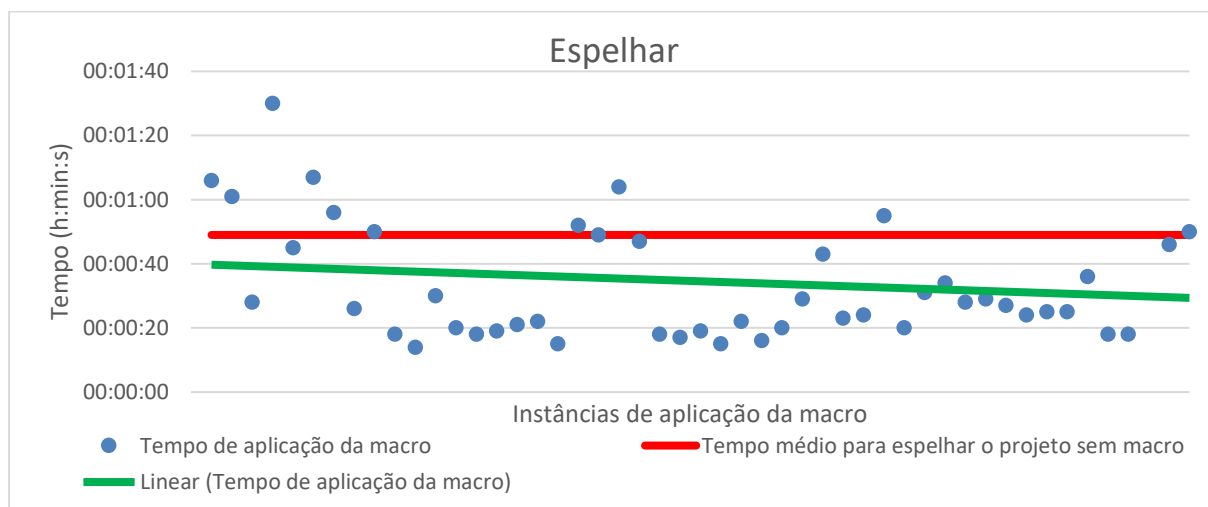


Figura 42 - Tempos de aplicação da macro de espelhar.

6.2. Macros de estratégia

Ao longo desta secção serão apresentados os resultados obtidos com a aplicação das macros de estratégia. A Figura 43 mostra os valores médios dos tempos de criação de um programa de maquinagem com ou sem o recurso a macros. Os diferentes resultados obtidos serão explorados nas secções seguintes. É necessário

salientar que o tempo médio de programação geral, sem qualquer tipo de macro, é de cerca de 21 minutos.

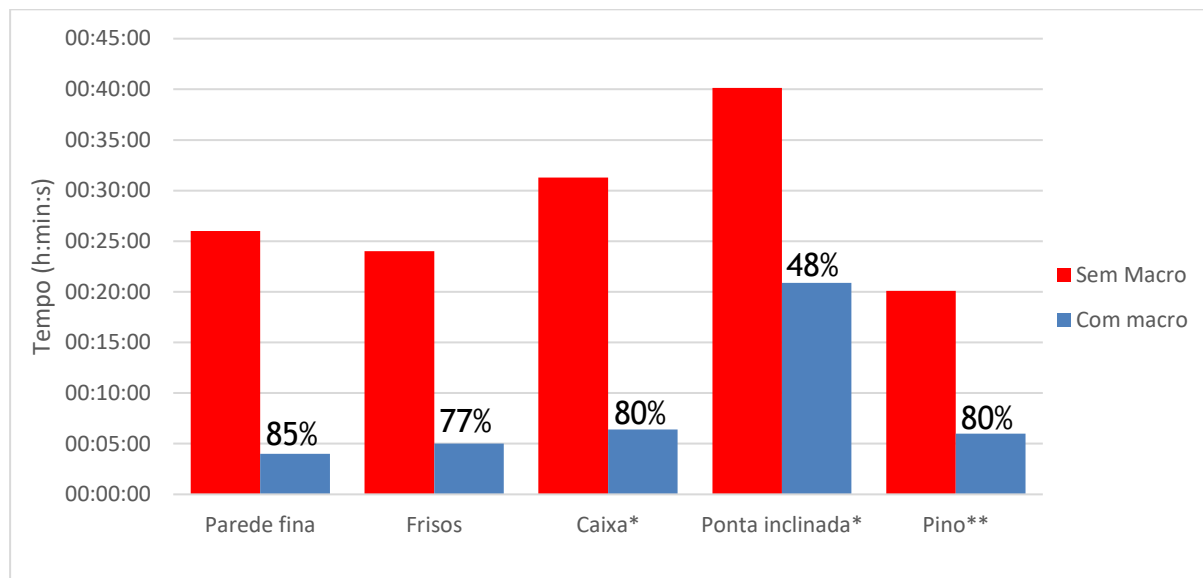


Figura 43 - Tempos médios de aplicação de macros de estratégia e tempos médios de criação de programas de maquinagem sem a utilização de macros. Os valores acima das barras correspondem à percentagem de redução de tempo de programação com a utilização de macros. *Os valores apresentados baseiam-se apenas numa medição para cada caso. **Os valores apresentados são estimados.

Visto que, durante o período em que o programa de controlo de tempo de programação esteve em funcionamento (cerca de um mês), não existiram ou não foram contabilizados todos os tipos de eléctrodos, algumas comparações, que serão devidamente referidas nas secções seguintes, foram realizadas com tempos estimados. A estimativa dos tempos tiveram como base o conhecimento dos programadores e os resultados obtidos através da aplicação de outras macros.

6.2.1. Parede

A macro de estratégia para eléctrodos do tipo parede teve repercussões positivas nos tempos de programação, tendo-se verificado uma diminuição de cerca de 85% nos tempos médios de programação, que passaram de 26 para 4 minutos, Figura 43. A Figura 44 apresenta os tempos de aplicação da macro para eléctrodos do tipo parede (azul), a linha de regressão linear dos tempos de aplicação das macros (verde), e o tempo médio de criação de um programa de maquinagem para este tipo de eléctrodos sem a utilização de macros (vermelho).

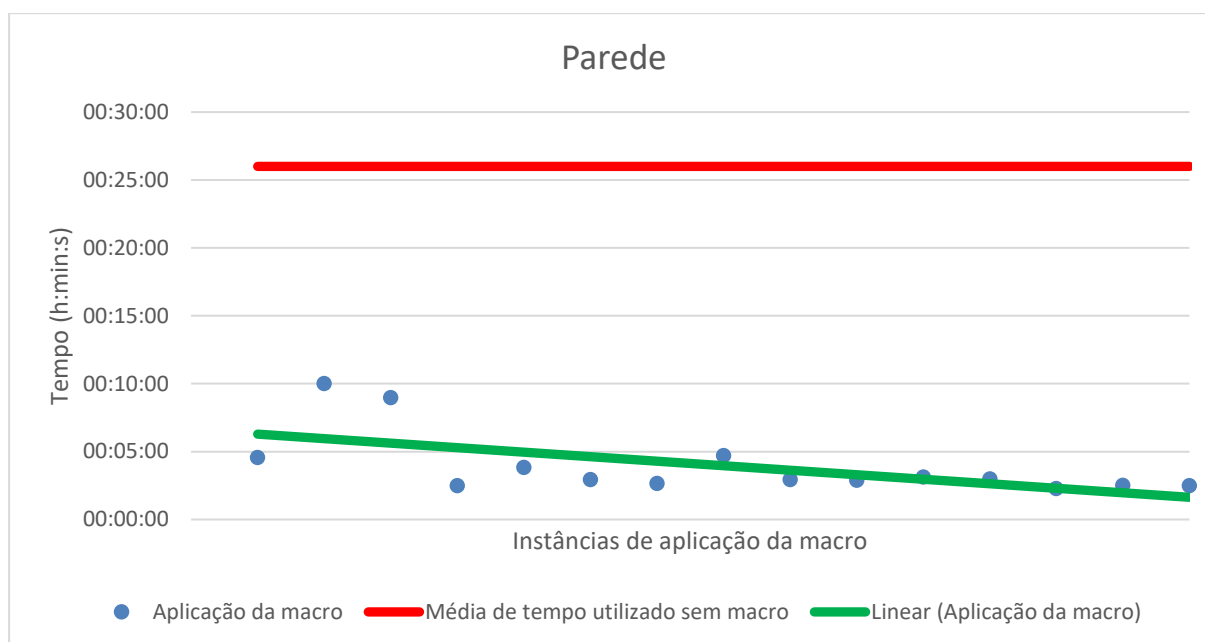


Figura 44 - Tempo de aplicação da macro para eléctrodos de parede.

6.2.2. Frisos

A macro de estratégia para eléctrodos do tipo frisos apresenta resultados bastante semelhantes à macro de parede. As poupanças de tempo percentuais da utilização desta macro encontram-se em 77%, passando de uma média de 24 para 5 minutos, Figura 43. A Figura 45 apresenta os tempos de aplicação da macro para eléctrodos do tipo frisos (azul), a linha de regressão linear dos tempos de aplicação das macros (verde), e o tempo médio de criação de um programa de maquinagem para este tipo de eléctrodos sem a utilização de macros (vermelho).

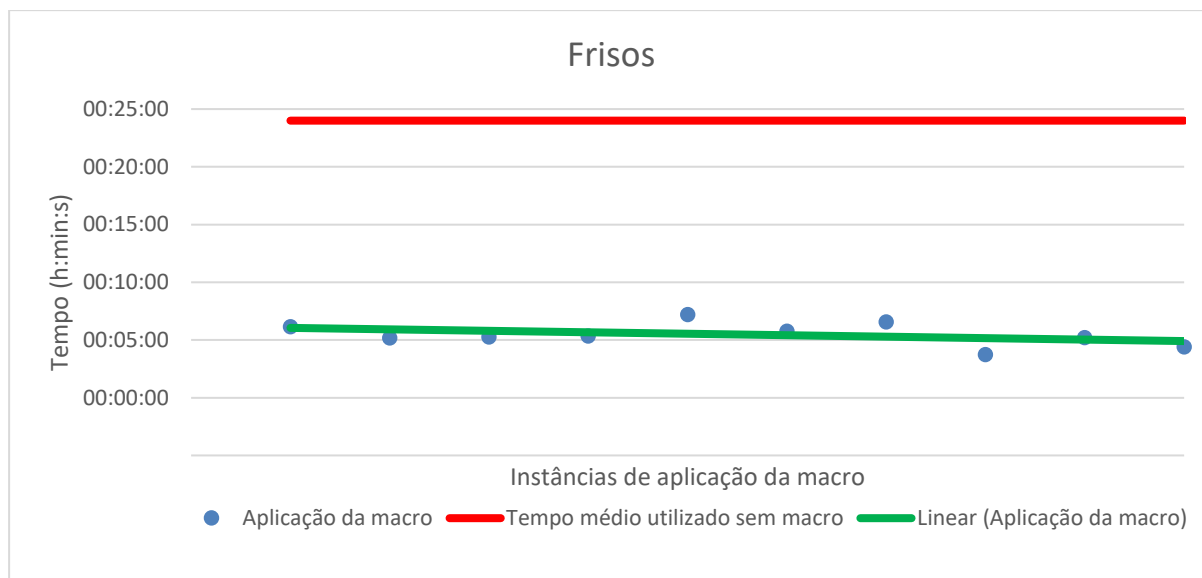


Figura 45 - Tempo de aplicação da macro para eléctrodos do tipo friso.

6.2.3. Caixa

Durante o período de obtenção de resultados utilizando o programa de controlo de tempo de programação apenas foram produzidos dois eléctrodos do tipo caixa, apresentando um tempo de programação de 31 minutos e 17 segundos, (Figura 43) sem a aplicação de macro e 6 minutos e 24 segundos com a aplicação de macro (Figura 43). Esta diminuição corresponde a uma redução de cerca de 80% do tempo necessário para a programação.

6.2.4. Ponta Inclinada

Ao longo do tempo de aquisição de resultados, foi apenas possível executar dois programas de maquinagem com eléctrodos deste tipo, um com recurso a macro e outro sem, em peças bastante semelhantes. O tempo de programação usando os métodos tradicionais foi de 40 minutos e 9 segundos, enquanto que o tempo de programação com recurso a macro foi de 20 minutos e 53 segundos (Figura 43), o que se traduz numa redução de 48% do tempo de programação.

6.2.5. Pino

Durante o tempo de obtenção de dados não foi encontrado, na base de dados, nenhum eléctrodo deste tipo. No entanto, de acordo com a experiência dos programadores, um eléctrodo tipo pino deverá demorar, em média, 20 minutos a ser programado. Visto que a macro realizada para este tipo de eléctrodos é bastante

semelhante à macro para eletrodos do tipo parede, é possível especular que os tempos de aplicação da macro seriam semelhantes, cerca de 6 minutos, o que seria equivalente a uma redução de tempo de programação de cerca de 80% (Figura 43).

6.2.6. Grelha

Durante o tempo de obtenção de dados, não foi encontrado, na base de dados, nenhum eletrodo que entrasse nesta categoria. No entanto, de acordo com a experiência dos programadores, um eletrodo tipo grelha deverá demorar, em média, 2,5 horas a ser programado. Visto que este tipo de eletrodos é bastante complexo de maquinar e por não haver nenhuma macro semelhante, não é possível estimar um tempo de maquinação com a utilização de macros para este tipo de eletrodo.

6.3. Ferramentas

6.3.1. Base de dados de velocidades de ferramentas

De forma a testar a eficácia das bases de dados de ferramentas criadas, foram utilizados 34 projetos de maquinação, de vários tipos de eletrodos, realizados pelos programadores, em que foram substituídos os parâmetros de corte de forma a ficarem de acordo com cada uma das bases de dados. Os novos tempos de maquinação teóricos, obtidos pelo *software* PowerMILL, foram comparados com o tempo de maquinação teórico original. Na Figura 46, é possível consultar-se a diferença percentual do tempo de maquinação em relação ao tempo original.

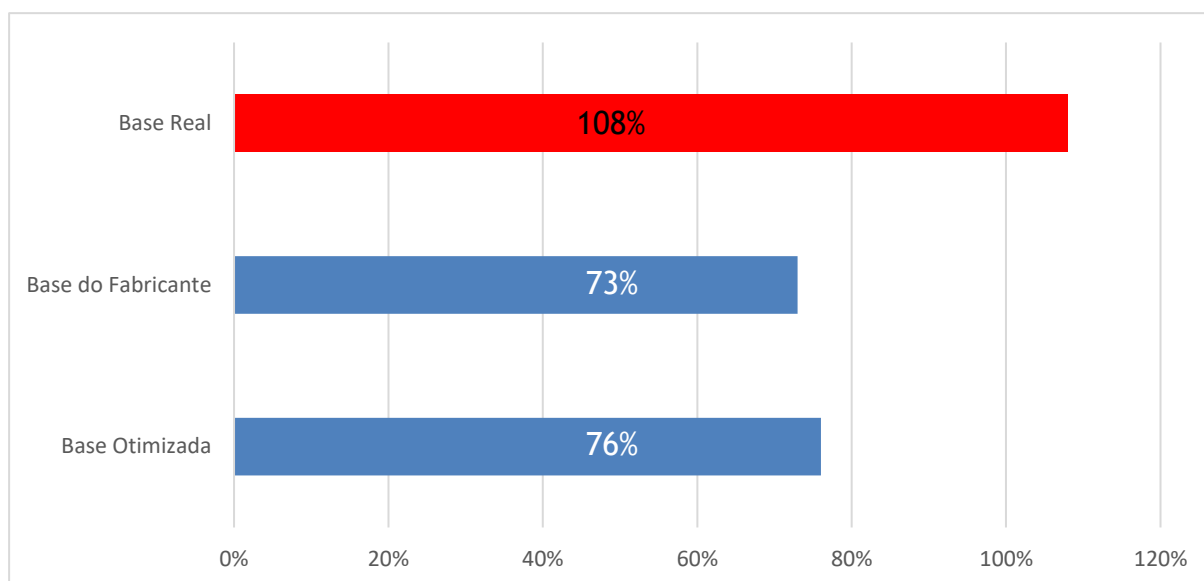


Figura 46 - Percentagem de tempo de cada uma das bases de velocidades de corte de ferramentas em relação ao tempo original (100%).

6.3.2. Ferramenta de Ripa

Com o intuito de verificar o impacto da ferramenta de ripa no tempo de maquinagem, esta foi aplicada em 73 projetos de maquinagem, previamente desenvolvidos pelos programadores. Nestes projetos foram substituídas as etapas de desbaste convencional por etapas de desbaste em *vortex* com a ferramenta de ripa. De forma a manter os resultados mais rigorosos, as novas estratégias de desbaste foram criadas de forma a evitar a necessidade de editar as estratégias de acabamento.

O tempo total de maquinagem dos 73 projetos anteriormente à utilização da ferramenta de ripa era de 21 horas, 51 minutos e 25 segundos; com a introdução da ferramenta, o tempo total de maquinagem passou a ser de 14 horas 18 minutos e 29 segundos, o que corresponde a uma diminuição de 7 horas 32 minutos e 56 segundos, cerca de 6,2 minutos por eletrodo. Tendo em consideração o preço da ferramenta e o valor de funcionamento da máquina, é possível concluir que, para obter um retorno positivo da ferramenta, será necessário maquinar cerca de 34 eletrodos.

6.4. Tempo de maquinagem

Através da análise dos tempos de funcionamento das máquinas HSC105 e HSC55, durante o período de desenvolvimento do presente trabalho, é possível

observar um aumento do tempo de maquinagem, atingindo uma média de 17,2 horas para a máquina HSC105 e 18,8 horas para a máquina HSC55.

Na Figura 47, é possível observar o número de horas de trabalho diárias do equipamento HSC105. Os dias em que as horas de produção são baixas podem ser explicados pela existência de eléctrodos de grande porte que acabam de ser maquinados e não são imediatamente substituídos. Isto acontece com maior frequência durante o fim-de-semana. Ao longo do tempo, também é possível observar que os momentos de menor produção ocorrem com menor frequência e intensidade, aumentando assim a média de horas de trabalho por dia. Através da análise da linha de tendência é possível concluir que, durante o desenvolvimento deste trabalho, ocorreu um aumento de cerca de 12% no número de horas de trabalho diárias.

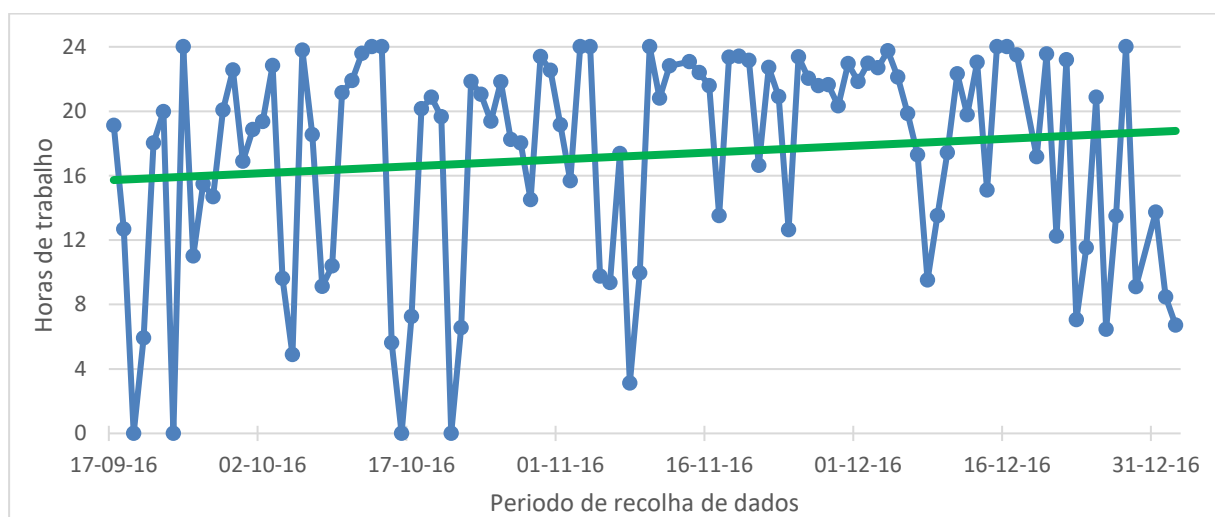


Figura 47 - Tempo de produção diária da máquina HSC105. Cada ponto corresponde a um dia de trabalho.

Ao contrário do equipamento de 3 eixos, a máquina de 5 eixos apresenta uma flutuação no tempo de maquinagem bastante menor, tal como é possível constatar na Figura 48. Isto deve-se ao facto desta máquina trabalhar quase exclusivamente através do carregamento automático do robot, garantindo a substituição permanente de eléctrodos. Neste equipamento, os dias de menor tempo de produção coincidem com domingos. Este facto pode levar a concluir que o armazém de eléctrodos da célula não tem capacidade suficiente ou que existe uma falta de programas de maquinagem. Ao analisar a linha de tendência presente no gráfico, é possível

concluir que ocorreu um aumento de cerca de 8% no número de horas de trabalho diárias.

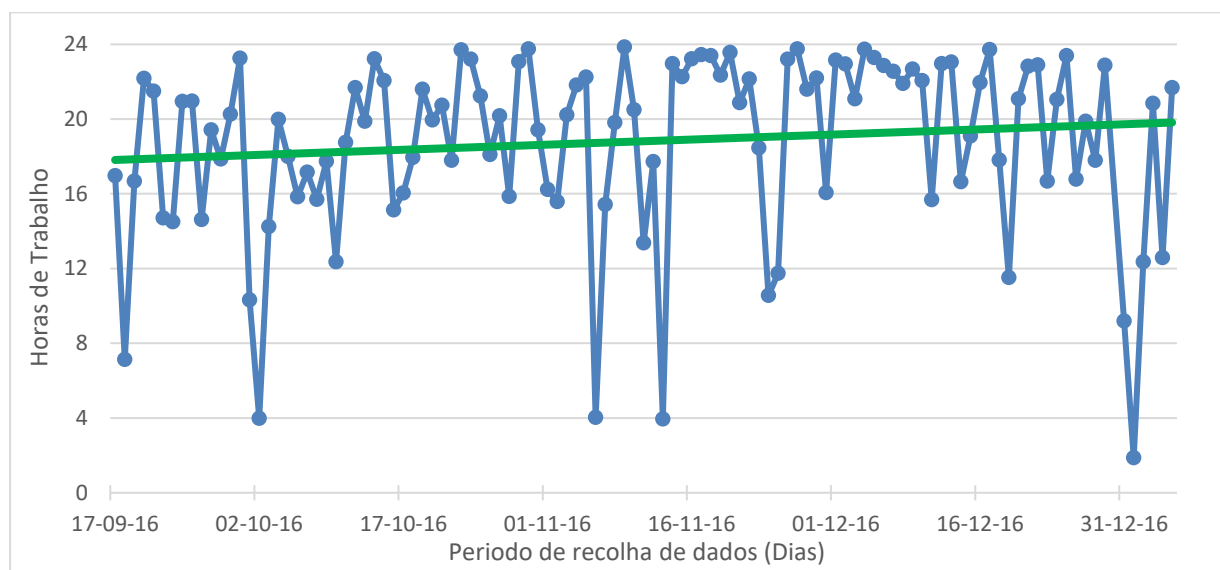


Figura 48 - Tempo de produção diária da máquina HSC55.

Após a análise de ambos os gráficos, é possível concluir que existe uma tendência de aumento do número de horas de trabalho das máquinas. Esta tendência, em conjunto com uma menor flutuação de horas de trabalho, pode estar relacionada com o tipo de eléctrodos produzidos, com a gestão de produção de eléctrodos ou com a introdução das macros desenvolvidas. Visto que os resultados da aplicação de macros são positivos, é muito provável que estas estejam envolvidas no aumento de produtividade da célula robótica de produção de eléctrodos.

6.5. Discussão geral dos resultados

Em todos os casos analisados, referentes às macros criadas, as linhas de tendência apresentam um declive negativo, o que demonstra uma diminuição do tempo de aplicação da macro. Isto pode ser explicado com uma habituação dos programadores às macros, que se reflete numa menor necessidade de tempo para a introdução de dados. Em relação às macros de estratégia, apesar dos resultados de redução de tempo de programação apresentados terem sido baseados numa amostra pequena, pôde-se verificar uma tendência de diminuição do tempo de programação. A reduzida dimensão da amostra deve-se principalmente a uma maior dificuldade de implementação das macros visto serem, ferramentas que alteram consideravelmente os métodos de trabalho aos quais os programadores estão acostumados. Baseado nos

resultados obtidos, é seguro afirmar que com o decorrer do tempo, as macros de estratégia serão progressivamente mais utilizadas, o que resultará num aumento de produtividade na programação CAM.

Em relação às bases de dados de velocidades, os valores indicados têm como função, em primeiro lugar, uniformizar as velocidades de corte utilizadas, informar os programadores das capacidades das ferramentas, servir como uma base segura de velocidades para diferentes tipos de corte, e diminuir os erros humanos de introdução de velocidades.

No que diz respeito à utilização da ferramenta de ripa, esta provou ser, por si só, um ótimo meio de redução de tempos de maquinagem. No entanto, é necessário um estudo mais aprofundado da ferramenta de forma a compreender os melhores parâmetros de corte a utilizar para otimizar o corte e a durabilidade da ferramenta.

7. Conclusões

As diferentes estratégias implementadas no processo de maquinagem de eletrodos da Simoldes Aços tiveram repercussões positivas a vários níveis.

Com o desenvolvimento das macros simples, ficou claro que a utilização deste tipo de ferramentas de produção torna os processos de criação de projetos de maquinagem menos repetitivos e propensos a erros. No que diz respeito às macros de estratégia, estas possibilitaram uma maior uniformização da metodologia de programação CAM entre programadores e uma diminuição da possibilidade de erros humanos. Estes fatores refletem o contributo positivo do desenvolvimento das macros ao nível da diminuição do tempo despendido em cada programa CAM, da standardização do processo de maquinagem e de um menor desgaste de ferramentas.

O trabalho realizado de forma a diminuir a possibilidade de erro, como a correção do simulador da máquina-ferramenta HSC55, foi fulcral para eliminar as paragens da máquina devido a fim de curso no eixo do Z.

O teste realizado com a função de compensação de raio mostrou a possibilidade de eliminar as não conformidades dimensionais dos eletrodos maquinados, garantindo assim a correta eletroerosão dos moldes.

O trabalho implementado a nível das ferramentas possibilitou, primeiramente, uma monitorização mais rigorosa do desgaste das ferramentas devido à realização de um inventário. Em relação à criação de bases de dados de corte, os resultados obtidos foram promissores, tendo-se verificado uma diminuição de cerca de 30% no tempo de maquinagem. No que diz respeito à introdução da ferramenta de ripa, esta apresentou melhorias no tempo de maquinagem bastante significativas, pagando o investimento realizado na sua aquisição ao maquinar cerca de 34 eletrodos.

Ao avaliar as horas diárias de trabalho das duas máquinas-ferramenta de produção de eletrodos pôde-se inferir que a utilização das macros deverá estar associada a um aumento de horas de trabalho diárias, logo a um aumento de produtividade da célula de eletrodos. Com um aumento de utilização das macros por parte dos programadores, em especial, as macros de estratégia, é espectável um aumento mais significativo dos tempos de funcionamento das máquinas-ferramentas.

Em suma, foram atingidos os objetivos propostos para o presente trabalho, tendo-se conseguido otimizar a programação CAM da célula de eletrodos, criando *standards* de programação, bases de dados de ferramentas e eliminando possíveis fontes de erros, o que se traduz num aumento de rentabilidade de todo o processo.

É importante destacar que as competências adquiridas nas diferentes unidades curriculares do Mestrado Integrado de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, destacando Computação e Programação, Desenho Assistido por Computador e Engenharia Assistida por Computador, foram fulcrais para o sucesso desta dissertação.

8. Trabalho futuro

Apesar do trabalho realizado ter possibilitado melhorias concretas ao nível da criação de programas CAM, existem ainda ferramentas de trabalho que podem ser melhoradas de forma a maximizar a produtividade da célula de eléctrodos. Em primeiro lugar, poder-se-á desenvolver macros que criem automaticamente os programas de maquinagem baseados nos tipos de eléctrodos, sendo apenas necessária a verificação final dos programadores.

Relativamente às bases de ferramentas criadas, estas devem continuar a ser trabalhadas no sentido de atingir velocidades ótimas para cada ferramenta e corte.

Por fim, constatou-se a necessidade de minimizar os tempos de troca automática do eléctrodo na célula robótica. Isto poderá ser alcançado com uma melhoria na comunicação entre o *software* de gestão de programas NC e os controladores, minimizando assim o tempo de movimentação do robot e de preparação da máquina-ferramenta para o início de uma nova maquinagem.

9. Bibliografia

1. Simoldes. 2016 [citado 24 de outubro de 2016]. Obtido de: <http://www.simoldes.com/tool>
2. Jameson EC. Electrical discharge machining. Society of Manufacturing Engineers; 2001.
3. Krar SF, Gill A. Exploring advanced manufacturing technologies. Industrial Press Inc.; 2003.
4. Mohd Abbas N, Solomon DG, Fuad Bahari M. A review on current research trends in electrical discharge machining (EDM). Int J Mach Tools Manuf. 2007;47(7):1214-28.
5. University of Cincinnati. Electrical Discharge Machining. 2015 [citado 7 de novembro de 2016]. Obtido de: <http://www.min.uc.edu/ucman/research/electrical-discharge-machining/>
6. Kingred. Wire EDM | Sinker EDM | Small Hole EDM | Tire Mold EDM | KINGRED EDM Machine. [citado 12 de janeiro de 2017]. Obtido de: <http://www.kingredms.com/>
7. Sommer C, Sommer S. Complete EDM Handbook: Wire EDM, RAM EDM, Small Hole EDM; Practical Information for Designers, Engineers, Machinists, Tool and Die Makers, Mold Makers and Others in the Metal Machining Fields. Advance Publ; 2005.
8. Lorincz J. Drilling Small, Deep Holes with Precision EDM. Manufacturing Engineering Media. 2013;79-86.
9. Luis CJ, Puertas I, Villa G. Material removal rate and electrode wear study on the EDM of silicon carbide. J Mater Process Technol. 2005;164:889-96.
10. Kunieda M, Lauwers B, Rajurkar KP, Schumacher BM. Advancing EDM through Fundamental Insight into the Process. CIRP Ann - Manuf Technol. 2005;54(2):64-87.
11. Amorim FL, Weingaertner WL. The behavior of graphite and copper electrodes

- on the finish die-sinking electrical discharge machining (EDM) of AISI P20 tool steel. J Brazilian Soc Mech Sci Eng. The Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering; Dezembro de 2007;29(4):366-71.
12. Suemitsu I, Izui K, Yamada T, Nishiwaki S, Noda A, Nagatani T. Simultaneous optimization of layout and task schedule for robotic cellular manufacturing systems. Comput Ind Eng. 2016;102:396-407.
 13. Sethi SP, Sriskandarajah C, Sorger G, Blazewicz J, Kubiak W. Sequencing of parts and robot moves in a robotic cell. Int J Flex Manuf Syst. 1992;4(3):331-58.
 14. Dawande MW, Geismar HN, Sethi SP, Sriskandarajah C. Throughput optimization in robotic cells. Vol. 101. Springer Science & Business Media; 2007.
 15. Dawande M, Geismar HN, Pinedo M, Sriskandarajah C. Throughput optimization in dual-gripper interval robotic cells. IIE Trans. Taylor & Francis; 30 de Outubro de 2009;42(1):1-15.
 16. Apro K. Secrets of 5-axis machining. Industrial Press Inc.; 2008.
 17. Warkentin A, Hoskins P, Ismail F, Bedi S. Computer Aided 5-Axis Machining. Em: Computer-Aided Design, Engineering, and Manufacturing. CRC Press; 2000.
 18. Relvas C. Controlo numérico computadorizado: conceitos fundamentais. 2º Edição. Publindústria; 2002.
 19. Alber M. An Overview Of 3 + 2 Machining. Modern Machine Shop. 2006;
 20. CNC Cookbook. CNCCookbook: Be a Better CNC'er. [citado 9 de janeiro de 2017]. Obtido de: <http://www.cnccookbook.com/index.htm>
 21. Delcam. PowerMILL 2016. 2016.
 22. Delcam. Curso de Formação PowerMILL 2014. 2014.
 23. Ramos A., Relvas C, Simões J. The influence of finishing milling strategies on texture, roughness and dimensional deviations on the machining of complex surfaces. J Mater Process Technol. 2003;136(1):209-16.

24. Souza AF de, Machado A, Beckert SF, Diniz AE. Evaluating the Roughness According to the Tool Path Strategy When Milling Free Form Surfaces for Mold Application. *Procedia CIRP*. 2014;14:188-93.
25. Davim JP. *Machining: fundamentals and recent advances*. Springer Science & Business Media; 2008.
26. Sandvik Coromant | Manufacturing tools & machining solutions. [citado 22 de dezembro de 2016]. Obtido de: <http://www.sandvik.coromant.com/en-gb/pages/default.aspx>
27. Van Hoorn. A step forward in productivity. 2015. Obtido de: http://www.hoorn-carbide.com/wp-content/uploads/2016/11/Binnenwerk_vHc_Catalogus2015_totaal.pdf#page=102
28. Hurco. Hurco Europe Ltd. | Machine Tool Sales | Milling and Turning. [citado 27 de novembro de 2016]. Obtido de: <http://www.hurco.com/en-gb/pages/hurco-uk-europe.aspx>
29. Makino. Machining Centers & Machine Engineering Services | Makino. [citado 10 de janeiro de 2017]. Obtido de: <https://www.makino.com/>
30. Autodesk. PowerMill | High-Speed & 5-Axis CAM Software | Autodesk. [citado 22 de dezembro de 2016]. Obtido de: <http://www.autodesk.com/products/powermill/overview>
31. Erdel BP. *High-speed machining*. Society of Manufacturing Engineers; 2003.
32. Sugiura A, Koseki Y. Simplifying Macro Definition in Programming by Demonstration. Em: *Proceedings of the 9th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. New York, NY, USA: ACM; 1996. p. 173-82. (UIST '96).
33. Kintzley RA, Brown HF. *Dynamic macro creation using history of operations*. United States of America; 2010.
34. Lascelles MC, Wong M. Simplified cad parametric macroinstruction capability including variational geometrics feature. Estados Unidos da América;

US5070534 A, 1991.

35. Autodesk. CAD Modeling For Manufacture Software | PowerShape | Autodesk. [citado 12 de janeiro de 2017]. Obtido de: <http://www.autodesk.com/products/powershape/overview>
36. Branco Martins Augusto VM. Delcam Post Processor Training. 2013.
37. Microsoft. Any Developer, Any App, Any Platform | Visual Studio. [citado 5 de novembro de 2016]. Obtido de: <https://www.visualstudio.com>
38. Microsoft. Software e Aplicações de Base de Dados | Microsoft Access. [citado 11 de novembro de 2016]. Obtido de: <https://products.office.com/pt-pt/access>
39. Heidenhain. HEIDENHAIN. [citado 15 de Novembro de 2015]. Obtido de: http://www.heidenhain.com/en_US/home/
40. DMG MORI. [citado 10 de novembro de 2016]. Obtido de: <http://en.dmgmori.com/>
41. EROWA AG. [citado 10 de novembro de 2016]. Obtido de: <http://www.erowa.com/en/homepage.html>
42. Schneider R. Apparatus for fixing a workpiece to the worktable of a machine tool. Estados Unidos da América; 5065911, 1991.
43. ONA EDM. [citado 26 de outubro de 2016]. Obtido de: <http://www.onaedm.com/>
44. Seco. Catalogue & Technical Guide - Solid End Mills. 2016. p. 353. Obtido de: <https://www.secotools.com/pt-PT/Global/Services--Support/Machining-Navigator/>
45. Seco. Catalogue & Technical Guide - Milling. 2016. Obtido de: <https://www.secotools.com/pt-PT/Global/Services--Support/Machining-Navigator/>
46. Hitachi. Solid Carbide End Mill. 2015.

47. Widia. Victory Shoulder Mill 11 Advances 2015. 2015. 14 p.

10. Anexos

Anexo A - Processo de eletroerosão

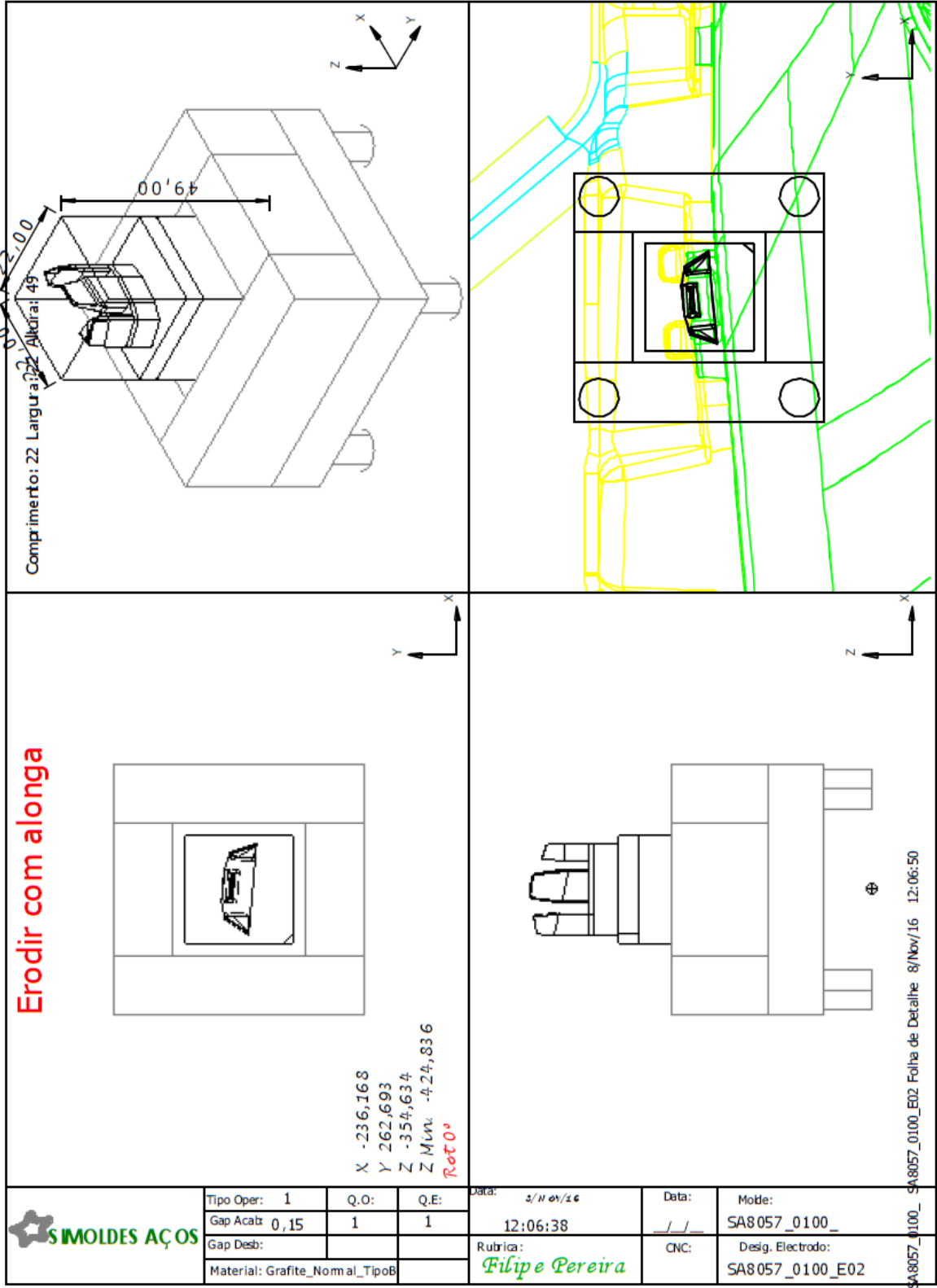


Figura 49 - Exemplo de folha de serviço de um elétrodo.



Molde: **SA8035**
Comp: **0100**
Nome: **E16**

O/E: **Original**
GAP: **0,12**
ID: **4852**
Material: Grafite_Normal_TipoA



Figura 50 - Exemplo de etiqueta aplicada a todos os eléctrodos para a sua mais fácil identificação.

Caminho onde irá ser criado o ficheiro
C:\Erosao

☐ Não otimizar posições dos eléctrodos

Alongas

Adicionar longa

Adicionar Ma

Remover longa

Remover Ma

Máquina: EO

SA8011_0200__01.prg

Login como administrador

	Nº cópias	Dif.	Alonga	Macro		Nº cópias	Dif.	Alonga	Macro
17		0.00			21		0.00		
16		0.00			22		0.00		
15		0.00			23		0.00		
14		0.00			24		0.00		
13		0.00			25		0.00		
12		0.00			26		0.00		
11		0.00			27		0.00		
10		0.00			28		0.00		
9		0.00			29		0.00		
8		0.00			30		0.00		
7		0.00			31		0.00		
6		0.00			32		0.00		
5 SA78011_0200_E04	0	0.00		GRAFITE_015	33		0.00		
4 SA78011_0200_E03_ESPX	0	0.00		GRAFITE_015	34		0.00		
3 SA78011_0200_E03	0	0.00		GRAFITE_015	35		0.00		
2 SA78011_0200_E02_ESPX	0	0.00		GRAFITE_015	36		0.00		
1 SA78011_0200_E02	0	0.00		GRAFITE_015	37		0.00		

Imprimir Layout

Calço: 260 mm

Gerar Programa

0

Actualizar

Figura 51 - Folha de erosão utilizada para distribuir corretamente os eléctrodos na máquina de erosão.

Anexo B - Macros Simples

Otimização da programação da célula de eletrodos no grupo Simoldes

```

1 //
2 //Rotacionar o modelo 90 graus
3 //
4 INT $Start time = time()
5 STRING $macro = "Rodar"
6 STRING $nome_eletrodo = ""
7 STRING $modelo = ""
8 STRING $caminho1 = 'C:\dcam\1.txt'
9 STRING $caminho2 = 'C:\dcam\2.txt'
10 STRING $caminho3 = 'C:\dcam\3.txt'
11 STRING $caminho4 = 'C:\dcam\4.txt'
12 FOREACH model_name IN FOLDER ("model") {
13     STRING $steata = "0"
14     IF file_exists($caminho1) {
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30     IF file_exists($caminho2) {
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43     IF file_exists($caminho3) {
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57     IF file_exists($caminho4) {
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72     FOREACH model_name IN FOLDER ("model") {
73
74 //Editar o modelo
75
76 EDIT MODEL ALL SELECT ALL
77
78 FORM MODELTRANS EDIT MODEL $model_name.name INTERACTIVE
79
80 TRANSFORM ANGLE "90"
81
82 TRANSFORM TYPE ROTATEZ TRANSFORM MODEL $model_name.name
83
84 MODELTRANS CANCEL
85 }
86
87 //set the export filename
88 //STRING $Filename = "D:\Dropbox\Faup\5º Ano\Tese" + "\" + $macro + ".csv"

```

Figura 52 - Excerto do código da macro de rodar o modelo.

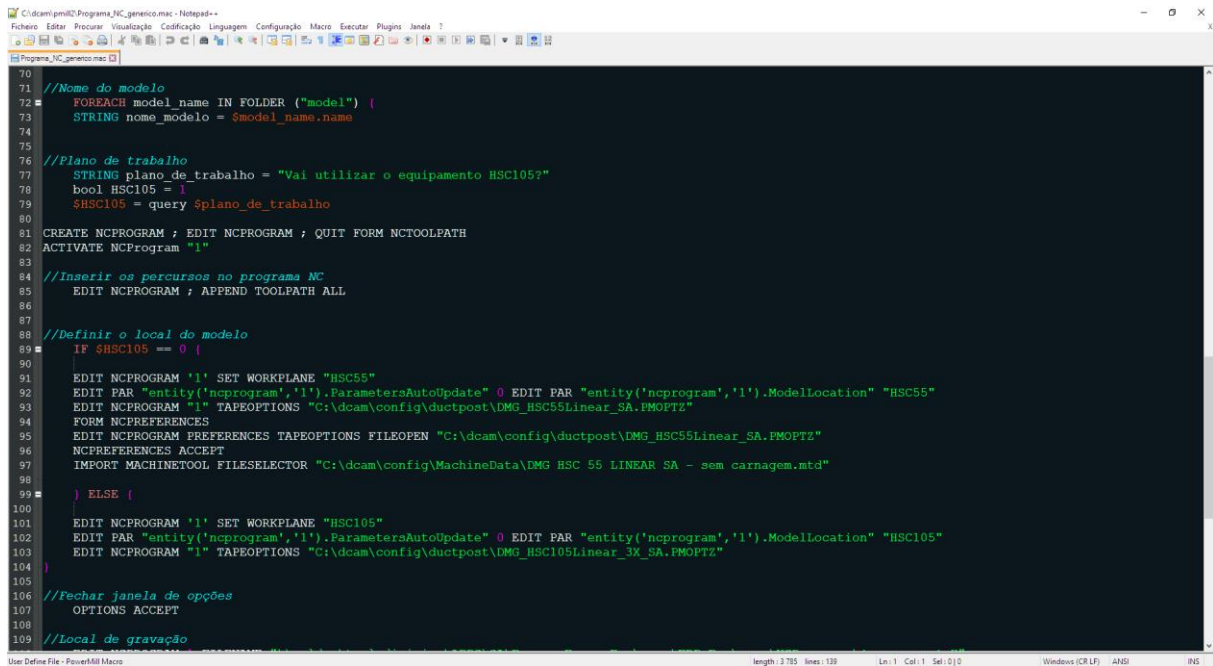
```

4
5 STRING $macro = 'Importar modelo'
6 INT $start time = time()
7 STRING $nome_eletrodo = ''
8     STRING $caminho1 = 'C:\dcam\1.txt'
9     STRING $caminho2 = 'C:\dcam\2.txt'
10    STRING $caminho3 = 'C:\dcam\3.txt'
11    STRING $caminho4 = 'C:\dcam\4.txt'
12
13 //Escolhar o modelo a abrir
14
15 STRING $grupo = INPUT "Por favor introduza a SIGLA DO GRUPO."
16 STRING $molde = INPUT "Por favor introduza o NÚMERO DO MOLDE."
17 STRING $DGK_Folder = ""
18
19 IF $grupo == "SA" OR $grupo == "SAB" OR $grupo == "IMA" OR $grupo == "MECA" {
20 // Definir o diretório do ficheiro
21 $DGK_Folder = "\\moldes\tool_division\CAM\" + $grupo + "\" + $grupo + $molde + "\" + $grupo + $molde + "_Erosao"
22 //DGK_Folder = "D:\Google Drive\Faup\5º Ano\Tese\Moldes\" + $grupo + "\" + $grupo + $molde
23 }
24 IF $grupo == "MDA" OR $grupo == "UL" OR $grupo == "IGM" {
25 // Definir o diretório do ficheiro
26 $DGK_Folder = "\\moldes\tool_division\CAM\" + $grupo + "\Moldes\" + $grupo + $molde + "\" + $grupo + $molde + "_Erosao"
27 }
28
29 IF $grupo == "SAB" {
30 // Definir o diretório do ficheiro
31 $DGK_Folder = "\\moldes\tool_division\CAM\SA\" + $grupo + $molde
32 }
33
34 STRING LIST $DGK_Files = {}
35
36 IF $grupo == "MDA" {
37 // Criar lista de ficheiros DGK dentro da pasta
38 $DGK_Files = LIST_FILES("filest", $DGK_Folder, ".igs")
39 } ELSE {
40 // Criar lista de ficheiros DGK dentro da pasta
41 $DGK_Files = LIST_FILES("filest", $DGK_Folder, ".dgk")
42 }
43

```

Figura 53 - Excerto do código da macro simples de importação de modelo.

Otimização da programação da célula de eletrodos no grupo Simoldes

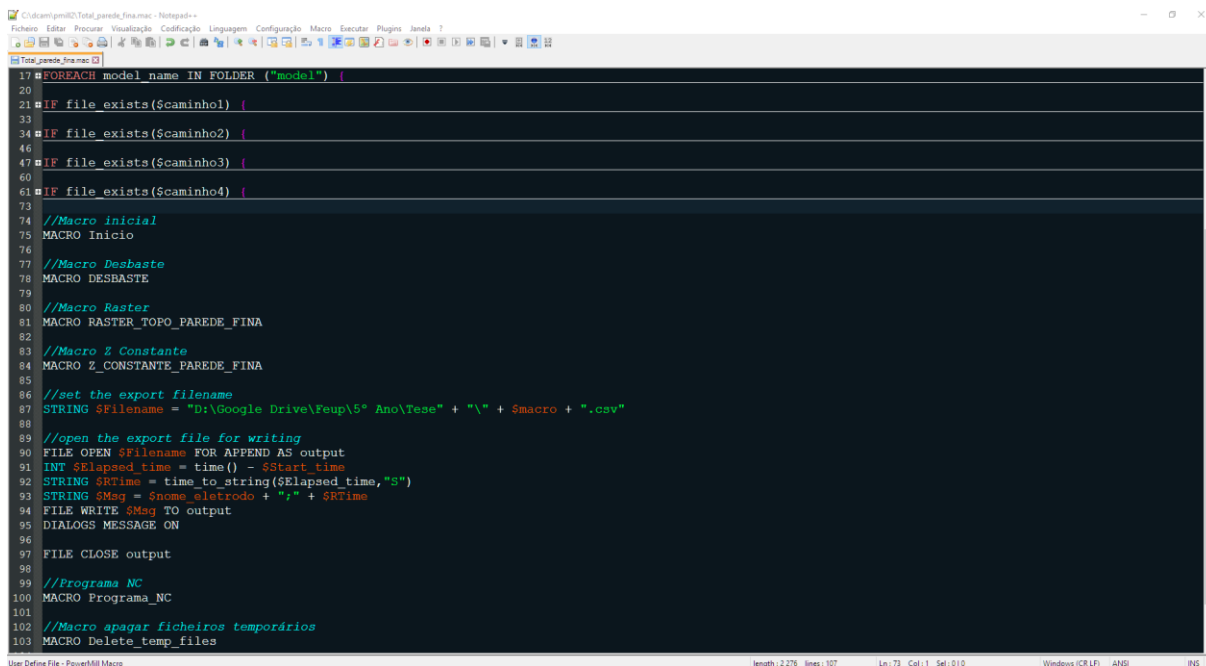


```
70
71 //Nome do modelo
72 FOREACH model_name IN FOLDER ("model") {
73     STRING nome_modelo = $model_name.name
74
75 //Plano de trabalho
76     STRING plano_de_trabalho = "Vai utilizar o equipamento HSC105?"
77     bool HSC105 = 1
78     $HSC105 = query $plano_de_trabalho
79
80 CREATE NCPROGRAM ; EDIT NCPROGRAM ; QUIT FORM NCTOOLPATH
81 ACTIVATE NCProgram "1"
82
83 //Inserir os percursos no programa NC
84 EDIT NCPROGRAM ; APPEND TOOLPATH ALL
85
86 //Definir o local do modelo
87 IF $HSC105 == 0 {
88     EDIT NCPROGRAM '1' SET WORKPLANE "HSC55"
89     EDIT PAR "entity('ncprogram','1').ParametersAutoUpdate" 0 EDIT PAR "entity('ncprogram','1').ModelLocation" "HSC55"
90     EDIT NCPROGRAM "1" TAPEOPTIONS "C:\dcam\config\ductpost\DMG_HSC55Linear_SA.FMOPtz"
91     FORM NCPREFERENCES
92     EDIT NCPROGRAM PREFERENCES TAPEOPTIONS FILEOPEN "C:\dcam\config\ductpost\DMG_HSC55Linear_SA.FMOPtz"
93     NCPREFERENCES ACCEPT
94     IMPORT MACHINETOOL FILESELECTOR "C:\dcam\config\MachineData\DMG HSC 55 LINEAR SA - sem carnagem.mtd"
95 } ELSE {
96     EDIT NCPROGRAM '1' SET WORKPLANE "HSC105"
97     EDIT PAR "entity('ncprogram','1').ParametersAutoUpdate" 0 EDIT PAR "entity('ncprogram','1').ModelLocation" "HSC105"
98     EDIT NCPROGRAM "1" TAPEOPTIONS "C:\dcam\config\ductpost\DMG_HSC105Linear_3X_SA.FMOPtz"
99 }
100
101 //Fechar janela de opções
102 OPTIONS ACCEPT
103
104 //Local de gravação
```

Figura 54 - Excerto do código da macro simples de criação do programa NC.

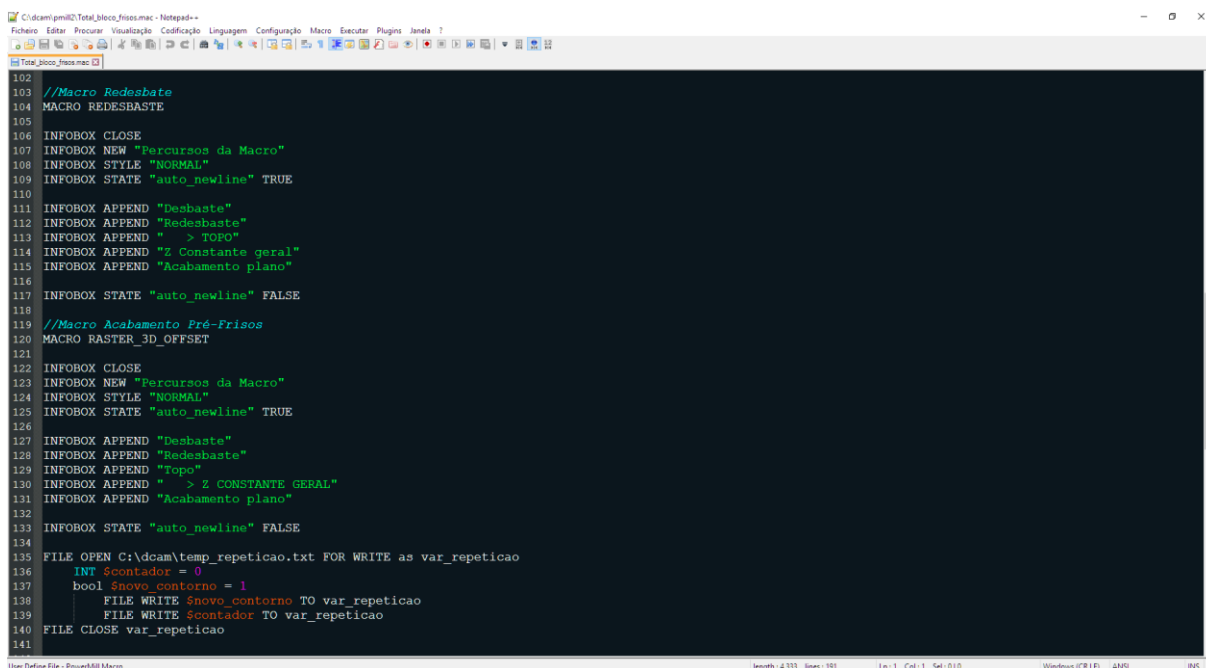
Anexo C - Macros de estratégia

Otimização da programação da célula de eletrodos no grupo Simoldes



```
17 FOREACH model_name IN FOLDER ("model") {
20
21 IF file_exists($caminho1) {
33
34 IF file_exists($caminho2) {
46
47 IF file_exists($caminho3) {
60
61 IF file_exists($caminho4) {
73
74 //Macro inicial
75 MACRO Inicio
76
77 //Macro Desbaste
78 MACRO DESBASTE
79
80 //Macro Raster
81 MACRO RASTER_TOPO_PAREDE_FINA
82
83 //Macro Z Constante
84 MACRO Z_CONSTANTE_PAREDE_FINA
85
86 //set the export filename
87 STRING $filename = "D:\Google Drive\Feup\5º Ano\Tese" + "\" + $macro + ".csv"
88
89 //open the export file for writing
90 FILE OPEN $filename FOR APPEND AS output
91 INT $elapsed_time = time() - $start_time
92 STRING $RTime = time_to_string($elapsed_time,"S")
93 STRING $Msg = $nome_eletrodo + ";" + $RTime
94 FILE WRITE $Msg TO output
95 DIALOGS MESSAGE ON
96
97 FILE CLOSE output
98
99 //Programa NC
100 MACRO Programa_NC
101
102 //Macro apagar ficheiros temporários
103 MACRO Delete_temp_files
```

Figura 55 - Excerto do código da macro de estratégia para eletrodos do tipo parede.

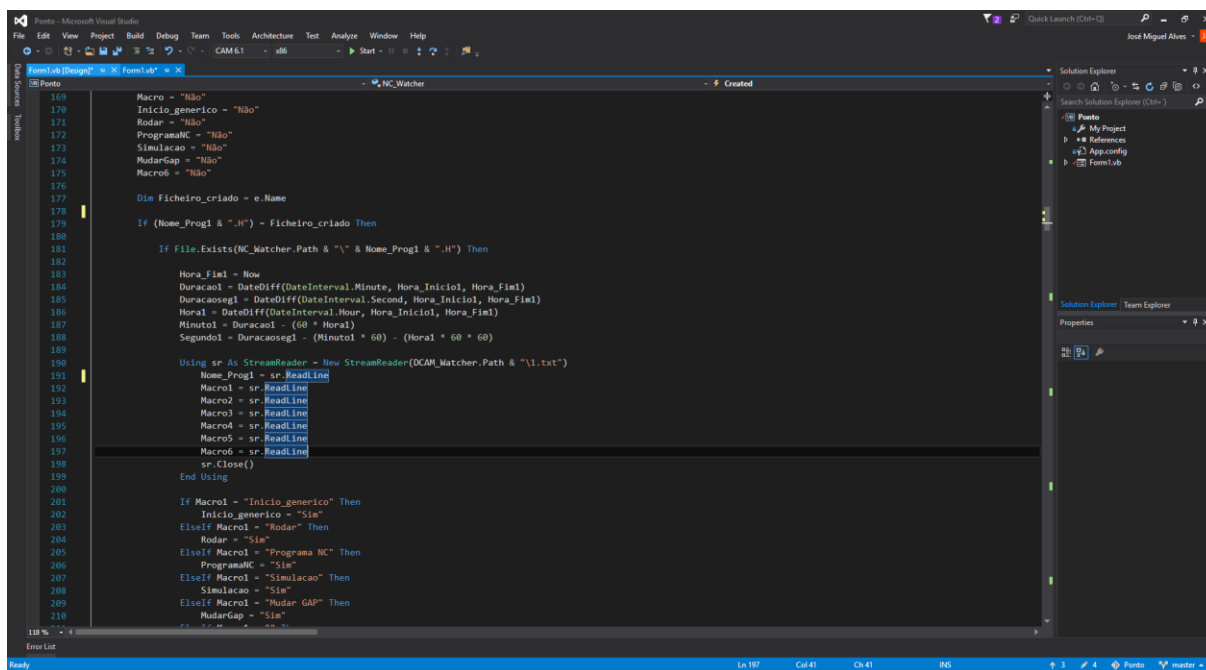


```
102
103 //Macro Redesbaste
104 MACRO REDESABASTE
105
106 INFOBOX CLOSE
107 INFOBOX NEW "Percurso da Macro"
108 INFOBOX STYLE "NORMAL"
109 INFOBOX STATE "auto_newline" TRUE
110
111 INFOBOX APPEND "Desbaste"
112 INFOBOX APPEND "Redesbaste"
113 INFOBOX APPEND " > TOPO"
114 INFOBOX APPEND "Z Constante geral"
115 INFOBOX APPEND "Acabamento plano"
116
117 INFOBOX STATE "auto_newline" FALSE
118
119 //Macro Acabamento Pré-Frisos
120 MACRO RASTER_3D_OFFSET
121
122 INFOBOX CLOSE
123 INFOBOX NEW "Percurso da Macro"
124 INFOBOX STYLE "NORMAL"
125 INFOBOX STATE "auto_newline" TRUE
126
127 INFOBOX APPEND "Desbaste"
128 INFOBOX APPEND "Redesbaste"
129 INFOBOX APPEND "Topo"
130 INFOBOX APPEND " > Z CONSTANTE GERAL"
131 INFOBOX APPEND "Acabamento plano"
132
133 INFOBOX STATE "auto_newline" FALSE
134
135 FILE OPEN C:\dcam\temp_repeticao.txt FOR WRITE as var_repeticao
136 INT $contador = 0
137 bool $nova_contorno = 1
138 FILE WRITE $nova_contorno TO var_repeticao
139 FILE WRITE $contador TO var_repeticao
140 FILE CLOSE var_repeticao
141
```

Figura 56 - Excerto do código da macro de estratégia para eletrodos do tipo friso.

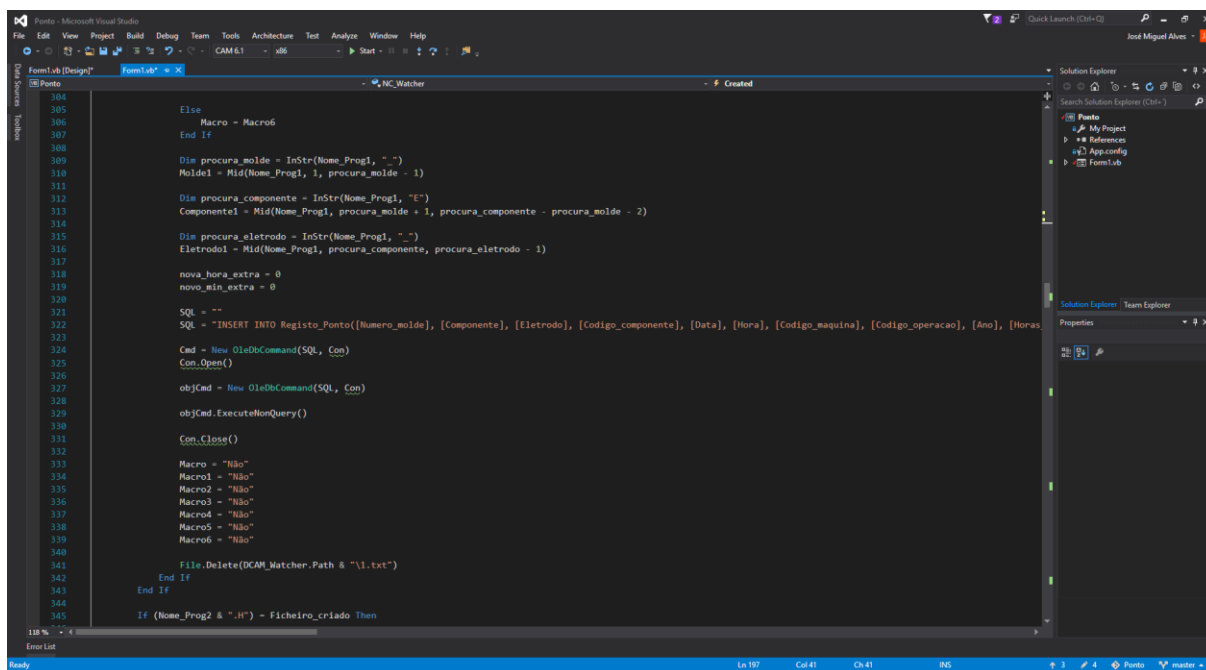
Anexo D - Programa de controlo de tempo de maquinagem

Otimização da programação da célula de eletrodos no grupo Simoldes



```
169 Macro = "Não"
170 Inicio_generico = "Não"
171 Rodar = "Não"
172 ProgramaNC = "Não"
173 Simulacao = "Não"
174 MudarGap = "Não"
175 Macro6 = "Não"
176
177 Dim Ficheiro_criado = e.Name
178
179 If (Nome_Prog1 & ".H") = Ficheiro_criado Then
180
181     If File.Exists(NC_Watcher.Path & "\" & Nome_Prog1 & ".H") Then
182
183         Hora_Final = Now
184         Duracao1 = DateDiff(DateInterval.Minute, Hora_Inicial, Hora_Final)
185         DuracaoSeg1 = DateDiff(DateInterval.Second, Hora_Inicial, Hora_Final)
186         Hora1 = DateDiff(DateInterval.Hour, Hora_Inicial, Hora_Final)
187         Minuto1 = Duracao1 - (60 * Hora1)
188         Segundo1 = DuracaoSeg1 - (Minuto1 * 60) - (Hora1 * 60 * 60)
189
190         Using sr As StreamReader = New StreamReader(DCAM_Watcher.Path & "\1.txt")
191             Nome_Prog1 = sr.ReadLine
192             Macro1 = sr.ReadLine
193             Macro2 = sr.ReadLine
194             Macro3 = sr.ReadLine
195             Macro4 = sr.ReadLine
196             Macro5 = sr.ReadLine
197             Macro6 = sr.ReadLine
198             sr.Close()
199         End Using
200
201         If Macro1 = "Inicio_generico" Then
202             Inicio_generico = "Sim"
203         ElseIf Macro1 = "Rodar" Then
204             Rodar = "Sim"
205         ElseIf Macro1 = "Programa NC" Then
206             ProgramaNC = "Sim"
207         ElseIf Macro1 = "Simulacao" Then
208             Simulacao = "Sim"
209         ElseIf Macro1 = "Mudar GAP" Then
210             MudarGap = "Sim"
211         End If
212     End If
213 End If
```

Figura 57 - Excerto do código do programa de controlo de tempo de programação.



```
304
305 Else
306     Macro = Macro6
307 End If
308
309 Dim procura_molde = InStr(Nome_Prog1, ".")
310 Moldel = Mid(Nome_Prog1, 1, procura_molde - 1)
311
312 Dim procura_componente = InStr(Nome_Prog1, "E")
313 Componentel = Mid(Nome_Prog1, procura_molde + 1, procura_componente - procura_molde - 2)
314
315 Dim procura_eletrodo = InStr(Nome_Prog1, ".")
316 Eletrodo1 = Mid(Nome_Prog1, procura_componente, procura_eletrodo - 1)
317
318 nova_hora_extra = 0
319 novo_min_extra = 0
320
321 SQL = ""
322 SQL = "INSERT INTO Registo_Ponto([Numero_molde], [Componente], [Eletrodo], [Codigo_componente], [Data], [Hora], [Codigo_maquina], [Codigo_operacao], [Ano], [Horas])"
323
324 Cmd = New OleDbCommand(SQL, Con)
325 Con.Open()
326
327 objCmd = New OleDbCommand(SQL, Con)
328
329 objCmd.ExecuteNonQuery()
330
331 Con.Close()
332
333 Macro = "Não"
334 Macro1 = "Não"
335 Macro2 = "Não"
336 Macro3 = "Não"
337 Macro4 = "Não"
338 Macro5 = "Não"
339 Macro6 = "Não"
340
341 File.Delete(DCAM_Watcher.Path & "\1.txt")
342 End If
343 End If
344
345 If (Nome_Prog2 & ".H") = Ficheiro_criado Then
```

Figura 58 - Excerto do código do programa de controlo de tempo de programação.

Anexo E - Manual de Macros

Manual de Macros

MACROS PARA PROGRAMAÇÃO CAM DE ELÉTRODOS

JOSÉ MIGUEL ALVES

Índice

1	Introdução	1
2	Utilização de Macros	1
2.1	Barra de ferramentas	1
2.2	Menu de usuário	2
2.3	Atalhos de teclado	2
3	Macros Simples.....	3
3.1	Importar modelos/projetos	3
3.2	Criar bloco.....	4
3.3	Rodar peça	6
3.4	Programa NC	6
3.5	Mudar do gap de erosão	7
3.6	Espelhar percurso	8
3.7	Erro Ficheiro Temp / Delete TEMP Files	9
3.8	Simulação.....	10
4	Macros de estratégia.....	10
4.1	Parede.....	11
4.2	Frisos	14
4.3	Caixa	15
4.4	Ponta Inclínada	16
4.5	Pino.....	17
4.6	Grelha	17

1 Introdução

Este manual tem como objetivo principal fornecer uma explicação detalhada do funcionamento das macros introduzidas no PowerMILL para um melhor aproveitamento das funções deste software.

As macros serão divididas em dois grupos:

1. Macros simples
2. Macros de estratégia

As primeiras focam-se em realizar tarefas repetitivas aplicadas em todos ou em grande parte dos projetos CAM, aumentando assim a produtividade e eliminando a repetibilidade de funções no PowerMILL. As segundas têm como objetivo aplicar estratégias de maquinagem consoante o tipo de eletrodo a maquinar.

2 Utilização de Macros

As macros desenvolvidas podem ser acedidas de 3 formas: barra de ferramentas, menu de usuário e atalho de teclado.

2.1 Barra de ferramentas

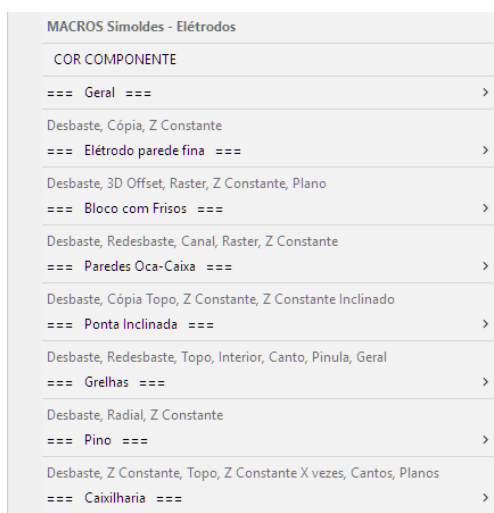
A barra de ferramentas presente na interface gráfica do PowerMILL foi introduzida de modo a facilitar o acesso às macros. A barra de ferramentas é apresentada abaixo. Esta pode ser colocada onde preferir na área de trabalho do PowerMILL utilizando apenas o rato.



Cada ícone da barra será introduzido aquando da explicação de cada uma das macros.

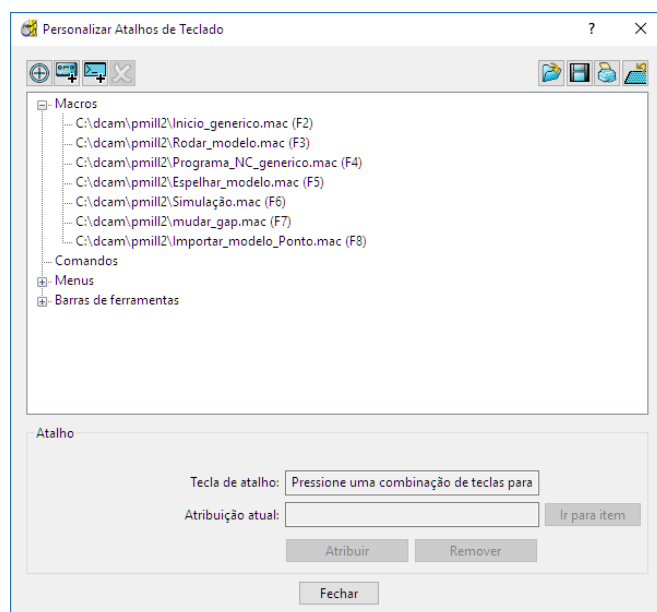
2.2 Menu de usuário

O segundo método de utilização de macros é através do menu de usuário, acessível com um clique de botão direito do rato no explorador do PowerMILL. O menu é semelhante ao apresentado na imagem que se segue.



2.3 Atalhos de teclado

Por fim, existem atalhos de teclado para as macros simples. As macros estão associadas às teclas “F” do teclado. Pode encontrar a configuração base destes atalhos na figura abaixo.



Caso deseje, estes atalhos podem se editados a seu gosto; para tal, basta aceder ao menu de *Ferramentas* e clicar na opção *Personalizar atalhos de teclado*.

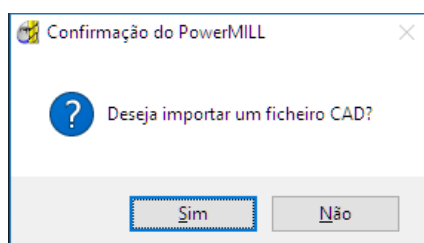
3 Macros Simples

3.1 Importar modelos/projetos

A macro de importação de modelos facilita a localização e importação destes visto que, através da introdução de dois parâmetros, sigla da empresa (ex: SA) e número de molde (ex: 8000), serão listados todos os elétrodos referentes a esse molde.

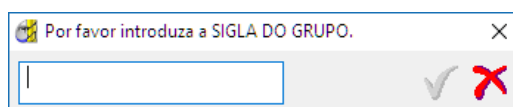
Esta macro não está acessível através da barra de ferramentas, podendo apenas ser utilizada através da tecla “F8” ou do menu de usuário. Esta encontra-se também associada à abertura de uma nova sessão de PowerMILL.

A primeira mensagem que irá receber ao utilizar esta macro será para optar por importar um modelo ou um projeto através da seguinte janela.

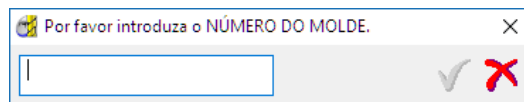


Caso selecione “Sim”, irá optar por importar um ficheiro CAD; caso opte por seleccionar “Não”, irá importar um projeto.

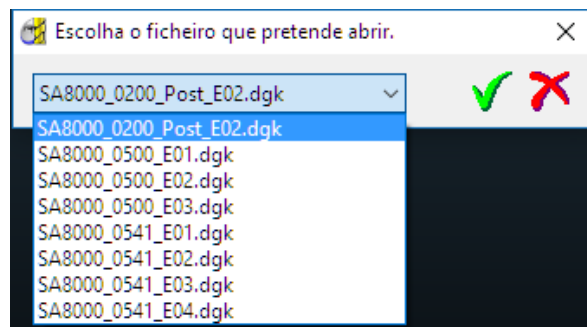
Em ambos os casos as janelas seguintes serão iguais; em primeiro lugar, deve definir a sigla da empresa (ex: SA; IMA; MDA) sempre em letras maiúsculas, numa janela igual à apresentada.



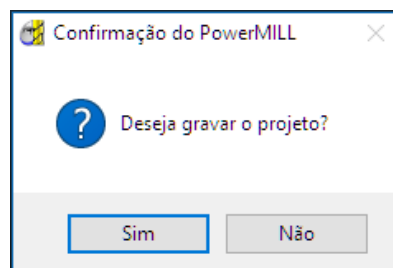
Em seguida define o número do molde na janela seguinte.



Com a informação do grupo e do número do molde, a macro faz uma busca de todos os modelos ou projetos desse molde, listando-os numa janela semelhante à seguinte.



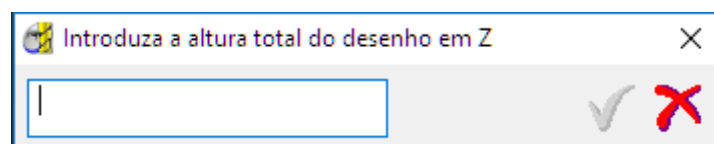
Por fim, deve decidir se pretende ou não gravar o projeto naquele momento.



3.2 Criar bloco

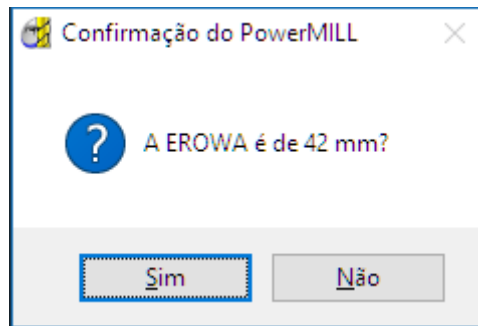
A macro de criação de bloco deve ser aplicada em todos os projetos visto que minimiza o tempo de criação de um bloco, evitando cálculos para determinar as dimensões em Z do mesmo. Esta macro pode ser utilizada clicando em , presente na barra de ferramentas ou utilizando a tecla "F2".

A macro inicia-se mostrando a seguinte janela.



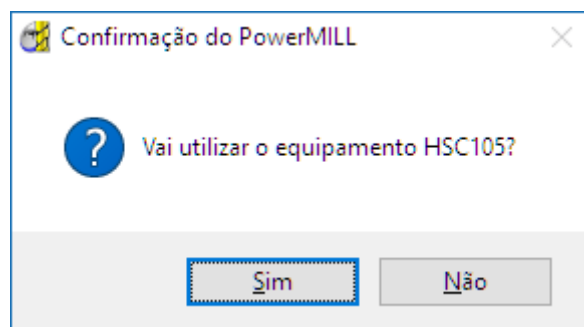
Aqui o utilizador deve introduzir o valor de altura total, base + grafite, presente na folha do eléctrodo. Posteriormente deve clicar em  ou utilizar a tecla *Enter*.

O passo seguinte será definir a base EROWA que irá utilizar numa janela igual à seguinte.



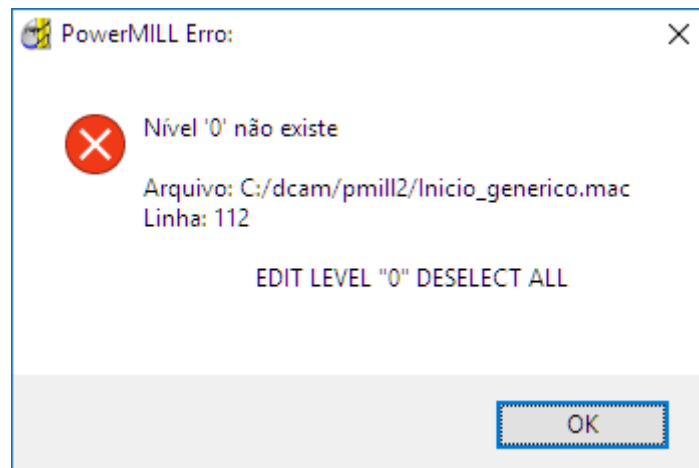
Aqui deve seleccionar a opção “Sim” caso a base seja de 42mm. Se a base for de 45 mm, deve seleccionar a opção “Não”.

Por fim deve seleccionar o equipamento que irá utilizar através da seguinte janela.



Se escolher a opção “Sim”, a macro irá ativar o plano de trabalho da máquina HSC105; caso escolha “Não”, será ativado o plano de trabalho HSC55.

Ter em atenção: De forma a conseguir o correto funcionamento da macro é necessário que o modelo CAD tenha um nível “0” que contenha apenas a base EROWA; caso contrário, irá receber uma mensagem de erro semelhante à seguinte.



Se obter esta mensagem de erro terá de definir o bloco manualmente.

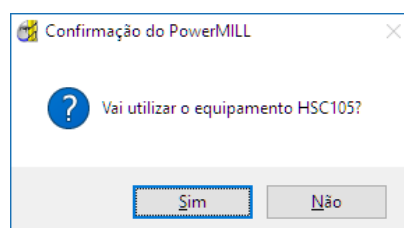
3.3 Rodar peça

A seguinte macro tem o intuito de rodar o modelo 90° para os casos em que este não se encontra alinhado segundo a norma existente para maquinagem. Pode aplicar esta macro utilizando o ícone  ou a tecla “F3”, que aplica uma rotação de 90° em torno do eixo do Z.

3.4 Programa NC

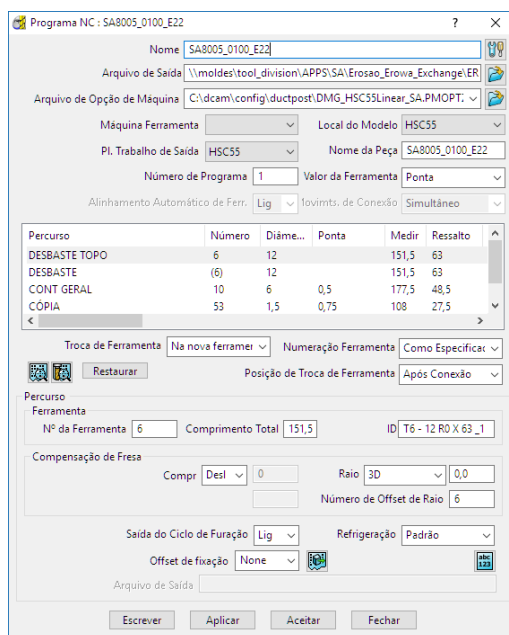
Esta macro cria um programa NC com o nome do modelo e todos os percursos realizados na sessão do PowerMILL. Para além de criar o programa NC, esta seleciona a pasta de saída, o pós-processador correto e os planos de trabalho necessários. Pode aplicar esta macro clicando no ícone da barra de ferramentas  ou utilizando a tecla “F4”.

Quando inicia a macro, terá de definir qual é a máquina em qual o eletrodo será maquinado; para tal, utilizará a janela que a macro cria, mostrada abaixo.



Se desejar que o eletrodo seja maquinado na máquina HSC105, deverá responder “Sim”; caso o eletrodo seja maquinado na máquina HSC55, deve responder “Não”.

Após este passo, será aberta a janela do programa NC já com todas as configurações definidas para a respectiva máquina e os percursos introduzidos, tal como mostra a figura seguinte.

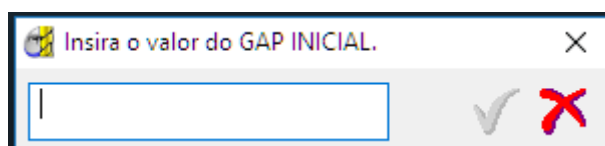


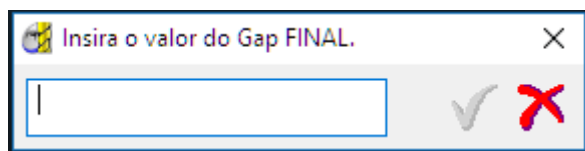
No caso de ser escolhida a máquina HSC55, será ainda importada a máquina ferramenta com o intuito de realizar uma simulação.

3.5 Mudar do *gap* de erosão

A macro de mudança de *gap* de erosão altera o *gap* de cada estratégia de forma a facilitar a criação de eletrodos de desbaste e acabamento. Para aplicar esta macro pode utilizar o ícone  ou a tecla “F7”.

Ao iniciar a macro serão mostradas duas janelas iguais às apresentadas abaixo. Na primeira deve introduzir o valor atual do *gap* e, na segunda, deve introduzir o *gap* que pretende que o novo projeto apresente.





É de notar que a macro só altera os percursos que apresentem *gaps* inferiores a 0, mantendo assim as estratégias como desbastes ou redesbaste inalteradas.

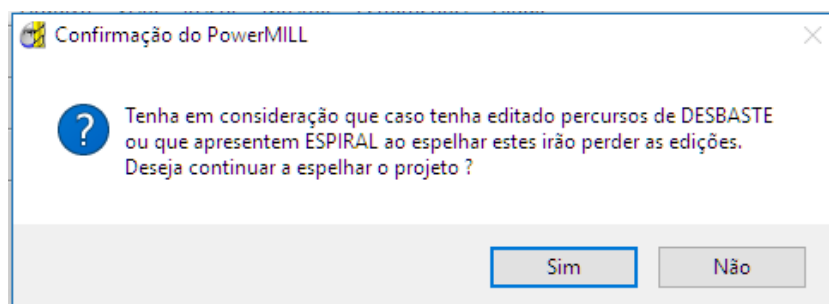
3.6 Espelhar percurso

Com o objetivo de impedir a repetibilidade de operações quando se pretende espelhar um projeto, foi criada uma macro que realiza este processo. Para além de aplicar a opção de espelhar projetos já presente no PowerMILL, esta é capaz de gravar o projeto original e o projeto espelhado com o sufixo ‘_ESQ’.

Visto que por vezes existem percursos que, após espelhamento necessitam de intervenções, a macro faz uma pausa para que se possa aplicar as alterações necessárias para que então se possa prosseguir para a criação de um programa NC.

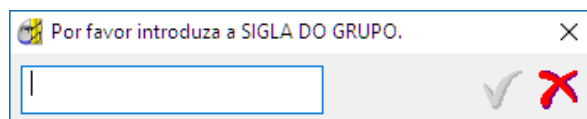
Esta macro pode ser aplicada utilizando o ícone  ou da tecla “F5”.

Ao iniciar esta macro, é mostrada uma mensagem de aviso igual à seguinte.

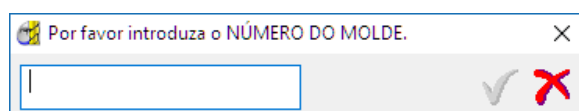


Esta mensagem serve como uma lembrança para os percursos que podem apresentar problemas a espelhar.

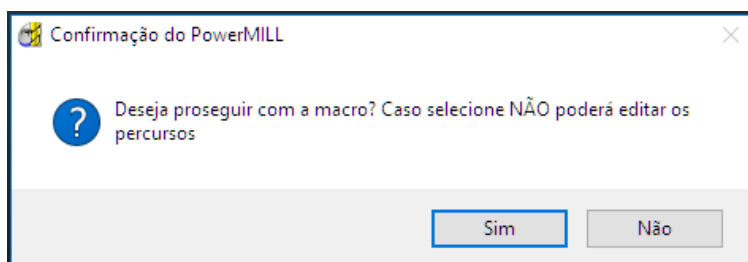
De seguida são apresentadas duas janelas. Em primeiro lugar, a janela seguinte.



Nesta janela deverá introduzir a sigla do grupo (ex: SA; IMA; MDA) sempre em letras maiúsculas e clicar na tecla de *Enter* ou no símbolo . Em seguida deve preencher a janela apresentada abaixo com o número do molde e voltar a confirmar a sua seleção.



Após a introdução dos dados o projeto será espelhado e, de forma a poder editar os percursos que poderão ter erros durante o processo de espelhamento, pode utilizar a janela seguinte.



Aqui, caso escolha a opção “Sim”, a macro continua normalmente. Se escolher a opção “Não”, a macro faz uma pausa e o utilizador terá a oportunidade de editar os percursos, retomando em seguida a macro.

Por fim, o novo projeto de maquinagem será gravado e criado um programa NC com todos os percursos espelhados e o correto plano de trabalho.

3.7 Erro Ficheiro Temp / Delete TEMP Files

Na eventualidade de ocorrerem erros relacionados com variáveis ou ficheiros temporários, deve utilizar as duas macros presentes na barra de tarefas ou no menu do usuário, denominadas: “Erro Ficheiro Temp” ou “Delete TEMP Files”, com os símbolos  e , respetivamente.

3.8 Simulação

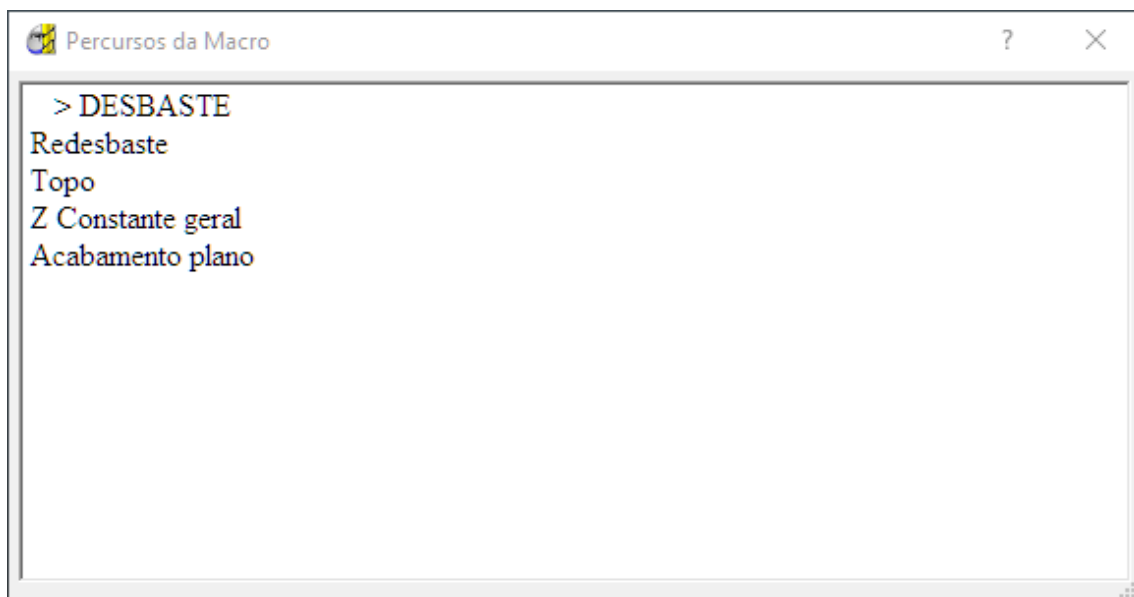
A macro de simulação possibilita simular todos os percursos de forma a averiguar possíveis colisões na máquina HSC55.

Para aplicar esta macro, basta clicar no ícone  ou utilizar a tecla “F6”.

Esta macro é totalmente automática, não necessitando de qualquer intervenção do utilizador para operar. Ao aplicar a macro, esta irá importar o simulador da máquina HSC55, abrir a janela de colisões e simular todos os percursos programados.

4 Macros de estratégia

Todas as macros de estratégia contêm a criação de um bloco de maquinagem e a criação de um programa NC. Estas macros apresentam várias janelas onde o utilizador deve introduzir dados e/ou definir parâmetros. De forma a facilitar a aprendizagem e compreensão das macros, estas, numa fase inicial, irão apresentar uma janela de acompanhamento que mostra os passos ou estratégias que a macro irá executar. Na figura seguinte é possível ver um exemplo desta janela.



4.1 Parede

Para produzir este tipo de eletrodo são necessárias 3 estratégias: desbaste, *raster* e Z constante. Esta macro é aplicada com o intuito de produzir eletrodos semelhantes aos apresentados na figura seguinte. Para este efeito, utiliza-se o ícone  da barra de ferramentas ou o menu de utilizador.

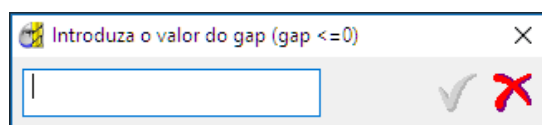


A macro está organizada da seguinte forma.



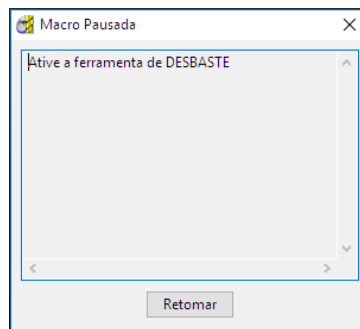
Os diferentes passos serão explicados nos pontos que se seguem.

A macro de parede inicia-se pedindo ao utilizador o valor do *gap* para o eletrodo através da janela seguinte.

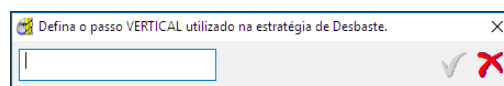


Tenha em atenção que este valor terá de ser negativo. Em seguida será aplicada a macro simples de bloco, descrita anteriormente.

A primeira estratégia a ser definida será então o desbaste. O utilizador deve ativar a ferramenta que pretende quando é apresentada a seguinte janela.

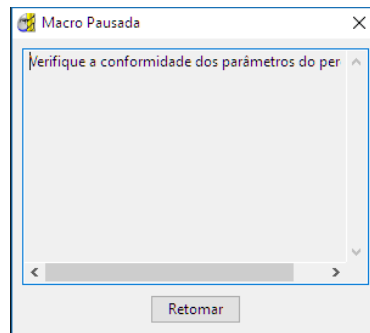


Neste ponto pode ativar várias ferramentas para analisar qual será a melhor para a estratégia de desbaste. Quando tiver escolhido e ativado a ferramenta que pretende, deve clicar em “Retomar” na janela da macro. O passo seguinte será definir o passo vertical de desbaste, utilizando a janela seguinte.



Internamente a macro calcula o passo lateral como sendo 30% do diâmetro da ferramenta escolhida, define a sobreespessura vertical e axial, calcula as alturas de segurança, define as entradas, saídas e ligações e, caso esteja a utilizar uma base de dados de ferramentas, as velocidades serão automaticamente utilizadas. De forma a permitir a verificação de todos os

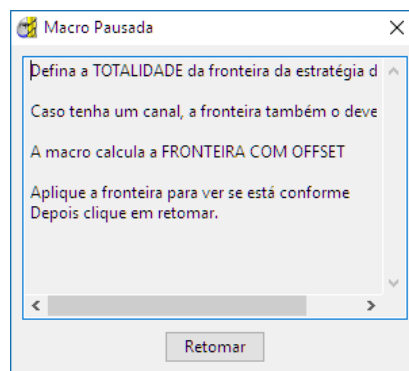
parâmetros da estratégia de desbaste, a janela de percurso é mostrada juntamente com a seguinte janela.



Após verificar a conformidade dos parâmetros do percurso, deve clicar em “Retomar” na janela da macro.

Em seguida, é aplicada uma estratégia de *raster*. É novamente mostrada uma janela de escolha de ferramenta, semelhante à apresentada na estratégia de desbaste.

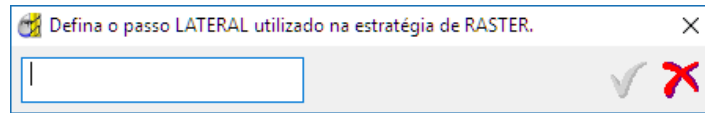
Dada a necessidade de uma fronteira na estratégia de *raster*, a macro auxilia a criação de uma nova fronteira e a seguinte janela é apresentada.



Simultaneamente à apresentação da janela acima, também é mostrado o formulário de definição de fronteira onde o utilizador deve apenas definir a

fronteira, visto que a macro realiza um *offset* desta de acordo com o raio da ferramenta.

Em semelhança à estratégia de desbaste, na estratégia *raster* é pedido o passo lateral na seguinte janela.



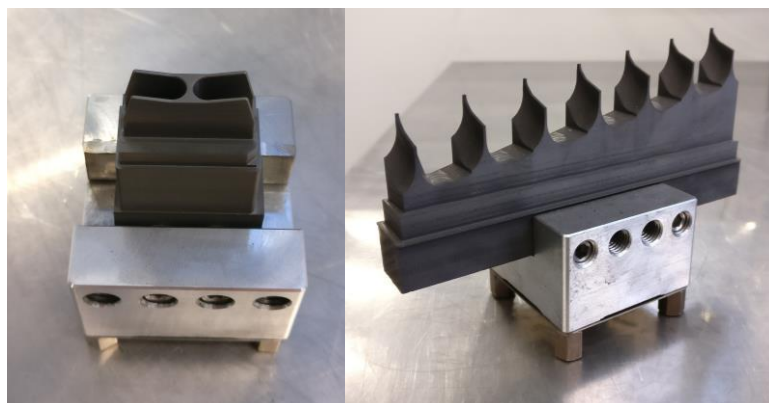
Por fim, é apresentada a janela de percurso para que o utilizador tenha uma última oportunidade de verificar os parâmetros.

A última estratégia aplicada é a de Z constante, que repete os passos das estratégias anteriores, pedindo a ativação de ferramenta e o passo vertical.

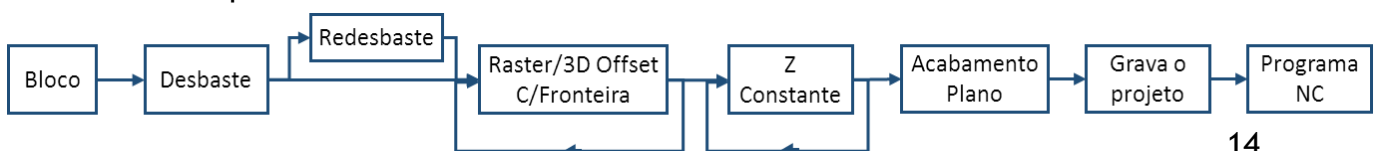
A parte final da macro consiste na criação do programa NC com os percursos criados.

4.2 Frisos

Esta macro é baseada na macro de parede, mas com alguns percursos adicionais. Esta deve ser aplicada a elétrodos semelhantes aos mostrados nas imagens seguintes, utilizando o ícone  da barra de tarefas ou o menu de utilizador.



O fluxograma seguinte mostra de forma mais simples os passos que a macro de frisos aplica.

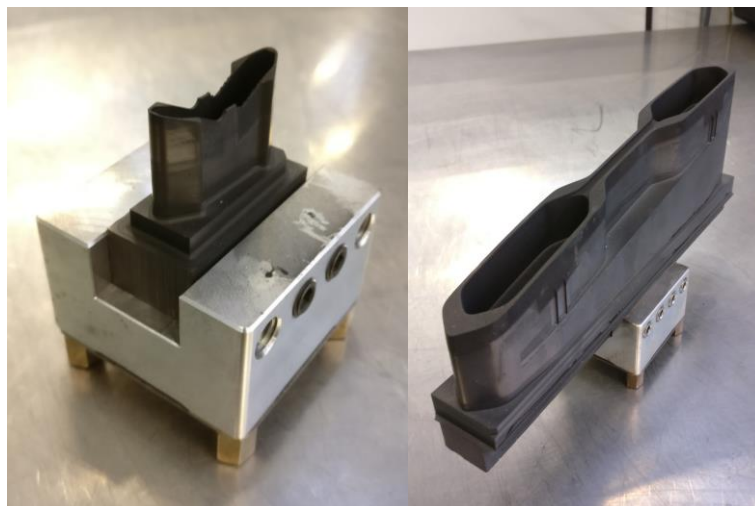


As principais diferenças entre a macro de frisos e a macro de parede é que a primeira possibilita a aplicação de uma estratégia de redesbaste e tem a capacidade de aplicar várias estratégias de acabamento *raster/3D offset* e *Z* constante.

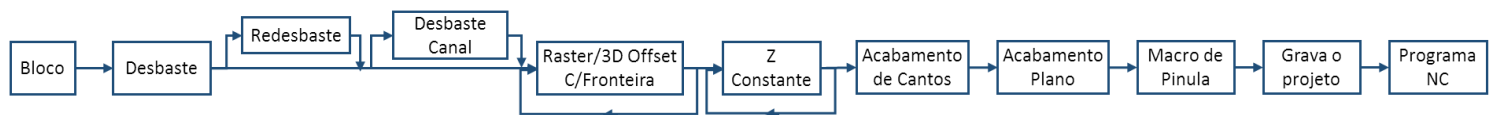
As janelas que são mostradas ao utilizador nesta macro são semelhantes às exemplificadas anteriormente.

4.3 Caixa

A macro de caixa é aplicada com o objetivo de produzir elétrodoes semelhantes aos ilustrados abaixo. Para tal, utiliza-se o ícone  apresentado na barra de tarefas ou recorre-se ao menu de utilizador.



No fluxograma seguinte é possível consultar a sequência e percursos aplicados pela macro.



Nesta macro pode aplicar um desbaste a um possível canal que o elétrodo tenha, como no elétrodo da direita da figura acima e, caso seja necessário, a macro pode aplicar estratégias de acabamento para uma pínula.

As janelas mostradas durante a aplicação da macro são semelhantes às da macro de parede.

4.4 Ponta Inclinada

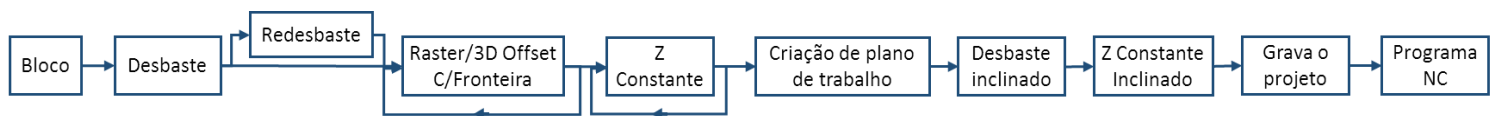
A macro de ponta inclinada possibilita a obtenção de eletrodos semelhantes aos apresentados na figura seguinte. Para tal, utiliza-se o ícone



apresentado na barra de tarefas ou recorrendo ao menu de utilizador.



O fluxograma apresentado mostra a sequência de estratégias aplicadas pela macro.

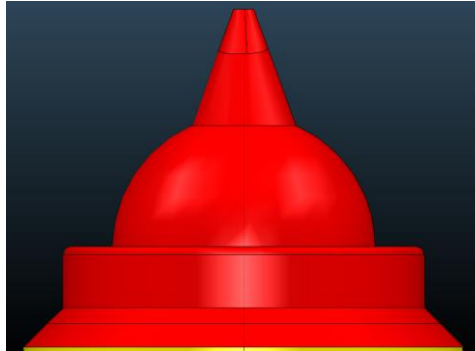


Nesta macro existe a possibilidade de aplicar uma estratégia de redesbaste e a capacidade de criar múltiplas estratégias de *raster/3D offset* e Z constante. A macro possibilita depois a criação de um novo plano de trabalho através de uma superfície selecionada. Por fim, são criadas estratégias de desbaste e Z constante na zona inclinada.

Tal como nas macros anteriores, as janelas mostradas durante o decorrer da macro são semelhantes às da macro de parede.

4.5 Pino

A macro de pino deve ser aplicada a casos onde o elétron se assemelhe ao seguinte, utilizando o ícone  da barra de tarefas ou através do menu de utilizador.



O fluxograma seguinte mostra as estratégias aplicadas pela macro.



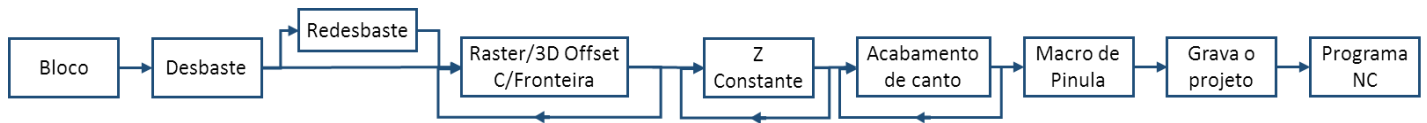
A principal diferença entre esta macro e a macro de parede é a substituição da estratégia de *raster* por uma estratégia de acabamento radial, seguindo-se um acabamento Z constante à sua base.

4.6 Grelha

A macro de grelha tenta simplificar o processo de criação de um programa de maquinaria para a obtenção de uma grelha semelhante às apresentadas abaixo. Para aplicar esta macro, deve utilizar o ícone  presente na barra de ferramentas ou recorrer ao menu de utilizador.



O fluxograma seguinte apresenta o seguimento de aplicação das estratégias utilizadas por esta macro.



Esta macro é, de certa forma, uma combinação de todas as anteriores, tendo todas as funções anteriores e a capacidade de aplicar múltiplas estratégias de acabamento como *raster*/3D offset, Z constante e acabamento de canto.