



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Benjamin Morton-Hicks Camacho

Protocolo de Trabalho para o Haas Next Generation Control



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Benjamin Morton-Hicks Camacho

**Protocolo de Trabalho para o Haas Next
Generation Control**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Área de Especialização em Manufatura Avançada

Trabalho efetuado sob a orientação do:

Professor Doutor Hélder Jesus Fernandes Puga

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição-NãoComercial

CC BY-NC

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Com a apresentação deste documento, que simboliza o fim da minha jornada académica, não consigo ficar indiferente quando penso em quem agradecer.

Primeiramente agradeço a todos os professores pelos ensinamentos e orientações que me transmitiram durante o meu percurso académico, aos alunos de doutoramento, Inês Gomes, José Grilo e Diogo Lopes, que não hesitavam em me ajudar sempre que surgia alguma dúvida e ao mesmo tempo deixaram-me logo à vontade mal entrei pela primeira vez no laboratório. E, claro, ao meu orientador, o professor Hélder Puga, tanto pela orientação como também pela paciência diária de lidar com as minhas dúvidas e incertezas.

Segundamente a todos os meus amigos que fizeram parte desta etapa, aos meus amigos que conheci na Universidade que me integraram logo nos novos ares de Portugal Continental e quase que me faziam esquecer que estava a 1500 km de casa. E ainda aos meus amigos da Madeira, não só pelo anos de companhia mas pelo apoio que me davam durante todo este processo de escrita, em específico o Miguel Pereira, Francisco Fernandes e Ricardo Caldeira que tiveram ao meu lado a maior parte do tempo em que escrevia este documento.

Deixando o mais importante para o fim, à minha família inteira mas em específico ao Paulo Camacho, à Luísa Camacho e Zoe Camacho, sem eles tenho a certeza que não era um terço da pessoa que sou hoje, agradeço pelos conselhos e pelo amor que me deram nestes 23 anos de vida. Espero que esta tese marque o início do caminho (longo) para tentar retribuir tudo o que fizeram por mim.

Estranho pensar que terminou a minha jornada e é com um sorriso que entrego esta tese, com o mesmo sentimento de felicidade e de curiosidade do quando cheguei, com os meus 17 anos, a Guimarães pela primeira vez.

Obrigado.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

STATEMENT OF INTEGRITY

I declare that I have acted with integrity in the preparation of this academic work and confirm that I have not resorted to the practice of or any form of misuse or falsification of information or results in any of the stages leading to its preparation.

I further declare that I know and that I have respected the Code of Ethical Conduct of Minho's University.

Universidade do Minho, 31 de janeiro de 2023

RESUMO

Esta dissertação tem como objetivo decifrar todas as funcionalidades do novo controlador da Haas, o Next Generation Control, controladora que é utilizada para o controle de processos de maquinagem utilizando máquinas CNC, ou seja, não a descrever, mas também informar o leitor acerca de todas as suas funcionalidades, enunciando os componentes principais e os diversos setores presentes no dispositivo. Para complementar este protocolo de trabalho, as informações teóricas culminarão numa componente prática de aplicação direta dos conhecimentos previamente adquiridos no desenvolvimento de um processo de maquinagem.

Inicialmente enquadra-se brevemente o leitor com informações acerca do passado das duas grandes áreas abordadas neste documento, a maquinagem CNC e a companhia “Haas Automations”, a conveniência destes tópicos incidem na maquinagem CNC ser o processo de produção utilizada na aplicação da controladora e a “Haas Automations” ser o fabricante do dito dispositivo. Em relação aos tópicos deste tipo de maquinagem tem-se diversas informações como os tipos de máquinas existentes, as etapas a considerar na preparação para este tipo de produção e ainda os tipos de operações mais comuns utilizando este método.

Uma análise detalhada da controladora em si também está incluída nesta dissertação onde, recorrendo a figuras informativas, é explicado a função de cada área de trabalho que está dividida em oito setores diferentes, ditas áreas que desempenham uma função importante e insubstituível na concretização desejada do processo geral de maquinagem. Consolida-se esta informação abordando o código geralmente utilizado na maquinagem CNC, o código-G, código este que será também estudado na componente prática devido a ser portador da informação acerca dos detalhes da operação (sequências de corte, detalhes de ferramentas, entre outros).

Por fim, é utilizado um exemplo prático com intuito de aplicar a informação obtida previamente num contexto real, onde são evidenciadas duas peças com características e modos de produção diferentes, para o manuseamento completo da controladora de modo a qualquer operador que siga os passos enunciados consiga completar com sucesso a produção.

PALAVRAS-CHAVE

NEXT GENERATION CONTROL, HAAS AUTOMATIONS; MAQUINAGEM CNC; CÓDIGO-G

ABSTRACT

This dissertation aims to decipher all the functionalities of the new Haas controller, the Next Generation Control, a controller that is used for the control of machining processes using CNC machines, the goal is to not only describe, but also inform the reader of all its functionalities, listing its main components and the various sectors present in the device. To complement this work protocol, the theoretical information will culminate in a practical component of direct application from knowledge previously acquired about the development of a machining process.

To start with the reader is given information about the background of the two major areas addressed in this document, CNC machining and the company "*Haas Automations*", the convenience of these topics focus on CNC machining being the production process used in the application of the controller and "*Haas Automations*" being the manufacturer of this device. In relation to the topics of this type of machining, we have various information points, such as the type of existing machines, the steps to consider in the preparation for this type of production and also the most common types of operations whilst using this method.

A detailed analysis of the controller itself is also included in this dissertation, when using informative figures, the function of each work area is explained, and is divided into eight different sectors, such areas play an important and irreplaceable role in the desired achievement of the overall machining process. This information is consolidated by addressing the code generally used in CNC machining, the G-code, this code will also be studied in the practical component because it carries information about the details of operation (cutting sequences, tooling details, among others).

Finally, a practical example is used with the intention of applying the information previously obtained in a real life context, where two parts with different characteristics and production modes are shown, for the complete handling of the controller so that any operator who follows the stated steps can successfully complete the production.

KEYWORDS

NEXT GENERATION CONTROL; HAAS AUTOMATION; CNC MACHINING; G-CODE

ÍNDICE

Agradecimentos	ii
Resumo.....	iv
Abstract	5
Índice	6
Índice de Figuras.....	10
Índice de Tabelas.....	13
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	15
1. Introdução.....	16
1.1. Preâmbulo	16
1.2. Apresentação do Problema	16
1.3. Motivação.....	17
1.4. Objetivos.....	17
1.5. Estrutura da Dissertação	18
2. Evolução dos sistemas CNC.....	21
2.1. Introdução	21
2.2. Conceitos Primordiais.....	21
2.3. Benefícios.....	24
2.4. Comentários e Síntese do Capítulo	24
3. HAAS Automations.....	26
3.1. Introdução	26
3.2. História.....	26
3.3. Cronologia.....	28
3.4. Passado vs Presente	33

3.5.	Comentários e Síntese do Capítulo	39
4.	CNC Overview.....	40
4.1.	Introdução	40
4.2.	Tipos de Máquinas CNC.....	41
4.2.1.	CNC de Três eixos	41
4.2.2.	CNC de Cinco eixos	42
4.2.3.	3-Eixos vs 5-Eixos.....	44
4.3.	Etapas de um Processo de maquinagem CNC.....	45
4.3.1.	Conceção do Modelo CAD.....	45
4.3.2.	CAE	46
4.3.3.	CAM	47
4.3.4.	Preparação da Máquina CNC	47
4.3.4.1.	Limpeza da Máquina e outras Superfícies	48
4.3.4.2.	Carregar as Ferramentas.....	48
4.3.4.3.	Aquecer a Máquina e o Spindle	48
4.3.4.4.	Fazer os Offsets do Comprimento da Ferramenta	48
4.3.4.5.	Definição dos Diâmetros da ferramenta	49
4.3.4.6.	Instalação dos Apertos.....	50
4.3.4.7.	Definir o Zero Peça.....	52
4.3.4.8.	Carregar o Código-G à Máquina CNC.....	52
4.3.4.9.	Verificação do Líquido Refrigerante	53
4.3.5.	Execução da Operação	53
4.4.	Tipos de Operações CNC	53
4.4.1.	Fresagem	54
4.4.2.	Torneamento.....	55
4.5.	Comentários e Síntese do Capítulo	56
5.	Haas Next Generation Control	57
5.1.	Introdução	57
5.2.	Breakdown da Next Generation Control.....	58

5.2.1.	Function Keys	60
5.2.2.	Cursor Keys.....	61
5.2.3.	Display Keys.....	63
5.2.4.	Mode Keys.....	82
5.2.5.	Alpha and Numeric Keys	85
5.2.6.	Jog Keys	86
5.2.7.	Overrides Keys.....	87
5.3.	Comentários e Síntese do capítulo.....	89
6.	Linguagem Máquina (Código G).....	90
6.1.	Introdução	90
6.2.	Leitura do Código-G.....	90
6.3.	Códigos Comuns	91
6.3.1.	G00 – Posicionamento Rápido	92
6.3.2.	G01 – Interpolação Linear	92
6.3.3.	G02 Interpolação Circular no Sentido Horário.....	93
6.3.4.	G03 Interpolação Circular no Sentido Anti-Horário.....	94
6.3.5.	G20 e G21 – Definição das Unidades	95
6.3.6.	G17 G18 e G19 – Seleção do Plano do Código-g.....	95
6.3.7.	G28 Posição Zero.....	96
6.3.8.	G90 e G91 - Modo da Operação.....	97
6.4.	Outros Comandos.....	98
6.4.1.	Código M (Miscellaneous Function Code)	99
6.5.	Exemplo Prático do Código G	100
6.6.	Comentários e Síntese do Capítulo	102
7.	Parte Prática.....	103
7.1.	Introdução	103

7.2.	Preparação do Processo de Maquinagem.....	104
7.2.1.	Seleção do Equipamento.....	104
7.2.2.	Definição das Ferramentas.....	107
7.2.3.	Material da Peça e das Ferramentas.....	108
7.3.	Simulação CAM.....	109
7.3.1.	Componente para a CNC de três Eixos.....	110
7.3.2.	Componente para a CNC de cinco eixos	112
7.4.	Ficha de Fabrico.....	114
7.5.	Interação Homem-Máquina	115
7.5.1.	Setup.....	115
7.5.2.	Código-G.....	117
7.5.3.	Protocolo de Trabalho.....	119
7.5.3.1.	CNC de três eixos	119
7.5.3.2.	CNC de cinco eixos	129
7.6.	Comentários e Síntese do capítulo.....	134
8.	Considerações finais.....	137
8.1.	Conclusões.....	137
8.2.	Perspetivas e Trabalhos Futuros	138
Anexos A – Cronologia dos Produtos da <i>Haas Automations</i>		139
Anexos B – Ficha de Fabrico para a operação a Três eixos.....		141
Anexo C - Ficha de Fabrico para a operação a Cinco eixos		143
Anexo D – Especificações da CNC VF-1		147
Anexo E - Especificações da CNC UMC-750		150
Anexo F – Link de acesso aos Fluxogramas.....		153
Referências Bibliográficas		154

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - a) IBM 602A [3]; b) Jig Borer Suiço [4]	22
Figura 2.2 - <i>Cincinnati Hydro-Tel</i> [5]	23
Figura 3.1 - Haas 5C collet indexer [6]	26
Figura 3.2 - Very First One (VF-1) Vertical Machining Center [6]	27
Figura 3.3 - a) Operação de Torneamento [9]; b) Operação de Fresagem [10]	29
Figura 3.4 - VF-2SS [11]	30
Figura 3.5 - Torno CNC da série ST [8]	31
Figura 3.6 - a) Mesa Rotativa de Supervelocidade HRT 160SS [8]; b) UMC-750 5-eixos [8]	31
Figura 3.7 - a) Centro de Furação/Fresagem DM-1 [8]; b) Haas <i>Bar Feeder</i> [8].....	32
Figura 3.8 - Controladora Haas <i>Next Generation Control</i>	33
Figura 3.9 - Comparação do modelo VF-1 de 1988 e o de 2018 [8].....	34
Figura 3.10 - Demonstração dos eixos numa fresadora de 3-eixos [12]	35
Figura 3.11 - a) Spindle [13]; b) Spindle incorporado numa CNC [14].....	35
Figura 3.12 – <i>Closed Loop Vector Drive</i> [15]	36
Figura 3.13 – Trocador automático de ferramentas de 20 vagas [16]	37
Figura 3.14 - a) Drive do eixo modelo escova DC [17]; b) Drive do eixo modelo AC sem escova com codificador digital [17].....	37
Figura 3.15 - a) Monitor CRT Monocromático de 12 polegadas [18]; b) Monitor LCD de 15 polegadas [18]	38
Figura 3.16 - Recommended Standard 232 (RS232) utilizado no modelo de 1988	39
Figura 3.17 - Comunicação utilizada no modelo atual.a) Ethernet; b) Universal Serial Bus (USB); c) <i>Wi-fi</i>	39
Figura 4.1 - CNC de três eixos [12].....	42
Figura 4.2 - CNC de 5-eixos [12].....	44
Figura 4.3 - Exemplo de um modelo CAD feito no software SolidWorks	46
Figura 4.4 - Sonda da marca Haas [21]	49
Figura 4.5 - Vise da marca <i>Raptor Workholding</i> [22].....	50
Figura 4.6 – a) Representação de um <i>Jig</i> [23]; b) Exemplo real de um <i>Jig</i> [23]	51
Figura 4.7 - Exemplo de um <i>Collet ER 11</i> [24].....	51

Figura 4.8 - Exemplo de um <i>Chuck</i> da marca <i>Atlas Workholding</i> [25]	52
Figura 4.9 - Localizador de arestas da marca <i>STARRETT</i> [26]	52
Figura 4.10 - a) Exemplo de uma fresagem de facejamento [27]; b) Exemplo da fresagem periférica, neste caso a criação de uma ranhura [28].....	54
Figura 4.11 - a) Torneamento Cilíndrico Exterior [29]; b) Torneamento de Faces Exterior [29]; c) Torneamento Cónico Exterior [29]; d) Abertura de Rosca Exterior [29]	55
Figura 4.12 - a) Torneamento Cilíndrico Interior [29]; b) Torneamento de Faces Interior [29]; c) Torneamento Cónico Interior [29]; d) Abertura de Rosca Interior [29]	56
Figura 5.1 - Simulador Next Generation Control do fabricante Haas.....	58
Figura 5.2 - a) Conjunto de botões de controlo manual no lado esquerdo da NGC; b) Conjunto de controlos no lado direito do painel	59
Figura 5.3 - Teclado do Controlador Haas Next Generation Control (NGC) [1]	60
Figura 5.4 – Teclas de Função	60
Figura 5.5 – Teclas de Cursor	62
Figura 5.6 - Esquema da tela de exibição no modo "MEM" [30]	63
Figura 5.7 – Teclas de Visor	64
Figura 5.8 - Separador da Posição dos Eixos.....	65
Figura 5.9 - Offset da Ferramenta (1)	66
Figura 5.10 - Offset da Ferramenta (2)	67
Figura 5.11 - Offset das Ferramentas (3)	68
Figura 5.12 - Offsets de Trabalho.....	69
Figura 5.13 - Mechanisms Torno (1)	70
Figura 5.14 - Mechanisms Torno (2)	71
Figura 5.15 - - Mechanisms Torno (3).....	72
Figura 5.16 - Opções do Bar Feeder.....	72
Figura 5.17 - Mechanisms Fresadora.....	73
Figura 5.18 - Through-Spindle Coolant [31].....	74
Figura 5.19 - Workholding	74
Figura 5.20 - Tool Table	75
Figura 5.21 - Tool Usage	77
Figura 5.22 - ATM (<i>Advanced Tool Management</i>).....	77
Figura 5.23 - Calculadora para funções matemáticas básicas.....	78

Figura 5.24 - Calculadora Fresagem/Torneamento.....	79
Figura 5.25 - Calculadora de Roscagem.....	80
Figura 5.26 - Códigos Ativos.....	81
Figura 5.27 – Teclas de Modo.....	82
Figura 5.28 - Janela do "LIST PROGRAM"	84
Figura 5.29 - a) Teclas Alfabéticas; b) Teclas Numéricas	86
Figura 5.30 – Teclas de Incremento.....	86
Figura 5.31 - Removedor de aparas da marca Haas [32]	87
Figura 5.32 – Teclas de Sobreposição.....	88
Figura 6.1 - Exemplo de Bloco do programa [34]	90
Figura 6.2 - Exemplo de um Código-G [33].....	91
Figura 6.3 - G00 – Posicionamento Rápido [33]	92
Figura 6.4 - G01 – Interpolação Linear [33]	93
Figura 6.5 - G02 – Interpolação Circular no Sentido Horário [33]	94
Figura 6.6 - G03 – Interpolação Circular no Sentido Anti-Horário [33]	95
Figura 6.7 - Diferentes Planos de Trabalho [33]	96
Figura 6.8 - G28 – Zero-Máquina [33].....	97
Figura 6.9 - Diversos Comandos das Funções Preparatórias [34]	99
Figura 6.10 - Exemplo Prático do Código-G [33].....	100
Figura 7.1 - a) Peça maquinada pela CNC de três eixos; b) Desenho Técnico da peça maquinada.....	103
Figura 7.2 - a) Peça maquinada pela CNC de cinco eixos; b) Desenho Técnico da peça maquinada.....	104
Figura 7.3 - Equipamento HAAS VF-1 (<i>Very First One</i>) [6]	105
Figura 7.4 - Equipamento HAAS UMC-750	106
Figura 7.5 - Extrudabilidade relativa nas ligas de alumínio [37].....	109
Figura 7.6 - Catálogo de um fornecedor <i>MetricMetal</i> de barras de liga Al6061 [38] ..	109
Figura 7.7 - Sistema de Fixação.....	110
Figura 7.8 - (a) Definição genérica do sistema de fixação; (b) Definição do stock.....	111
Figura 7.9 - (a) Stock proveniente da fundição; (b) Peça final.....	111
Figura 7.10 - Posicionamento da peça na primeira fixação.....	112
Figura 7.11 - Posicionamento da peça no segundo setup.....	112

Figura 7.12 - (a) Primeiro Setup da peça; (b) Segundo setup da peça	113
Figura 7.13 - Definição do stock da peça	113
Figura 7.14 - Sistema de fixação "Kurt MaxLock™ 5-Axis Vise – PF440" [39].....	114
Figura 7.15 - Representação do segundo setup da peça e da definição do sistema de aperto no <i>software</i>	114
Figura 7.16 - a) Pós-Processamento do primeiro setup para a CNC de três eixos; b) Pós-Processamento do segundo setup para a CNC de três eixos.....	116
Figura 7.17 - a) Pós-Processamento do primeiro setup para a CNC de cinco eixos; b) Pós-Processamento do segundo setup para a CNC de cinco eixos.....	117
Figura 7.18 - Geração com êxito do Código-G	117
Figura 7.19 - Exemplo do Código-G da operação	118
Figura 7.20 - Primeira Etapa do Protocolo de Trabalho	120
Figura 7.21 - Etapa 2 do Protocolo de Trabalho	121
Figura 7.22 - Etapa 3.1 do Protocolo de Trabalho	122
Figura 7.23 - Etapa 3.2 do Protocolo de Trabalho	123
Figura 7.24 - Etapa 3.2.1 do Protocolo de Trabalho	124
Figura 7.25 - Etapa 3.3 do Protocolo de Trabalho	125
Figura 7.26 - Etapa 3.4 do Protocolo de Trabalho	126
Figura 7.27 - Etapa 3.5 do Protocolo de Trabalho	127
Figura 7.28 - Etapa 4 do Protocolo de Trabalho	128
Figura 7.29 - Etapa 5 do Protocolo de Trabalho	129
Figura 7.30 - Diferença 1 no processo da CNC de 5 eixos	130
Figura 7.31 - Primeiro passo na definição do MRZP.....	131
Figura 7.32 - Segundo passo na definição do MRZP.....	131
Figura 7.33 – Terceiro passo na a definição do MRZP	132
Figura 7.34 - Quarto passo na definição do MRZP	133
Figura 7.35 - Ativação do TCPC/DWO.....	134

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Principais características do equipamento Haas VF-1 [35].....	105
Tabela 2 - Principais características do equipamento Haas UMC-750 [36].....	106

Tabela 3 - Ferramentas e Parâmetros de corte para a maquinagem a 3 eixos..... 107

Tabela 4 - Ferramentas e Parâmetros de corte na maquinagem a cinco eixos 107

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

ATC	Automation Tool Changer
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
CNC	Computerized Numerical Controlled
DWO	Dynamic Work Offsets
HSM	High Speed Machining
HMC	Horizontal Machining Center
IMTS	International Machine Tool Show
MRZP	Machine Rotary Zero Points
NC	Numerical Control
SMTC	Side Mount Tool Changer
TCPC	Tool Center Point Control
VMC	Vertical Machining Center
VF-1	Very First One

1. INTRODUÇÃO

1.1. PREÂMBULO

Neste capítulo inicial desta dissertação é apresentado o tema que levou à escrita da mesma, isto é, um protocolo de trabalho para o *Haas Next Generation Control*, uma controladora para uma máquina CNC. Esta controladora não só se responsabiliza pelo automatismo do processo de uma máquina CNC mas também permite ao operador controlar e alterar diversos aspetos antes, durante e depois de uma operação consoante os objetivos finais. Será também apresentada a motivação pelo tema escolhido sendo algo recente e de elevado interesse pessoal que leva à vontade a abranger conhecimentos tanto pelo conceito como também pela funcionalidade, não esquecendo que a controladora é uma ferramenta importante no mundo da manufatura. Por fim uma breve estrutura da dissertação também será incluída neste capítulo.

1.2. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

O novo controlador do “*Haas Automation*” *Next Generation Control* (NGC) é a mais recente evolução para uma maquinaria CNC mais simples para todos os seus operadores. Do modelo antigo para o mais recente de 2017, os engenheiros da Haas quiseram garantir melhorias significativas no seu produto, melhorando a interface do utilizador, navegação mais intuitiva e conectividade mais acessível e melhorada.

A navegação simplificada é, provavelmente, a melhoria mais significativa desta nova gama de controladores, embora tenha as mesmas teclas, organizadas nos oito diferentes setores, teclas de função; teclas de cursor; teclas de visor; teclas de modo; teclas numéricas; teclas alfabéticas; teclas de incremento e teclas de sobreposição, estas agora permitem ao operador aceder diferentes funcionalidades que nos modelos antigos não era possível. As janelas de cada modo também foram reorganizadas e melhoradas com diferentes separadores.

Fora a navegação os ícones presentes na janela “*Help*” são muito mais indicativos e de acesso facilitando a informação acerca de qualquer componente na controladora, para complementar isto, ainda está incluído um manual de operador completo na compra deste equipamento. Foi inserido ainda, pela primeira vez nos produtos da Haas, o “*HaasConnect*”

que permite ao operador estar fora do recinto da máquina e, ao conectar a este serviço, receber informação via SMS ou Email, acerca do estado da operação, tornando o processo de manufatura muito mais conveniente.

A nível de novas funcionalidades foi ainda adicionada no sistema o *“Dynamic Work Offsets”* (DWO) e o *“Tool Center Point Control”* (TCPC) que simplificam bastante a maquinagem de multi-eixos quando utilizando o quarto e o quinto eixo. DWO/TCPC elimina a necessidade de localizar os apertos ou reposicionar a peça constantemente após cada operação, apenas reconhece a posição da peça e cria a trajetória de corte correta.

Estes são poucos dos vários aspetos abordados a fundo nesta dissertação, o tema, como o nome indica, é um Protocolo de Trabalho, o que implicada uma análise pormenorizada dos componentes e funcionalidades da controladora. Daí inicia-se com componentes mais teóricos, mas, posteriormente, esta informação é consolidada por uma vertente prática onde o manuseamento da controladora física é feita com base nas competências adquiridas previamente.

1.3. MOTIVAÇÃO

A motivação para a escolha deste tema veio através do interesse pessoal elevado nesta área de trabalho, sempre tendo um gosto específico pelo código G e máquinas CNC em geral, daí ser relevante saber mais não só acerca do conceito em si como poder desenvolver capacidades ao manusear em primeira pessoa o controlador. Inspira-me ainda mais ao saber que irei aprofundar os meus conhecimentos dos processos de manufatura CNC e também do modo de funcionamento da Haas que é uma das maiores empresas do mercado no que toca a este tipo de equipamento.

1.4. OBJETIVOS

Relativamente aos objetivos da dissertação, é expectável decifrar todas as funcionalidades do controlador numa primeira parte. Ou seja, descrever e dar a entender ao leitor tudo o que o controlador tem para oferecer como os componentes principais, os diferentes tipos de sectores (teclas de função; teclas de cursor; teclas de visor; teclas de modo; teclas numéricas; teclas alfabéticas; teclas de incremento e teclas de sobreposição) e as várias opções e utilidades dentro de cada um destes setores, o afeto das sobreposições

("Overrides") na produção e até a informações mais gerais acerca da maquinagem CNC que complementa as informações acerca do controlador.

Numa segunda parte da dissertação será idealizado um componente que primeiramente passará pela etapa CAM (através do *Fusion 360*) onde será definido estratégias de corte, seleção das ferramentas e os parâmetros de corte (velocidade de corte, avanço e penetração) que após a extração do código-G, este será introduzido no controlador que irá culminar na utilização das funcionalidades do NGC de modo que seja possível a produção correta da peça idealizada.

É esperado que no final deste projeto o *Next Generation Control* seja compreendido e decifrado pelos utilizadores que se possa usar o relatório como um verdadeiro protocolo de trabalho.

1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está dividida em seis capítulos informativos, sem incluir a introdução e a conclusão, dos quais os primeiros cinco consistem em conceitos teóricos e o último numa componente mais prática.

Primeiramente é enunciado a evolução dos sistemas CNC, aqui, está presente a evolução deste tipo de maquinagem desde os primeiros modelos para os atuais, daí o capítulo começa precisamente pela história com os conceitos primordiais, como é que a ideia dos primeiros modelos foi criada e os avanços na concessão da primeira máquina destinada a este tipo de produção, é seguido também pela descrição de alguns dos benefícios que este tipo de maquinagem tem no mundo da engenharia atual.

Segue-se para o próximo capítulo onde, à semelhança do anterior, demonstra a evolução, mas ao invés da maquinagem CNC, da companhia Haas, desde os primeiros modelos criados, até às inovações mais recentes. Inicia-se com um subcapítulo destinado à história da empresa com informações acerca do fundador e dos primeiros protótipos idealizados pela companhia, seguido por uma cronologia de alguns dos feitos conseguidos pela mesma, inicia-se esta cronologia pelo ano de fundação, 1983, até a atualidade. Finaliza-se com um subcapítulo envolvendo as comparações de uma das suas mais notórias gamas de máquinas CNC, a *VF-1*, "*Very First One*". As comparações são feitas entre o primeiro modelo concebido

em 1988 com o modelo mais recente, lançado em 2018, modelo este que ainda é utilizado atualmente.

Feito um enquadramento das duas grandes áreas de estudo, avança-se num terceiro capítulo para uma visão geral da maquinagem em CNC, desde os tipos de máquinas que existem, neste caso abordando apenas os de três e os de cinco eixos e a enunciação das etapas de um processo de maquinagem deste tipo, ou seja, todas as etapas necessárias, para que um operador consiga realizar, com sucesso, um processo utilizando uma máquina CNC. Nestas etapas tem-se a conceção de um modelo CAD, seguido das simulações CAE, posteriormente o CAM, depois a preparação da máquina e por fim a execução da operação. É relevante também mencionar alguns tipos de operações que se pode realizar numa CNC, incidindo mais na fresagem e no torneamento, sendo estas as mais comuns na manufatura.

De seguida, aborda-se a controladora propriamente dita, com uma análise pormenorizada de todos os setores que a constituem, sendo estas, as teclas de função, as teclas de cursor, as teclas de visor, as teclas de modo, as teclas numéricas, as teclas alfabéticas, as teclas de incremento e ainda as teclas de sobreposição. É explicado a função de cada uma destas áreas como também o significado de cada uma das teclas individuais.

No último capítulo teórico é referido a linguagem máquina, ou seja, o tipo de código utilizado em operações CNC, o código-G. É explicado como se procede à leitura deste código e ainda alguns códigos comuns que incorporam um programa de maquinagem. Por fim menciona-se outro tipo de código também utilizado neste tipo de maquinagem o Código-M e termina-se o capítulo com um exemplo prático da leitura de um código-G, com representação gráfica.

O capítulo prático destina-se a incorporar todos os conhecimentos teóricos adquiridos durante a dissertação num exemplo real, para isso foram dados dois exemplos de produção, um utilizando uma CNC de três eixos, e outro utilizando uma CNC de cinco eixos. Primeiro procedeu-se à preparação do processo com a seleção do equipamento, ferramentas e material, e de seguida explicações do CAM através do software "*Fusion 360*". Foi abordado ainda o código-G extraído do software para ambos os processos que culminou na interação Homem-Máquina, o verdadeiro objetivo desta dissertação. Neste subcapítulo final foi apresentado um fluxograma para instruir aos leitores como proceder para a preparação total da controladora para que esta esteja apta para produção.

Há ainda capítulos destinados à bibliografia e anexos, anexos estes que contêm informação adicional acerca de vários tópicos abordados ao longo deste documento.

2. EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS CNC

2.1. INTRODUÇÃO

A grande variedade de produtos disponíveis para os engenheiros atualmente é surpreendente, mas nem sempre foi assim. Houve uma altura em que os componentes metálicos tinham de ser aquecidos, martelados, moldados e manipulados para produzir um simples componente. Houve uma época em que as máquinas primitivas tinham de ser meticulosamente montadas, peça a peça. No entanto, os modernos sistemas CNC de hoje mudaram a forma como os componentes são fabricados, tornando-o um processo mais eficiente e preciso, este tipo de maquinagem mudou muito ao longo da história, provando-se quase tão complexa como os sistemas CNC de hoje.

É exatamente essa evolução que é abordada neste capítulo, atacando pontos desde os primeiros conceitos até aos benefícios deste tipo de manufatura na indústria de engenharia.

2.2. CONCEITOS PRIMORDIAIS

Antigamente, já tinham sido adotados diversos métodos de corte de materiais com recurso a ferramentas de osso, madeira ou mesmo pedra, resultando numa evolução, posteriormente para ferramentas fabricadas em materiais elementares, como o ferro e o bronze. Este período, até ao final do século XVII, o fabrico de navios ou mesmo o fabrico de utensílios básicos para o dia-a-dia seria, através de métodos muito rudimentares, possível através de tais ferramentas operadas manualmente ou mecanicamente. Com a evolução dos tempos, foram introduzidas fontes de energia úteis como a água, o vapor e mais tarde a energia elétrica que levaram ao fabrico de máquinas eletricamente ativadas que, logicamente, substituíram as que tinham uma unidade manual. Assim, uma nova versão da indústria de máquina-ferramentas começou a surgir no final do século XVII e início do século XIX devido ao aparecimento de eletricidade.

Uma das contribuições mais significativas no campo da máquina-ferramenta foi feita por John Wilkinson em 1774, quando desenvolveu uma ferramenta de precisão, para operações de furação em cilindros de motor [1]. Em 1818, Whitney desenvolveu a primeira fresadora que consegue lidar com ranhuras planas em forma de "T" [1]. Durante o século XIX, surgiu um

novo tipo de máquina-ferramenta conhecida como retificadora, que pode realizar vários tipos de operações e alcançar alta qualidade de superfície e tolerâncias reduzidas.

Após estes avanços no desenvolvimento de uma CNC, o primeiro conceito de Controlo Numérico só foi desenvolvido em 1949. John T. Parsons, um pioneiro da computação inicial e também conhecido como "*O Pai da Segunda Revolução Industrial*" depois de receber o primeiro "*Joseph Marie Jacquard Memorial Award*" da Sociedade numérica de Controlo Numérico em 1968, desenvolveu este primeiro conceito de controlo numérico como parte de um projeto de investigação da Força Aérea de "*Massachusetts Institute of Technology*" (MIT) [2]. Num dos laboratórios do instituto, foi construída uma fresadora experimental com o objetivo de utilizar eixos motorizados para a produção de lâminas de helicóptero e peles mais duras para aeronaves.

Antes do MIT colaborar com a empresa, que estava localizada em Michigan, a empresa da "*Parsons Corporation*" começou a trabalhar no seu primeiro sistema. Isto envolveu calcular as coordenadas de um "*airfoil*" usando um multiplicador *IBM 602A*, multiplicador este visível na figura abaixo. Os dados foram então introduzidos usando um *Jig Borer*, uma máquina-ferramenta que permite a localização rápida e precisa dos centros de furos que tinha cartões de alimentação colados a ele. Este foi o precursor do desenvolvimento da programação de máquinas CNC [2].



Figura 2.1 - a) IBM 602A [3]; b) Jig Borer Suíço [4]

A ideia foi desenvolvida, e em 1952 Richard Kegg introduziu a "*Cincinnati Hydro-Tel*", uma fresadora vertical de contorno com cerca de 71 cm, visível na figura 2.2. O protótipo inicial, embora operado com fita adesiva de oito colunas, um leitor de fita adesiva e um sistema eletrónico de controlo do tubo de vácuo, tornou-se um foco para desenvolvimentos futuros [2].

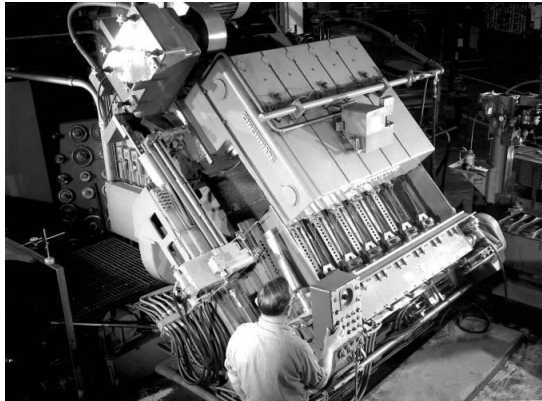


Figura 2.2 - Cincinnati Hydro-Tel [5]

As primeiras máquinas CNC nas décadas de 1940 e 1950 utilizavam fita perfurada, que era então geralmente utilizada nas telecomunicações e no armazenamento de dados. Esta tecnologia foi substituída por tecnologias de computação analógica, seguidamente da década de 1960 à década de 1970, surgiram tecnologias digitais, tornando o processo de produção automatizado e mais eficiente [2].

Embora os tempos tenham evoluído, a máquina-ferramenta rudimentar tem sido sujeita a diversas melhorias, tal como a utilização de múltiplas áreas de corte no processo de corte quando se utiliza uma fresadora. Porém, atualmente ainda há um princípio básico que a máquina-ferramenta convencional ainda dependa, que consiste no material que irá ser sujeito ao corte descreva uma dureza menor da ferramenta de corte.

Ao longo do processo de maquinagem através de métodos convencionais requer que o operador determine a estratégia de corte, configure a máquina, selecione as ferramentas e defina os parâmetros de corte (velocidade de corte, avanço e penetração) com base no desenho do produto acabado pretendido. O operador é responsável pelo manuseamento do equipamento e pelo início do processo de arranque de aparas. Continua o processo até que a peça esteja concluída, altura em que efetuam medições e transcrevem-nas no desenho fornecido. Nestas condições, é típico que a precisão dimensional da peça não sejam os devidos, bem como a qualidade da superfície.

Isto levou a novos desenvolvimentos para as máquinas-ferramentas convencionais, que introduziram técnicas de cópia através da utilização de cames e mecanismos automáticos. Esta precisão aumentada e precisão geométrica da parte maquinada, permitiu a redução da

interferência humana. A introdução da tecnologia de controlo numérico (CN) em 1953 permitiu um processo de maquinação totalmente controlado por computador (CNC), o que resultou em melhorias substanciais nas características geométricas e dimensionais das máquinas quando comparadas com o processo mais convencional [1].

Além disso, ao longo dos últimos quase 70 anos, os avanços no domínio dos processos de maquinação do CNC e das suas máquinas-ferramentas, que foram possíveis através de melhorias nas unidades de controlo, aumentaram a pressão da concorrência internacional e serviram de força motriz para as mudanças nas tecnologias e sistemas de fabrico avançados. Neste cenário específico, o fabrico avançado inclui soluções integradas que não só produzem artefactos físicos, mas também serviços e aplicações informáticas de valor acrescentado [1]. Explora-se ainda as possibilidades de materiais personalizados/reciclados e utilização de processos de fabrico ultra eficientes.

2.3. BENEFÍCIOS

Nas últimas décadas, muitas novas tecnologias, sistemas automatizados e inovações no sistema de controlo foram desenvolvidas para tornar as máquinas CNC mais eficientes, produtivas e rentáveis. Para se manter competitiva, a indústria da maquinação desenvolveu máquinas-ferramentas e ferramentas de corte mais eficientes e satisfatórias, estas, portanto, descrevem um controlo avançado do processo de corte, bem como uma maior flexibilidade.

Felizmente, com objetivo de aumentar a produtividade do processo de maquinação, aperfeiçoar a precisão bem como as características da superfície dos maquinados e ainda maquinar materiais com dureza elevada, é encorajado o uso de processos não convencionais como por exemplo o corte por eletroerosão sendo este o processo mais divulgado e conhecido; a introdução de *“high-speed machining”* (HSM) e também o estudo e desenvolvimento de processos híbridos nomeadamente o torneamento ou fresagem assistida por ultrassons [1].

2.4. COMENTÁRIOS E SÍNTESE DO CAPÍTULO

A criação da maquinação CNC não foi de todo uma tarefa fácil e instantânea, mas graças aos esforços e insistências de muitas pessoas especializadas no assunto, a manufatura atual está em constante desenvolvimento e evolução. Embora a ideia já tenha sido falada há algum

tempo, é dito que a maquinagem CNC ainda é um tipo de maquinagem muito recente e certamente irá ter avanços tecnológicos à medida que o conhecimento dos engenheiros também aumenta.

3. HAAS AUTOMATIONS

3.1. INTRODUÇÃO

A *Haas Automations* é uma companhia mundialmente conhecida, muitos conhecem a companhia pela presença num dos patamares mais altos dos desportos motorizados, a Fórmula 1, porém, a companhia empresa contribui muito mais para o mundo da engenharia fora essa “pequena” conquista.

Neste capítulo serão mencionados algumas dessas contribuições, especialmente no mundo da maquinagem CNC, os primeiros modelos criados até às inovações que melhoraram a engenharia e os processos de maquinagem. Após a leitura deste capítulo cada leitor terá uma compreensão mais profunda não só de como começou a companhia, mas a cronologia de cada feito e ainda comparações entre modelos antigos e recentes.

3.2. HISTÓRIA

Gene Haas fundou a “*Haas Automation, Inc.*”, em 1983 para fabricar máquinas económicas e fiáveis. A empresa entrou na indústria de máquinas com o primeiro totalmente automático e programável *collet indexer* – um dispositivo utilizado para posicionar peças para maquinagem com uma precisão muito elevada. O patenteado *Haas 5C collet indexer*, presente na figura 3.1 foi um enorme sucesso, e nos quatro anos seguintes, a empresa expandiu a sua linha de produtos para incluir uma ampla seleção de tabelas rotativas totalmente programáveis, indexadores rotativos e acessórios de máquinas-ferramentas [6].



Figura 3.1 - Haas 5C collet indexer [6]

Em 1987, a Haas Automations começou a desenvolver o seu primeiro centro de maquinagem vertical (VMC – Vertical Machining Center), uma máquina projetada para realizar operações de maquinagem como fresagem, furação, roscagem e perfuração. Esta máquina, a VF-1, foi introduzida a um custo competitivo com máquinas de fabricantes *offshore*. Utilizando os mais recentes equipamentos e procedimentos para o fabrico “*close-tolerance*”, um processo que assegura que uma peça ou componente tenha especificações precisas [7]. Os primeiros protótipos VF-1 foram concluídos em 1988 e introduzidos no *International Machine Tool Show* (IMTS 88) em Chicago, Illinois [6].



Figura 3.2 - Very First One (VF-1) Vertical Machining Center [6]

Na altura, os académicos da indústria e membros da imprensa comercial estavam céticos quanto ao facto de um centro de maquinagem americano poder ser vendido por menos de 50 mil dólares. A Haas não só se manteve fiel relativamente ao preço como também garantiu que o produto fazia jus ao prometido, algo que outros fabricantes muitas vezes não conseguiam fazer. Hoje, o Haas VF-1 ainda vende por menos de \$50.000.

Para garantir a precisão, a Haas fabrica todos os componentes críticos internamente utilizando máquinas CNC de última geração. A instalações de 1,1 milhões de metros quadrados da empresa [6] utiliza extensivamente os mais recentes métodos de produção otimizada e práticas de produção “*just-in-time*” para agilizar as capacidades de produção e reduzir custos. Isto, combinado com equipas altamente treinadas para componentes

eletrônicas e montagem mecânica, permite à Haas controlar a qualidade, custo, fiabilidade e disponibilidade. As poupanças resultantes e o aumento da qualidade são transmitidos ao cliente sob a forma de preços mais baixos e melhores produtos.

Das quase 300 usadas nas instalações, mais de dois terços são máquinas Haas [6]— prova positiva de que a empresa acredita nos seus próprios produtos. Para aumentar a capacidade e competência de produção, novos equipamentos de fabrico são adicionados constantemente, permitindo à Haas produzir mais peças de forma mais eficiente e reduzir ainda mais o custo dos produtos Haas para o utilizador final.

Hoje, a Haas fabrica quatro grandes linhas de produtos: centros de maquinagem vertical (VMCs), centros de maquinagem horizontal (HMCs), tornos CNC e mesas rotativas, bem como várias grandes máquinas de cinco eixos e até máquinas de especialidades. Todos os produtos Haas são fabricados nas instalações expansivas da empresa em Oxnard, Califórnia – a maior e mais moderna operação de fabrico de máquinas-ferramentas dos Estados Unidos [6].

3.3. CRONOLOGIA

Disponível no site oficial da HAAS, é encontrado um diagrama em formato de cronologia que mostra as datas de cada acontecimento de importância nos últimos cerca de 35 anos [8]. É interessante analisar este diagrama levando a uma melhor compreensão não só da maneira de progressão, mas também a ordem desta. Dito diagrama é encontrado no Anexo A, devido às dimensões e também por motivos de organização do documento.

Começando com o primeiro evento, em 1983, como previamente referido, foi criado o primeiro *5C rotary indexer* totalmente programável, um dispositivo usado para posicionar peças para maquinagem com uma precisão muito elevada. Avançando 3 anos e os produtos rotativos Haas chegariam a #1 nas vendas nos EUA, é seguro dizer que a criação de 1983 foi um grande mediador para que isso acontecesse.

Em 1988, a grande revolução da maquinagem CNC para a empresa, ao anunciar o VF-1, o primeiro centro de maquinagem vertical da empresa. Três anos depois, a Haas expande a linha de produtos para dois VMCs diferentes e introduz capacidades de 5 eixos. Embora seja explicado mais detalhadamente ao longo deste relatório, as máquinas CNC podem ter capacidades de 3, 4 ou mesmo 5 eixos, o que difere de cada uma delas é a complexidade do movimento tanto da peça de trabalho como da ferramenta de corte que descrevem uma em

relação à outra, então logicamente quanto mais complexo o movimento das duas partes, mais complexidade é conseguida na geometria da peça final maquinada.

Avançando, em 1994, a empresa introduz o primeiro HMC, centro de maquinagem horizontal, com o HS-1 e não mais de um ano depois, o primeiro torno CNC, o HL-1, que permite ao operador realizar operações de torneamento.

Note-se que antes de 95, a única funcionalidade CNC era para a fresagem, e é importante para a indústria poder realizar ambas as operações, as principais diferenças entre estas duas operações são a forma como a máquina e o componente giram, o que significa que um torno CNC gira a peça de trabalho ou o stock de barras contra as ferramentas de corte para fazer a forma e, em contraste, uma fresadora CNC é descrita pelo movimento das ferramentas de corte em torno do stock de barras ou peça de trabalho.

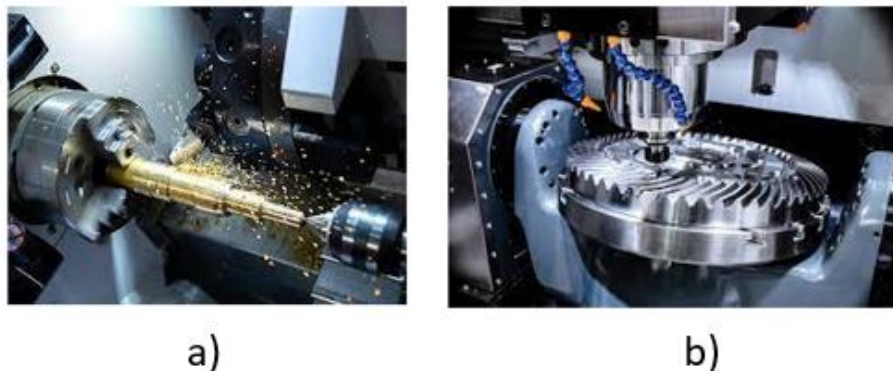


Figura 3.3 - a) Operação de Torneamento [9]; b) Operação de Fresagem [10]

De 1995 a 2000, a empresa focou-se na expansão e criação de redes a nível nacional, de forma a aumentar as vendas e reforçar a comunicação com os clientes. Em 2000, a “*mini-mill*”, uma fresadora mais pequena foi anunciada, diferencia-se das tradicionais fresadoras integradas por ser mais fácil de iniciar e parar e são capazes produzir produtos de aço em lotes menores.

Em 2002, a Haas introduziu o VF-2SS, o SS significando “*Super Speed*”, ou seja, supervelocidade e, de acordo com os engenheiros da Haas, a primeira máquina VMC Super Speed da empresa “*machines easily and provides excellent surface finishes. It also features good impact, tensile and yield strengths, along with good fatigue resistance*” [11], ou seja, máquina facilmente e fornece excelentes acabamentos de superfície. Também apresenta boa

resistência à tração, resistência à fadiga e acima de tudo alto rendimento [11]. Ainda de acordo com a comunidade Haas, este modelo é atualmente a máquina mais vendida, e segundo os especialistas tem uma razão de ser, razão esta que pelas palavras deles a “*Haas high-performance Super-Speed Vertical Machining Centers provide high spindle speeds, fast rapids, and quick tool changes necessary for high-volume production and reduced cycle times*” [11], traduzindo, os Centros de Maquinagem Vertical Supervelocidade da Haas proporcionam altas velocidades de *spindle*, rápidos *rapids* e mudanças apressadas de ferramentas necessárias para a produção de alto volume e, por fim, tempos de ciclo reduzidos.



Figura 3.4 - VF-2SS [11]

O ano de 2004 foi marcado pelo lançamento de uma nova série de HMCs, a série EC que contava com três modelos diferentes, o *EC-300*, o *EC-400* e o *EC-1600*. Em 2008 celebrou-se o 25º aniversário e dois anos depois a Haas acabaria por apresentar a nova geração dos VMCs , e dos centros de torneamento da série *ST* com melhor evacuação de aparas, contenção de refrigeração, ergonomia e controlo de movimento reforçado, para não falar acerca do novo visual arrojado visível na figura 3.5.



Figura 3.5 - Torno CNC da série ST [8]

Em 2011, a nova mesa rotativa de supervelocidade *HRT 160SS* foi estreada com velocidades de indexação, isto é a velocidade com que um certo eixo da máquina se move do ponto inicial de repouso até um ou outro ponto de repouso, surpreendentes até 570 graus por segundo como um facilitador de aproveitamento das velocidades e alimentações aumentadas nos centros de maquinagem de alta velocidade atualmente. No ano seguinte foi notório a introdução do centro de maquinagem universal *UMC-750* de 5 eixos que foi lançado como um meio eficaz para reduzir as configurações e aumentar a precisão para peças multifacetadas e complexas.



Figura 3.6 - a) Mesa Rotativa de Supervelocidade HRT 160SS [8]; b) UMC-750 5-eixos [8]

Saltando para 2015 onde foi introduzido o Centro de Furação/Fresagem DM-1 com 15.000 rpm e um spindle 40-taper. Um spindle taper é nada mais nada menos do que um sistema para fixar ferramentas de corte ou suportes de ferramentas no próprio spindle de uma máquina ou ferramenta elétrica. Também este ano a Haas apresentou o novo “*Haas Bar Feeder*”, com um design de *rollaway* inovador, um *Bar Feeder*, como o nome indica é uma peça opcional de equipamento de suporte que permite que o barstock seja automaticamente inserido num torno CNC, aumentando consideravelmente a produtividade.



Figura 3.7 - a) Centro de Furação/Fresagem DM-1 [8]; b) Haas *Bar Feeder* [8]

Durante o ano de 2016, foram introduzidos muitos novos produtos, como o DM-1, um VMC ultracompacto de alta velocidade para trabalhos de precisão, mas esse ano foi definido pela introdução do *Haas Next Generation Control*, tanto em VMCs como em HMCs. Um controlador de nova geração com capacidades inovadoras no mundo da maquinagem, dito controlador é o objeto de estudo desta dissertação e ao longo do mesmo será possível desvendar a maioria das suas funcionalidades e como o manusear quando aplicado num contexto de um problema real. Aprofunda-se os conceitos do controlador *Next Generation Control* no capítulo 5.



Figura 3.8 - Controladora Haas *Next Generation Control*

3.4. PASSADO VS PRESENTE

Os primeiros protótipos oficiais do VF-1 foram produzidos em 1988, como acima referido, apesar de ter sido um avanço na época para a indústria CNC em todo o mundo, ao longo dos anos o "*Very First One*" foi sujeito a alterações e refinamentos aumentando a sua longevidade e desempenho global. Por isso, analisando a imagem abaixo fornecida pelo site oficial da Haas [8] somos capazes de comparar diretamente o modelo de 1988 e o de 2018 comentando acerca de algumas características-importantes que demonstram os pontos focais de melhoria dos engenheiros da HAAS durante estes 30 anos.



Figura 3.9 - Comparação do modelo VF-1 de 1988 e o de 2018 [8]

Em primeiro lugar, encontramos os cursos, ou seja, a distância percorrida máxima de cada eixo, sendo elas pelo eixo X 20 polegadas, que traduz cerca de 508 mm, o eixo Y 16 polegadas equivalente a cerca de 406.4 mm e o eixo Z 20 polegadas que à semelhança do eixo X tem a possibilidade de se estender até cerca de 508 mm. Ambas as distâncias permanecem as mesmas para tanto um como outro CNC.

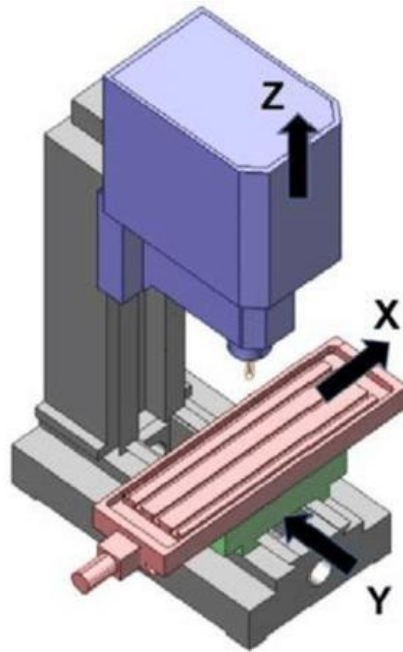


Figura 3.10 - Demonstração dos eixos numa fresadora de 3-eixos [12]

Os próximos três parâmetros abordam o conceito de spindle, este não é nada mais nada menos que a parte da máquina-ferramenta que gira ou roda, no caso de uma fresadora esta suporta a ferramenta de corte. Portanto, o *spindle* speed consiste na velocidade a que o próprio *spindle* da máquina gira, esta velocidade afeta a rapidez com que a ferramenta de corte se move no ponto de contacto. Como podemos ver, o primeiro protótipo tinha uma velocidade de 5000 rpm, enquanto que 30 anos depois esta velocidade foi aumentada para uns impressionantes 8100 rpm e pode ainda atingir um valor máximo de 30.000 rpm.

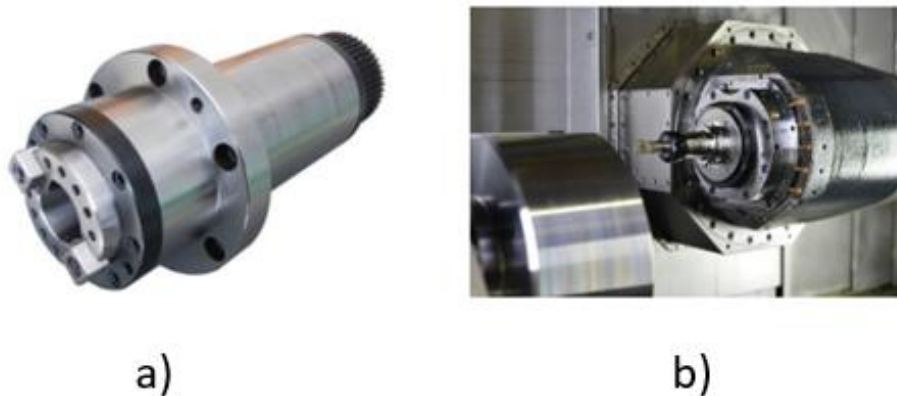


Figura 3.11 - a) Spindle [13]; b) Spindle incorporado numa CNC [14]

Em seguida, no que diz respeito à potência do *spindle*, é importante lembrar que esta potência é calculada multiplicando o valor do torque pela velocidade rotativa, por isso, é importante ter em conta que ao diminuir por metade, por exemplo, o valor da velocidade rotativa por motivos de preservação irá, conseqüentemente e respeitando a proporcionalidade direta que ambos estas variáveis têm entre si, baixar o valor da potência do *spindle* também por metade, considerando claro que o torque mantém-se inalterado. Também é relevante ter noção que a potência do spindle pode aumentar com a velocidade de corte, logo é justificável o salto de valor desta potência, passando de 7,5 CV para 30 CV.

Finalmente, o spindle drive, ou seja, o acionamento do spindle é o principal dispositivo que alimenta a rotação do spindle, estas unidades estão localizadas atrás do spindle numa zona denominada *headstock*, a mudança aqui foi a transição de um “*open loop inverter*” que basicamente é um tipo de sistema de controlo contínuo em que a saída não tem qualquer efeito na ação de controlo do sinal de entrada, para uma “*closed loop inverter drive*”, exemplificado abaixo, que usa um algoritmo vetorial para determinar a tensão de saída, mas o principal benefício desta unidade é que permite que até 200 por cento do torque nominal do motor seja produzido às 0 rpm [15].



Figura 3.12 – *Closed Loop Vector Drive* [15]

Em seguida, nota-se um aumento de quatro vagas no sistema responsável pela muda de ferramenta, progredindo de uma substituição automática de ferramentas de 16 vagas para um trocador automático de ferramentas de 20 vagas com possibilidade de 30.

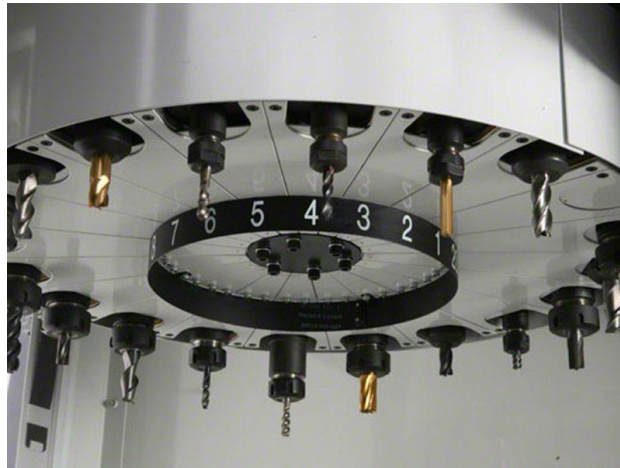
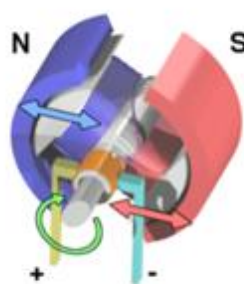


Figura 3.13 – Trocador automático de ferramentas de 20 vagas [16]

No que diz respeito aos drives dos eixos, o primeiro modelo utilizado foi uma escova DC que consiste em dois ímanes virados na mesma direção, que rodeiam duas bobinas de fio que residem no meio do motor escova DC em torno de um rotor, enquanto o modelo de 2018 usa um AC sem escova com um codificador digital. O motor sem escova AC significa que ambos os motores têm componentes móveis e estacionários, e o codificador digital indica a existência de um codificador rotativo montado num motor elétrico que fornece sinais de feedback em loop fechado, rastreando a velocidade e/ou posição de um eixo do motor [17].



a)



b)

Figura 3.14 - a) Drive do eixo modelo escova DC [17]; b) Drive do eixo modelo AC sem escova com codificador digital [17]

No que diz respeito aos *rapids* também conhecido como posicionamento, este valor diz respeito ao movimento de comando ao ritmo mais rápido possível da máquina. Logicamente, este ritmo aumentou de um modelo para o outro, de 480 polegadas por minuto que se traduz

para cerca de 12192 milímetros por minuto para umas incríveis 1000 polegadas por minuto que equivale a 25400 milímetros por minuto.

Abordando o processador de cada um dos modelos, a maior diferença entre estes foi o aumento de um de 32-bit para um de 64-bit, daí permitindo uma velocidade de processamento de 20 blocos por segundo, relativo ao primeiro modelo, para 2000 blocos por segundo, o que melhora as condições de operação. Abordando a capacidade de memória, esta também foi sujeita a melhorias, sendo aumentada de 128 k para 1 GB que por sua vez contribui para que a máquina tenha a capacidade de ler um maior número de código de uma só vez.

O monitor foi atualizado de um CRT monocromático (*Cathode-Ray Tube*) de 12 polegadas, monitores que apenas conseguem exibir apenas uma cor, para um LCD de 15 polegadas (*Liquid Crystal Display*), tipo de ecrã de painel plano que utiliza cristais líquidos na sua forma primária de funcionamento que visualmente traduz num ecrã a cores. Distinguem-se facilmente ao analisar a figura 3.14 [18].



Figura 3.15 - a) Monitor CRT Monocromático de 12 polegadas [18]; b) Monitor LCD de 15 polegadas [18]

Chegando à reta final dos parâmetros, a comunicação em 1988 era feita pela *Recommended Standard 232* (RS232), este tipo de comunicação em série era usado para a transmissão de dados normalmente em distâncias médias. Enquanto o modelo mais recente faz uso do Ethernet, USB (*Universal Serial Bus*) e, se o operador quiser por Wi-Fi, outra melhoria importante para o VF-1.



Figura 3.16 - Recommended Standard 232 (RS232) utilizado no modelo de 1988

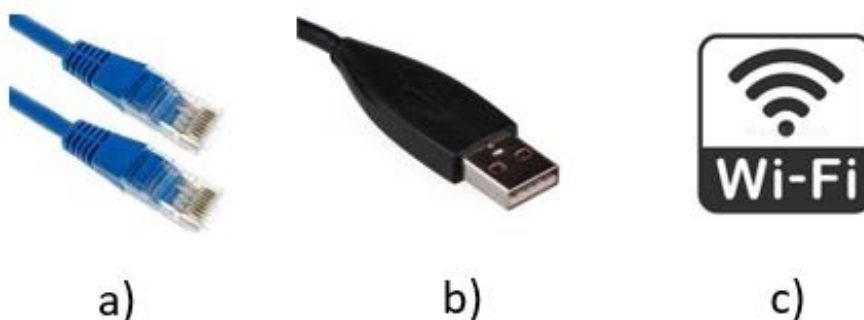


Figura 3.17 - Comunicação utilizada no modelo atual. a) Ethernet; b) Universal Serial Bus (USB); c) *Wi-fi*

Por último, mas não menos importante, a gama de preços da máquina é interessante devido ao facto de, para além das melhorias, ser logico pensar que o preço tenderia a subir, mas na verdade é exatamente o oposto, em 1988 o VF-1 foi listado em 50.000 Dólares Americanos, enquanto, em 2018 a HAAS disponibilizou o produto 46.995 Dólares Americanos.

3.5. COMENTÁRIOS E SÍNTESE DO CAPÍTULO

A Haas Automations cresceu bastante nos últimos 30 anos e não tenciona abrandar, desde a criação do *Haas 5C collet indexer* a companhia realizou enormes avanços com a incorporação da centro de maquinagem horizontais e verticais que permitiram aos seus operadores infinitas possibilidades de produção.

O ano de 2016 também foi um ano de inovação para a companhia com a criação do *Next Generation Control* que veio melhorar o mercado de controladoras para sempre, com várias características novas e componentes que simplificam bastante a tarefa do operador. Ao comparar a VF-1 de 1988 e a 2018 as mudanças são óbvias, em 30 anos, que é um curto espaço de tempo neste ramo, a companhia conseguiu dar enormes passos na área da maquinagem de CNC

4. CNC OVERVIEW

4.1. INTRODUÇÃO

O termo CNC significa "Controlo Numérico de Computador" ou em inglês "*Computer Numerical Control*", e define-se por ser um tipo de manufatura subtrativa que, por definição, normalmente emprega controlos numéricos computadorizados e máquina-ferramenta para remover camadas de material de uma peça de stock - conhecida como peça de trabalho - e produz uma peça personalizada.

Este processo é adequado para uma vasta gama de materiais, incluindo metais, plásticos, madeira e aplica-se em várias indústrias, como maquinagem CNC em grande escala, a maquinagem de peças e protótipos para telecomunicações, e até a maquinagem CNC de peças aeroespaciais, que exigem tolerâncias mais pormenorizadas do que outras indústrias.

Note que há uma diferença entre a definição de maquinagem CNC e a máquina CNC - uma é um processo e a outra é uma máquina, respetivamente. Uma máquina CNC é uma máquina programável capaz de realizar autonomamente as operações de maquinagem CNC.

Maquinagem CNC como um processo de fabrico é um serviço disponível mundialmente, este é facilmente encontrado na Europa, Asia, América do Norte entre outras localizações espalhadas pelo mundo.

A manufatura subtrativa, tais como a maquinagem CNC, são frequentemente apresentados em contraste com a manufatura aditiva, tais como a impressão 3D ou processos formativos de fabrico, como a moldagem por injeção de líquido. Enquanto os processos subtrativos removem camadas de material da peça de trabalho para produzir formas e desenhos personalizados, os processos aditivos montam camadas de material para produzir a forma desejada e os processos formativos deformam e deslocam o material de stock para a forma desejada. A natureza automatizada da maquinagem CNC permite a produção de alta precisão e elevada exatidão, peças simples e custo-eficácia ao cumprir os percursos de produção de peças únicas e volumes médios. No entanto, embora a maquinagem CNC demonstre certas vantagens em relação a outros processos de fabrico, o grau de complexidade e integridade possível para a conceção parcial e a relação custo-eficácia da produção de peças complexas é limitada.

Neste capítulo ataca-se várias vertentes da maquinagem CNC de modo a perceber como proceder e que considerações ter quando se decide realizar um processo de fabrico utilizando este tipo de maquinagem. Aborda-se temas desde os componentes de um processo de maquinagem CNC (CAD, CAE, CAM), até o *setup* da máquina e a execução da operação no mesmo. Refere-se ainda os tipos de operações mais utilizadas neste tipo de processo com uma breve explicação de cada uma. Termina-se o capítulo com considerações a ter consoante a peça que o operador está a tratar.

4.2. TIPOS DE MÁQUINAS CNC

Atualmente, grandes empresas têm muitas opções quando se trata de maquinagem de vários eixos, de 3 eixos a 5 eixos até mesmo maquinagem de 9 eixos. Este subcapítulo encarrega-se de enunciar as principais semelhanças e diferenças entre dois tipos populares de maquinagem CNC (3 eixo vs. 5 eixos) e explicar quando poderá fazer sentido usar um sobre o outro.

4.2.1. CNC DE TRÊS EIXOS

Depois de o operador introduzir instruções de fresagem num computador, a máquina CNC de 3 eixos completa automaticamente a tarefa utilizando uma ferramenta para cortar ao longo de três eixos — X, Y e Z, ou da esquerda para a direita, da frente para trás e de cima e para baixo. A fresagem CNC cai sob a maquinagem de 3 eixos, enquanto que o torneamento CNC geralmente é associado à maquinagem de dois eixos. No entanto, ambos estes processos serão abordados neste capítulo.

Ao manusear uma fresadora CNC de 3 eixos, o bloco de material permanece fixo na base da máquina. As brocas rotativas ou ferramentas de corte estão ligadas ao spindle movem-se ao longo dos eixos X, Y e Z, removendo as aparas para formar com precisão o componente final. As máquinas de fresagem CNC de 3 eixos são excelentes para produzir a maioria das geometrias e peças simples.

Em contraste, no processo de torneamento do CNC, a maior diferença é que a peça de trabalho é que é fixada ao spindle ao invés da ferramenta que acontece na fresagem, e um torno molda o componente. À medida que o spindle gira, uma broca central ou uma ferramenta de corte traça os perímetros externos e internos do componente ou cria orifícios ao longo do eixo central. Em comparação com as fresadoras, os tornos produzem peças mais

rapidamente e oferecem custos por unidade mais baratos, o que é vantajoso para produção de grande volume.

Uma vez que uma máquina CNC de 3 eixos só pode cortar ao longo de três eixos, pode ter dificuldade com formatos ou desenhos não convencionais com cavidades profundas e estreitas de difícil acesso. Ao processar peças com geometrias complexas, os operadores podem ter de reposicionar manualmente a peça de trabalho, o que pode abrandar a velocidade de processamento, aumentar as despesas de mão-de-obra e maquinagem, e resultar num produto acabado menos que perfeito.

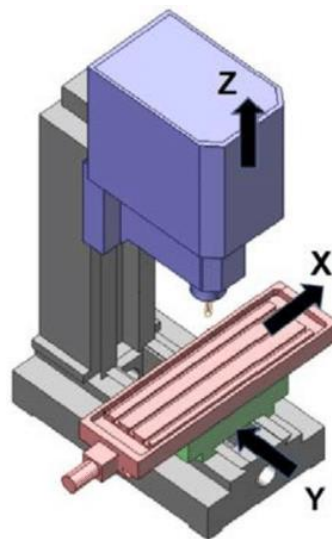


Figura 4.1 - CNC de três eixos [12]

4.2.2. CNC DE CINCO EIXOS

As máquinas de 5 eixos dependem de uma ferramenta que se move em cinco direções diferentes — X, Y e Z, bem como B e C, em torno da qual a ferramenta gira. A utilização de uma máquina CNC de 5 eixos permite que os operadores se aproximem de uma parte de todas as direções numa única operação, eliminando a necessidade de reposicionar manualmente a peça de trabalho entre as operações. A maquinagem CNC de 5 eixos poupa tempo e é ideal para criar partes complexas e precisas como as encontradas nas indústrias médica, petrolífera e aeroespacial [19]. Existem alguns tipos diferentes de máquinas de 5 eixos que as empresas devem estar cientes, incluindo máquinas CNC de 5 eixos indexadas, máquinas CNC contínuas de 5 eixos e centros CNC de fresagem-torneamento [19].

Na maquinagem CNC de 5 eixos indexada, tal como a fresagem CNC de 3 eixos, a ferramenta de corte move-se apenas ao longo de três eixos e não mantém o contacto contínuo com a peça de trabalho. No entanto, a mesa de maquinagem e a cabeça da ferramenta podem girar automaticamente em duas direções entre as operações. Em termos de velocidade, precisão e capacidade de lidar com geometrias complexas este tipo de maquinagem situa-se algures entre a fresagem CNC de 3 eixos e a fresagem contínua de 5 eixos.

Na maquinagem contínua de 5 eixos CNC, a ferramenta de corte e a peça de trabalho podem rodar e mover-se simultaneamente durante o funcionamento, poupando tempo e permitindo aos operadores fabricar geometrias complexas com superfícies orgânicas (com marcas mínimas de maquinagem). Este tipo de produção oferece um melhor acabamento superficial, velocidade e estabilidade dimensional, mas tem o maior custo por parte.

Os centros CNC fresagem-torneamento são praticamente idênticos às máquinas de torneamento CNC, com uma exceção - estão equipados com uma fresadora. A peça de trabalho está ligada a um eixo que pode rodar ou permanecer estacionário enquanto as ferramentas de corte retiram o material do mesmo. Ao combinar os elementos do torno com ferramentas de fresadoras, estes centros oferecem altos níveis de precisão e versatilidade geométrica, tornando-as ótimas para criar peças com simetrias rotativas soltas, como árvore de cames ou compressores centrífugos.

Não só estes tipos de máquinas de fresagem CNC de 5 eixos oferecem maior precisão ao maquinar peças mais profundas e materiais endurecidos, como também oferecem maiores rendimentos e velocidades de maquinagem mais rápidas. No entanto, maquinagem de 5 eixos é mais caro devido ao equipamento especializado necessário e à necessidade de trabalhadores especializados.

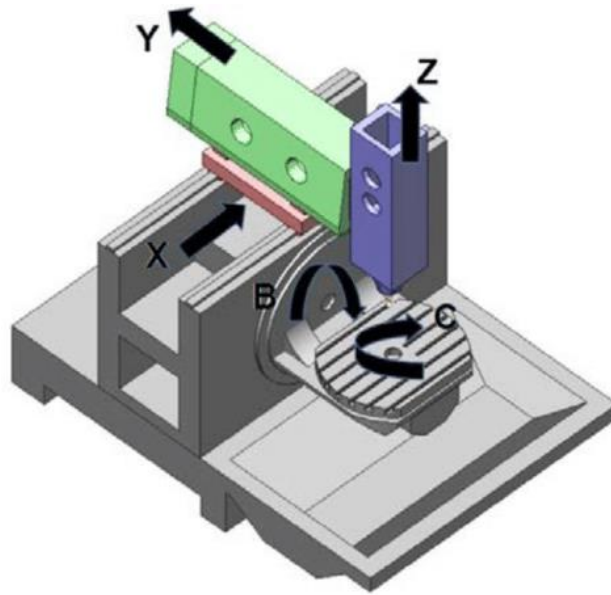


Figura 4.2 - CNC de 5-eixos [12]

4.2.3. 3-EIXOS VS 5-EIXOS

A principal diferença entre fresadoras de 3 eixos e 5 eixos é que a peça de trabalho pode ser trabalhada a partir de três eixos com o primeiro e cinco eixos com este último. Ambos são processos de produção altamente versáteis, automatizados e replicáveis que lhe permitirão criar componentes precisos de forma rápida e econômica. No entanto, opta-se por usar um sobre o outro por uma variedade de razões

No caso de haver com um orçamento reduzido ou apenas a necessidade de cortar uma peça com geometrias mais simples, CNCs de 3 eixos são mais aconselháveis. Além de serem mais acessível do que aquelas com cinco eixos, as máquinas de 3 eixos são mais simples de programar, pelo que não haverá necessidade de recorrer a operadores qualificados, reduzindo ainda mais o orçamento da produção. Além disso, o tempo de preparação é mais curto com maquinagem de 3 eixos.

Se houver a necessidade de produzir uma parte mais profunda ou com geometria complexa, provavelmente é recomendada a maquinagem de 5 eixos. A utilização de máquinas de 5 eixos permite ao operador maquinar a peça de trabalho de todos os lados — sem rotação manual necessária. Com uma CNC de 5 eixos, obtém-se maiores rendimentos, maior precisão e maior liberdade de movimentos, bem como a capacidade de fabricar peças maiores mais rapidamente.

4.3. ETAPAS DE UM PROCESSO DE MAQUINAGEM CNC

Quando um operador fabrica um componente através de maquinagem CNC tem várias etapas que necessita de respeitar de modo que a peça final cumpra os requisitos esperados. Embora a maquinagem CNC ofereça várias capacidades e operações, os princípios fundamentais do processo permanecem em grande parte inalteráveis em todas elas e é possível agrupar estes princípios em 5 etapas, sendo elas:

-
1. CONCEÇÃO DO MODELO CAD;
 2. CAE;
 3. CAM;
 4. PREPARAÇÃO DA MÁQUINA CNC;
 5. EXECUÇÃO DA OPERAÇÃO;

4.3.1. CONCEÇÃO DO MODELO CAD

O modelo CAD, *Computer-Aided Design* – sólido/superfície – descreve uma forma geométrica bem como as propriedades físicas essenciais para a base do design de um produto, particularmente no que respeita ao desempenho, à manufatura virtual e à estimativa de custos. O modelo CAD – sólido – deve ser, também, devidamente parametrizado, capaz de permitir a exploração de alternativas de design com a finalidade de melhorar o desempenho do produto final. Na modelação de um sólido, a geometria é formada pela combinação de objetos sólidos (mais especificamente pelas características sólidas), as quais são criadas a partir de um esboço bidimensional (2D) do perfil pretendido, composto por entidades como linhas ou curvas capazes de projetar o perfil do objeto sólido.

O processo de maquinagem CNC começa com a criação de um design CAD sólido 3D, quer internamente quer por uma empresa de serviços de design CAD/CAM. O software de design assistido por computador (CAD) permite que os designers e fabricantes produzam um modelo, juntamente com as especificações técnicas necessárias, tais como dimensões e geometrias, para a produção da peça ou do produto.

Os desenhos para peças maquinadas através de uma CNC são restringidos pelas capacidades da máquina CNC e da ferramenta. Por exemplo, a maioria das ferramentas utilizadas numa CNC são cilíndricas, pelo que as geometrias de parte possíveis através do processo de maquinagem CNC são limitadas visto que a ferramenta cria secções de canto curvas. Além disso, as propriedades do material a ser maquinado, design de ferramentas e

capacidades de produção da máquina restringem ainda mais as possibilidades de concepção, tais como as espessuras mínimas das peças, o tamanho máximo da peça, e a inclusão e complexidade das cavidades e características internas.

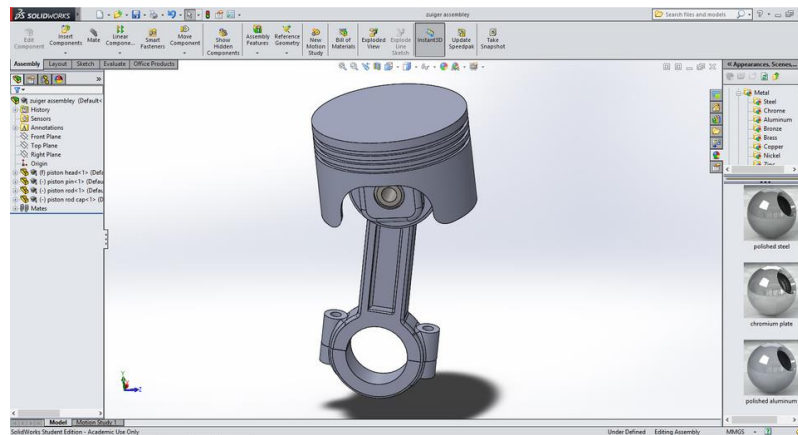


Figura 4.3 - Exemplo de um modelo CAD feito no software SolidWorks

4.3.2. CAE

Engenharia Assistida por Computador ou *Computer Aided Engineering* (CAE) é uma tecnologia que utiliza o computador para dar suporte à Engenharia auxiliando-a no desenvolvimento de projetos por meio de análises estáticas, dinâmicas, térmicas, magnéticas, acústicas, de fluidos, de impacto e simulações, fazendo do CAE uma ferramenta poderosa para redução de custos de um projeto e para minimização do tempo de fabricação do produto final.

O CAE está sustentado em ferramentas de CAD avançadas, as quais permitem não apenas definir as dimensões do produto concebido, como também outras características como materiais, acabamentos, processos de fabrico e de montagem ou até interações com elementos externos como forças aplicadas, temperatura, entre outros.

Assim, podem criar-se protótipos virtuais dos produtos, simulando sobre eles as condições de uso e, assim, efetuar estudos prévios do fabrico sobre aspetos tais como a estabilidade, a resistência e outros comportamentos. Para estes estudos, um dos tipos de software disponíveis inclui a análise de elementos finitos (FEA – *Finite Element Analysis*), que permite ao operador por exemplo determinar os danos que as barreiras de estrada fazem a um carro quando acontece um acidente.

O CAE pode ser utilizado na elaboração de um projeto, na análise e na avaliação dos níveis do produto, verificando o produto quanto à sua funcionalidade. Mais ainda, é possível verificar se as necessidades são compatíveis com a capacidade de produção e reduzir drasticamente o tempo gasto com cálculos operacionais.

Alguns softwares aglomeraram todos os aspetos do software CAD, CAM e CAE. Este programa integrado, tipicamente referido como software *CAD/CAM/CAE*, permite que um único programa de software gere todo o processo de fabrico, desde o design até à análise até à produção.

4.3.3. CAM

Uma vez que o modelo CAD está completado e já foi submetido a simulações CAE e está de acordo com o expectável segundo o operador, será exportado para um formato de ficheiro que seja compatível com a CNC, como por exemplo STEP ou IGES.

O software de fabrico assistido por computador, ou *Computer Aided Manufacturing* (CAM) são programas utilizados para extrair as informações técnicas do modelo CAD e gerar a linguagem máquina necessário para executar o CNC e manipular a ferramenta para produzir a peça personalizada. Os softwares CAM permitem a máquina CNC corra sem a assistência do operador o que ajuda a automatizar a avaliação do produto acabado

As máquinas CNC usam várias linguagens de programação, incluindo código G e código M. O mais conhecido das linguagens de programação do CNC, "*general* ou *geometric code*", referido como código G, controla quando, onde e como as máquinas se movem. O "*Miscellaneous function code*", referido como código M, controla as funções auxiliares da máquina, tais como automatizar a remoção e substituição da tampa da máquina no início e no fim da produção, respetivamente.

Uma vez gerado o programa CNC, o operador carrega-o para a máquina CNC.

4.3.4. PREPARAÇÃO DA MÁQUINA CNC

A parte da preparação é quando se assegura que as Máquinas CNC estão todas prontas para começar a trabalhar na peça. É necessário ter a certeza de que, por exemplo, tem todas as ferramentas certas no carrossel de ferramentas, que o Código G extraído é o correto e que, em geral, a máquina esteja pronta para iniciar a produção. Existe, porém, nove etapas a ter em conta de modo a garantir que a CNC está de facto preparada corretamente [20].

4.3.4.1. LIMPEZA DA MÁQUINA E OUTRAS SUPERFÍCIES

Garantir que a máquina está limpa de aparas e outros detritos que possam interferir com o seu funcionamento e precisão. Pode ser utilizado ar comprimido ou até uma escova para limpar os detritos. Importante certificar que durante este processo de limpeza as aparas e detritos não foram direcionadas para áreas sensíveis da máquina pois podem entrar em lugares que não pertencem e podem danificar não só ao operador como também à peça.

4.3.4.2. CARREGAR AS FERRAMENTAS

O objetivo nesta fase é garantir que todas as ferramentas necessárias para a operação sejam inseridas no porta-ferramentas da máquina e se a máquina assim o permitir inserir o porta-ferramentas no *tool changer* da máquina que automaticamente, durante o processo de maquinagem, irá fazer a mudança entre ferramentas já previamente escolhidas pelo operador quando o programa lhe pedir para tal. De notar que cada tipo de porta-ferramentas terá os seus próprios requisitos garantindo desempenho máximo.

4.3.4.3. AQUECER A MÁQUINA E O SPINDLE

Próximo passo consiste em executar algum tipo de programa de aquecimento de spindle e máquina que ajuda a garantir uma expansão térmica mínima à medida que a máquina muda de temperatura de funcionamento fria para normal e garante que os eixos e o spindle da máquina estão bem lubrificados. Este passo é um passo de preparação da CNC a não negligenciar especialmente se no projeto em questão as tolerâncias próximas forem importantes.

4.3.4.4. FAZER OS OFFSETS DO COMPRIMENTO DA FERRAMENTA

A máquina precisa de saber o comprimento da ponta da ferramenta através de algum tipo de referência, referência esta chamada "*Gage Point*". Utiliza então esta informação para ajustar a posição do spindle em relação às posições comandadas para cada ferramenta diferente.

É muito importante que os offsets de comprimento da ferramenta estejam corretos e precisas para cada ferramenta para garantir que a ferramenta corte corretamente. Em casos extremos, quando o offset do comprimento da ferramenta está completamente errado, pode

causar uma colisão que irá danificar a ferramenta e provavelmente a máquina e a integridade da peça.

Algumas máquinas serão equipadas com um *“Tool Length Touch Setter”*. Esta é uma sonda para fins especiais que a máquina utiliza para medir automaticamente os comprimentos da ferramenta. O que esta sonda faz é detetar o comprimento da ferramenta (às vezes até o diâmetro), o princípio do funcionamento é muito simples. A ponta da sonda está equipada com uma bola que é usado para tocar na zona do componente que se pretende medir. Quando a bola toca na peça, a sonda viaja uma pequena distância antes de dar um sinal; esta distância é chamada de *“probe pre-travel”*, ou seja, pré-deslocamento da sonda. Depois insere automaticamente os dados no controlador da máquina e de seguida a CNC já começa a ter em conta as várias compensações para as diferentes ferramentas.



Figura 4.4 - Sonda da maraca Haas [21]

4.3.4.5. DEFINIÇÃO DOS DIÂMETROS DA FERRAMENTA

É importante definir o diâmetro da ferramenta para que as compensações do raio de corte possam ser usadas. A tabela de ferramentas presente numa máquina CNC tem informações de diâmetro para todas as ferramentas que serão utilizadas, se o programa adota estes valores do offset de ferramentas, a máquina CNC terá de saber o diâmetro de cada cortador, bem como o comprimento do mesmo.

4.3.4.6. INSTALAÇÃO DOS APERTOS

Próximo passo a seguir nesta preparação será a escolha e devida instalação dos apertos na máquina CNC, esta definição e instalação dos apertos é um dos aspetos mais importantes numa operação de fabrico. De modo a garantir uma produção segura, eficiente e de alta qualidade é essencial ter operadores que tenham competências de como utilizar os vários dispositivos de aperto.

Existe uma imensa variedade de apertos disponíveis, mas a especificação exata de qual o aperto mais adequado para a maquinagem é uma função importante para a ficha de fabrico da CNC (*CNC Setup Sheet*).

Os apertos mais comuns incluem as *vises*, os *jigs*, os *collets* e os *chucks*. estes dispositivos comuns são utilizados numa vasta gama de aplicações.

A *vise* é um tipo de aperto com duas mandíbulas, normalmente uma fixa e uma móvel, que agarra e segura uma peça de trabalho no lugar. Os vises são frequentemente utilizados para realizar peças de trabalho para operações de fresagem ou de furação.



Figura 4.5 - Vise da marca *Raptor Workholding* [22]

Os *jigs* são um tipo de aperto personalizável e modular que suportam, localizam e prendem uma peça de trabalho e também direcionam a ferramenta de corte. Os *jigs* são frequentemente utilizados para conter peças irregulares e geralmente diminuem o tempo de configuração da máquina, uma vez que fornecem orientação para ferramentas.

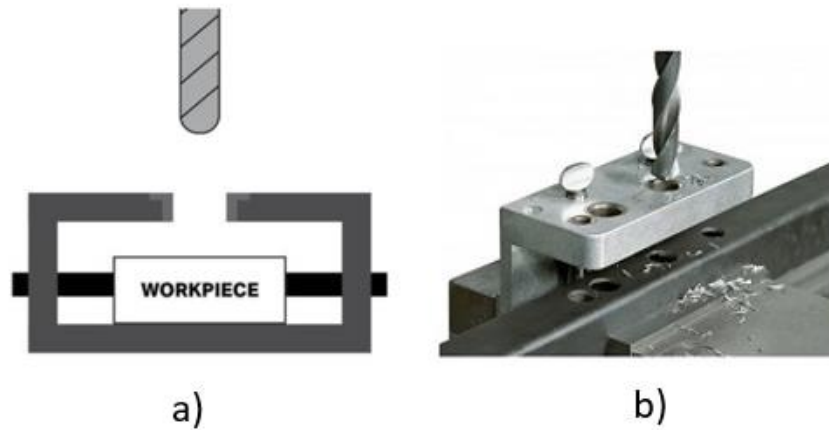


Figura 4.6 – a) Representação de um *Jig* [23]; b) Exemplo real de um *Jig* [23]

Seguindo para os *collets*, estes são dispositivos cilíndricos de aperto de peças de trabalho com fendas nos lados utilizadas para segurar peças de trabalho pequenas, frágeis ou de paredes finas. Os *collets* vêm numa variedade de tamanhos e geralmente têm um buraco central onde é encaixada a peça de trabalho.



Figura 4.7 - Exemplo de um *Collet ER 11* [24]

Finalmente, os *chucks* são um tipo de aperto circular que fixam a peça de trabalho à medida que gira sobre um torno ou outra máquina. Os *chucks* geralmente têm três a quatro mandíbulas ajustáveis que podem ser movidas para prender e proteger uma variedade de formas e tamanhos de peça de trabalho.



Figura 4.8 - Exemplo de um *Chuck* da marca *Atlas Workholding* [25]

4.3.4.7. DEFINIR O ZERO PEÇA

A máquina CNC tem de ser informada onde está o zero-peça. Há uma variedade de maneiras de realizar esta tarefa. O objetivo do Offset de trabalho é tornar possível ter múltiplos zeros-peça tornando útil, por exemplo, se existirem várias partes em que cada uma requer a sua própria zero-peça.

Para definir o ponto zero peça, dependendo essencialmente dos dispositivos do equipamento, pode ser utilizado uma sonda (à semelhança do método utilizado para o offset do comprimento da ferramenta), este ponto pode ser localizado em quase qualquer lugar do stock (peça a ser maquinada), porém, se isto não for possível, uma outra ferramenta que desempenha esta tarefa poderá ser um *edge finder*, ou seja, um localizador de arestas, este valor do ponto zero peça deve ser localizada sobre uma aresta ou vértice.



Figura 4.9 - Localizador de arestas da marca *STARRETT* [26]

4.3.4.8. CARREGAR O CÓDIGO-G À MÁQUINA CNC

Finalizando quase todas as etapas da preparação da máquina, nesta fase o operador encarrega-se em carregar o código-G na sua máquina CNC. Por muito básico que isto pareça há variáveis que podem influenciar o carregamento correto deste código.

Convém ter em atenção se a versão do programa é o adequado, e se necessário carregar algum subprograma adicional que o processo necessite.

4.3.4.9. VERIFICAÇÃO DO LÍQUIDO REFRIGERANTE

Finalmente, é necessário verificar se o líquido refrigerante está em boas condições e operável como parte da manutenção preventiva antes da execução de uma peça.

Há vários aspetos a ter em conta na verificação do mesmo, sendo elas:

-
- ✓ GARANTIR QUE O LÍQUIDO NÃO CHEIRA MAL;
 - ✓ VERIFICAR SE EXISTE LÍQUIDO REFRIGERANTE SUFICIENTE NO TANQUE;
 - ✓ CERTIFICAR SE A CONCENTRAÇÃO DO REFRIGERANTE ESTÁ CORRETA, CASO HAJA DÚVIDA O OPERADOR PODE UTILIZAR UM REFRACTÓMETRO PARA MEDIR A CONCENTRAÇÃO DO MESMO;
 - ✓ OBSERVAR A MÁQUINA E CONCLUIR SE O LÍQUIDO REFRIGERANTE ESTÁ A FLUIR LIVREMENTE E SE O BOCAL ESTÁ DEVIDAMENTE APONTADO. O BOCAL CORRETAMENTE APONTADO É CRUCIAL PARA UMA BOA LIMPEZA DE APARA E PODE ATÉ PERMITIR UM AUMENTO DA VELOCIDADE DE PRODUÇÃO SE FEITO CORRETAMENTE.

4.3.5. EXECUÇÃO DA OPERAÇÃO

Feito tudo isto, o operador pode finalmente dar início ao processo de maquinagem propriamente dito, correndo o programa previamente inserido na máquina CNC. O código funciona como instruções para a máquina; submete comandos ditando as ações e movimentos da ferramenta para o computador integrado, que por sua vez manipula as ferramentas. Iniciar o programa leva a máquina CNC a iniciar o processo de maquinagem, e o programa orienta a máquina durante todo o processo à medida que executa as operações de maquinagem necessárias para produzir uma peça ou produto personalizado.

. Os processos de maquinagem CNC podem ser realizados internamente — se a empresa investir na obtenção e manutenção dos seus próprios equipamentos — ou com fontes externas a prestadores de serviços de maquinagem CNC dedicados.

4.4. TIPOS DE OPERAÇÕES CNC

A maquinagem CNC é um processo de fabrico adequado para uma grande variedade de indústrias, incluindo automóvel, aeroespacial, construção e agricultura, e capaz de produzir uma gama de produtos, tais como estruturas automóveis, equipamentos cirúrgicos, motores

de avião, engrenagens e ferramentas de diversos tipos. O processo engloba várias diferentes operações de maquinagem controladas por computador, incluindo processos mecânicos, químicos, elétricos e térmicos, que removem o material necessário da peça de trabalho para produzir uma peça ou produto personalizado. Esta secção explora algumas das operações de maquinagem mecânica mais comuns, incluindo:

- FRESAGEM;
- TORNEAMENTO;

Quando se trata de uma Fresadora CNC vs. Torno CNC, a fresagem, com as suas ferramentas de corte rotativas, funciona melhor para peças mais complexas. No entanto, o torneamento, com peças de trabalho rotativas estacionárias e ferramentas de corte, funcionam melhor para uma criação mais rápida e precisa de peças redondas.

4.4.1. FRESAGEM

A fresagem é um processo que emprega ferramentas de corte de pontos múltiplos rotativos para remover o material da peça de trabalho. Na fresagem, a máquina CNC normalmente alimenta a peça de trabalho à ferramenta de corte na mesma direção que a rotação da ferramenta de corte, enquanto na fresagem manual a máquina alimenta a peça de trabalho na direção oposta à rotação da ferramenta de corte. As capacidades operacionais do processo de fresagem incluem fresagem de facejamento — corte de superfícies rasas, planas e cavidades de fundo plano na peça de trabalho — e fresagem periférica — cortando cavidades profundas, tais como ranhuras e roscas, na peça de trabalho.

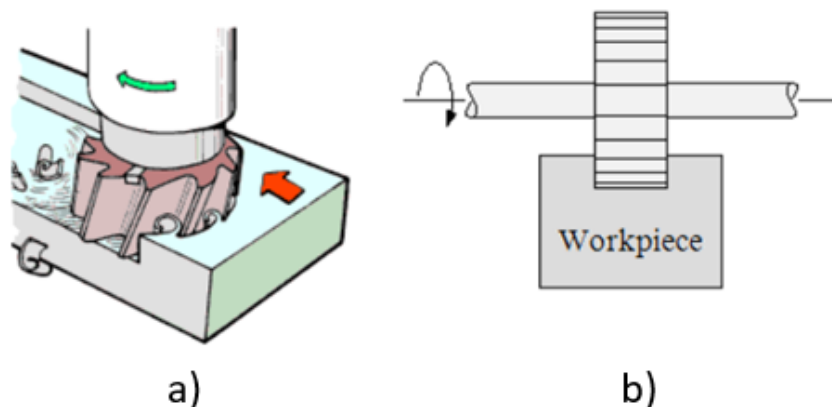


Figura 4.10 - a) Exemplo de uma fresagem de facejamento [27]; b) Exemplo da fresagem periférica, neste caso a criação de uma ranhura [28]

4.4.2. TORNEAMENTO

O torneamento é um processo de maquinagem que emprega ferramentas de corte de ponto único para remover o material da peça de trabalho rotativa. Nas operações de torneamento, a máquina - tipicamente um torno CNC - alimenta a ferramenta de corte num movimento linear ao longo da superfície da peça de trabalho rotativa, removendo o material em torno da circunferência até que o diâmetro desejado seja alcançado, para produzir peças cilíndricas com características externas e internas.

Relativamente às principais operações exteriores existe o torneamento cilíndrico exterior em que a peça está animada de movimento de rotação e o movimento de avanço da ferramenta de corte que é ao longo da superfície de revolução sempre paralelamente ao eixo da peça removendo uma camada de material, deixando para trás a zona maquinada (parede cilíndrica exterior).

O torneamento de faces exterior também se insere nesta categoria e é feita quando a peça apresenta um furo e está animada de movimento de rotação, porém o movimento de avanço da ferramenta de corte é feito axialmente de fora para dentro removendo uma camada de material, deixando para trás a zona maquinada.

Avançado para o torneamento cónico exterior, a peça novamente em rotação é submetida a um movimento de avanço da ferramenta de corte que é feito obliquamente ao eixo da peça removendo uma camada de material.

Finaliza-se o perfil exterior com a abertura de rosca exterior, a peça em rotação entra em contacto com a ferramenta através do avanço da mesma, que deslocando-se ao longo da superfície de revolução sempre paralela ao eixo da peça com avanço constante cria os filetes da rosca.

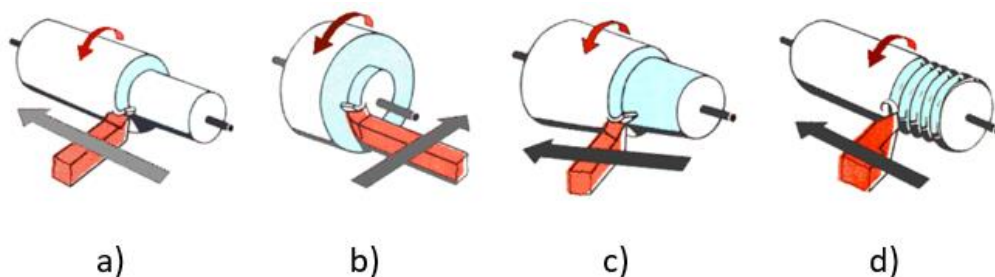


Figura 4.11 - a) Torneamento Cilíndrico Exterior [29]; b) Torneamento de Faces Exterior [29]; c) Torneamento Cónico Exterior [29]; d) Abertura de Rosca Exterior [29]

Relativamente às principais operações interiores fazem parte destas o torneamento cilíndrico interior que se assemelha ao exterior, porém a única diferença é que a penetração é feita, tal como o nome indica no lado interior da peça. Torneamento de faces interior também tem a mesma essência que o processo feito no exterior, mas, novamente, a ferramenta executa o movimento de penetração no interior da peça.

Finalmente, tanto o torneamento cónico interior e a abertura de rosca interior seguem os mesmos princípios que o processo feito no exterior da peça, distinguem-se apenas, como os restantes dos processos interiores, por efetuar a primeira penetração na parte de dentro da peça, como ilustrado na figura abaixo.

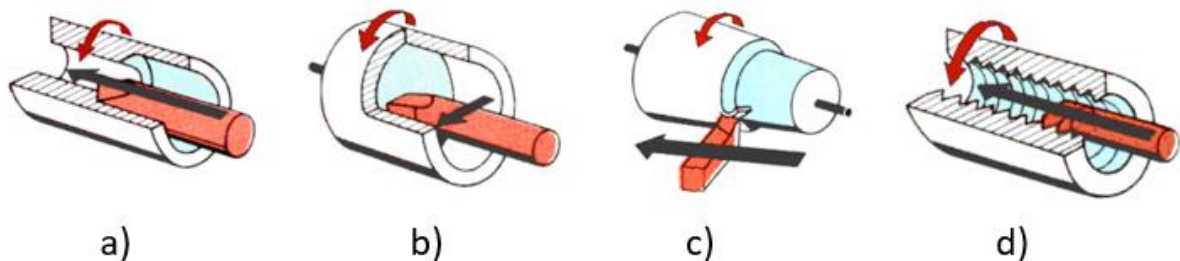


Figura 4.12 - a) Torneamento Cilíndrico Interior [29]; b) Torneamento de Faces Interior [29]; c) Torneamento Cónico Interior [29]; d) Abertura de Rosca Interior [29]

4.5. COMENTÁRIOS E SÍNTESE DO CAPÍTULO

O objetivo geral deste capítulo foi fornecer uma visão geral da maquinaria de controlo numérico de computador, uma das formas de produção mais utilizadas atualmente na indústria e que porventura também consiste no tipo de maquinaria na qual a controladora se engloba.

Este capítulo integrou desde os tipos de máquinas que existem, abordando apenas os de três e os de cinco eixos, visto que são estas as máquinas utilizadas no problema prático e a enunciação de todas as etapas para a realização de um processo de maquinaria CNC com sucesso. Nestas etapas tem-se a conceção de um modelo CAD, seguido das simulações CAE, posteriormente o CAM, depois a preparação de uma máquina CNC e por fim a execução da operação. É relevante também mencionar alguns tipos de operações que se pode realizar numa CNC, incidindo mais na fresagem e no torneamento, sendo estas as mais comuns na manufatura.

5. HAAS NEXT GENERATION CONTROL

5.1. INTRODUÇÃO

O Simulador *Next Generation Control* é o controlador mais recente fornecido pela Haas e, como acima referido, é o principal objetivo desta dissertação. Neste capítulo, ocorrerá uma repartição do controlador, incidindo nas partes o constituem, todas as funcionalidades possíveis com o controlador e até comparar como proceder em diversas operações, neste caso fresagem e torneamento.

Para criar peças com elevada precisão e eficiência, a manufatura moderna depende extensivamente da automação, particularmente das máquinas de controlo numérico de computador (CNC). As máquinas CNC executam operações seguindo programas de peça, ou sequências de comandos que uma máquina deve seguir para criar uma peça. Os comandos do programa são escritos usando códigos-G, códigos alfanuméricos que comunicam informações importantes para a máquina, incluindo que ferramenta de corte usar e onde posicioná-la, bem como que funcionamento e quão rapidamente executá-lo.

Existem muitos tipos e fabricantes de controladores CNC, dispositivos numa máquina CNC que correm, armazenam e editam os comandos de um programa de peça e outras informações de coordenação. Estes painéis de controlo ou controladores, normalmente têm um teclado e ecrã de exibição. A *Haas Automation®*, Inc. faz um dos controlos CNC mais comuns utilizados na fabricação. A sua versão mais recente é o *Haas Next Generation Control* (NGC), que oferece gráficos e navegação atualizados, entre outras alterações ao Controlo Clássico da Haas. Enquanto algumas máquinas CNC podem usar controlos feitos por um fabricante diferente, cada fresadora Haas CNC ou torno vêm com o controlo Haas.



Figura 5.1 - Simulador Next Generation Control do fabricante Haas

5.2. BREAKDOWN DA NEXT GENERATION CONTROL

Relativamente aos componentes desta controladora temos a interface principal do utilizador (*User Interface - UI*), hardware e software de computador, geralmente incluindo gráficos, botões e informações exibidas num ecrã, que permite que o operador interaja facilmente com uma máquina ou computador. A interface do utilizador concebida para máquinas Haas é o painel de controlo, composto por controlos manuais, um teclado de controlo que os operadores usam para executar e editar programas de peças e uma tela de exibição.

O painel dispõe de vários controlos manuais no lado esquerdo. Os botões *POWER ON* e *POWER OFF* que ligam e desligam a controladora. O botão *EMERGENCY STOP* desliga imediatamente todas as funções da máquina, os operadores devem utilizar este botão para evitar a colisão da ferramenta com uma peça ou fixação, por exemplo. O *jog handle* rotulado no comando como *HANDLE JOG*, é um manípulo giratório que move os componentes da máquina em incrementos ajustáveis quando em *jog mode*, modo operacional que permite o controlo manual do movimento do eixo estável. O botão *CYCLE START* inicia ou reinicia um programa e o botão *FEED HOLD* para o movimento do eixo da máquina, permitindo que o

spindle continue a rotação. Um conjunto de controlos no lado direito do painel inclui o modo de configuração, que desbloqueia ou bloqueia as funcionalidades de segurança (normalmente feito com uma chave) e uma porta *USB*.



Figura 5.2 - a) Conjunto de botões de controlo manual no lado esquerdo da NGC; b) Conjunto de controlos no lado direito do painel

É do interesse desta dissertação analisar, logicamente, o próprio teclado de controlo que é essencial para uma maquinagem bem-sucedida. Este teclado contém oito áreas funcionais, com cada uma das áreas com a sua função específica no processo de fabrico. Estas áreas, visíveis na figura 5.3, são

-
- 1- FUNCTION KEYS, AS TECLAS DE FUNÇÃO;
 - 2- CURSOR KEYS, AS TECLAS DE CURSOR;
 - 3- DISPLAY KEYS, AS TECLAS DE VISOR;
 - 4- MODE KEYS, AS TECLAS DE MODO;
 - 5- NUMERIC KEYS, AS TECLAS NUMÉRICAS;
 - 6- ALPHA KEYS, AS TECLAS ALFABÉTICAS;
 - 7- JOG KEYS, TECLAS DE INCREMENTO;
 - 8- OVERRIDES KEYS, TECLAS DE SOBREPOSIÇÕES.

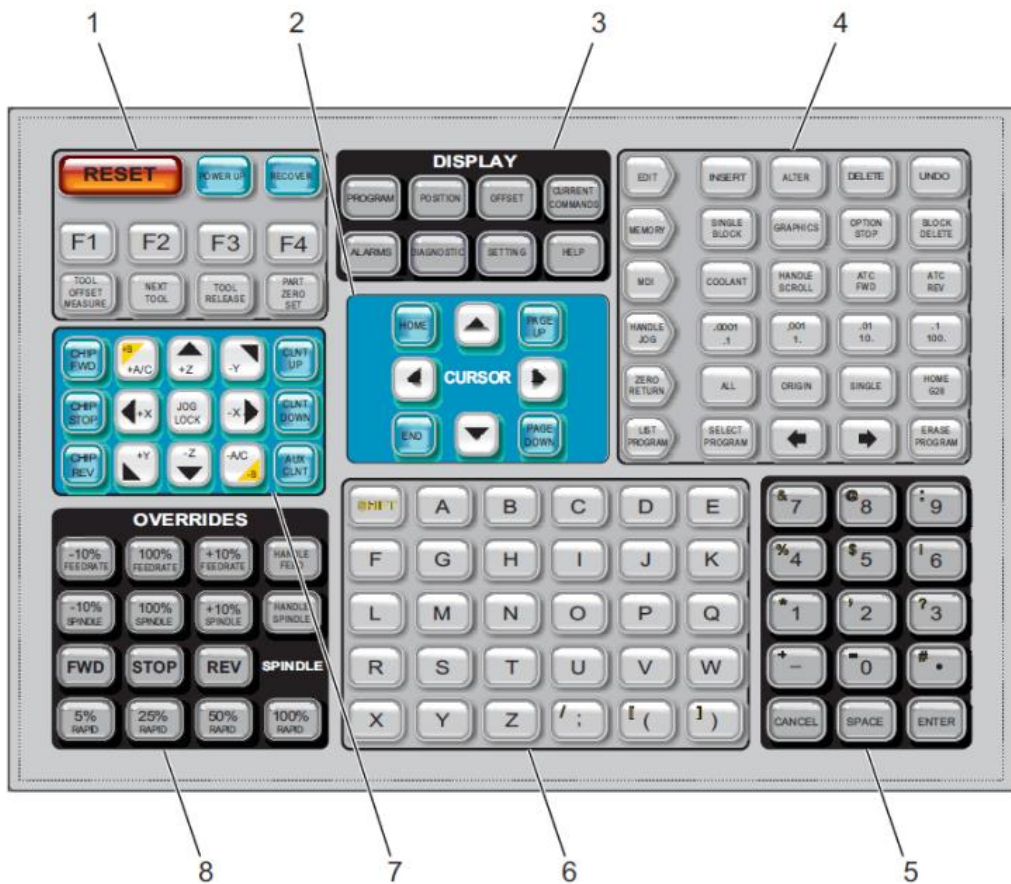


Figura 5.3 - Teclado do Controlador Haas Next Generation Control (NGC) [1]

5.2.1. FUNCTION KEYS

As teclas de função estão localizadas no canto superior esquerdo do teclado. As teclas de função do comando desempenham uma variedade de tarefas. Há três linhas desta área funcional. A linha superior contém as teclas "RESET", "POWER UP" e "RECOVER" a linha média contém as teclas do tipo "F" e a linha inferior contém as teclas designadas aos *offsets* das ferramentas e de trabalho.



Figura 5.4 – Teclas de Função

A tecla “*RESET*” para o programa de funcionamento e apaga quaisquer alarmes, sobreposições e texto de entrada. O “*RESET*” também move o cursor realçado de volta para a primeira linha de código do programa em alguns modos.

Geralmente, premir a tecla “*POWER UP*” coloca todos os eixos à sua posição zero. No caso do torno CNC, premir a tecla novamente permite que os operadores selecionem a ordem em que os eixos voltam a zero.

A tecla “*RECOVER*” tem funções diferentes dependendo da configuração da máquina. Por exemplo, se uma rosca ficar presa durante uma operação do torno CNC, premir o “*RECOVER*” ativa o modo de recuperação da rosca, que lista passos para a remover com segurança. Se o *tool changer* de uma fresadora CNC experimentar uma falha ao mudar uma ferramenta, premir “*RECOVER*” ativa o modo de recuperação de mudança de ferramenta, que lista passos para voltar ao funcionamento normal.

As teclas “F” têm uma variedade de utilizações que variam com base no separador de menu ativo. Por exemplo, muitos separadores incluem uma barra de pesquisa no canto superior direito do painel. Nesses casos, a pressionando “*F1*” introduzirá texto na barra de entrada como uma pesquisa para apresentar quaisquer resultados e, conseqüentemente, premir novamente a tecla limpará o texto da barra de pesquisa. Quando um separador tem um submenu, os operadores pressionam “*F1*” para aceder a esse mesmo submenu. Em alguns modos, tais como o modo de edição, as teclas F permitem que os utilizadores cortem, copiem e coleem texto ou código de e para uma área de transferência em alguns separadores.

As teclas da linha de baixo diferem para a fresa CNC e o torno, por executar tarefas específicas. Por exemplo, as fresadoras CNC utilizam “*TOOL OFFSET MEASURE*” para estabelecer a localização do eixo Z, enquanto estabelecem compensações de comprimento da ferramenta e “*PART ZERO SET*” para registrar compensações de trabalho durante a configuração da peça. O “*TOOL RELEASE*” liberta a ferramenta do *spline* no modo MDI (Manual Data Input), *jog mode* ou qualquer modo de retorno a zero. Finalmente “*NEXT TOOL*” é utilizado para selecionar a próxima ferramenta no carrossel de ferramentas.

5.2.2. CURSOR KEYS

As teclas de cursor estão localizadas abaixo das teclas de visor no centro do teclado.



Figura 5.5 – Teclas de Cursor

As teclas de seta do cursor encontram-se no centro do teclado de controlo. Estas teclas permitem aos operadores navegar e alternar através de vários planos, separadores, tabelas, campos e muito mais, na tela do ecrã. Como os seus símbolos básicos sugerem, as teclas de seta direcionais permitem que os utilizadores movam o cursor para cima, para baixo, para a esquerda e para a direita através das opções de programa ou ecrã. Se o plano tiver uma barra de deslocação, utilizando as setas do cursor move a barra de deslocação incrementalmente para cima ou para baixo numa página. Frequentemente encontrado ao lado de uma linha de texto numa tabela, o símbolo ">" indica que o utilizador pode premir a tecla de seta direita para selecionar entre opções, como "On" ou "Off", por exemplo. Finalmente, os operadores podem utilizar as teclas de seta do cursor para realçar, ou selecionar, um bloco ou linha de texto.

As restantes teclas de cursor ajudam os operadores a navegar rapidamente através de informações no ecrã, como qualquer tabela ou lista com vários itens. A tecla "HOME" leva os utilizadores ao primeiro ou mais alto item no ecrã, e a tecla "END" leva os utilizadores ao último ou mais baixo item no plano. Se o painel apresentar uma lista de itens com uma barra de deslocação, premir "PAGE UP" deslocará o cursor para o item mais alto entre o conjunto de itens atualmente apresentados na página e premir a "PAGE DOWN" irá mover o cursor para o último item dos itens atualmente apresentados. Premir a página para cima ou para baixo novamente irá mover o cursor para cima ou para baixo uma página para o próximo conjunto de itens.

5.2.3. DISPLAY KEYS

A teclas de Visor estão localizadas a meio da tecla na parte superior. Estas teclas permitem aos operadores controlar e alterar a forma como a informação aparece no ecrã. A maioria das teclas de exibição abre um separador com vários planos, em que os utilizadores podem navegar facilmente utilizando as teclas do cursor. Geralmente, planos ativos aparecem azul-claro ou branco, e planos inativos parecem cinzentos. Antes de mostrar as teclas disponíveis desta área funcional é importante identificar o esquema básico da tela de exibição, que neste caso está em modo de memória ou de funcionamento, "MEM", ou seja, durante a execução de um programa.

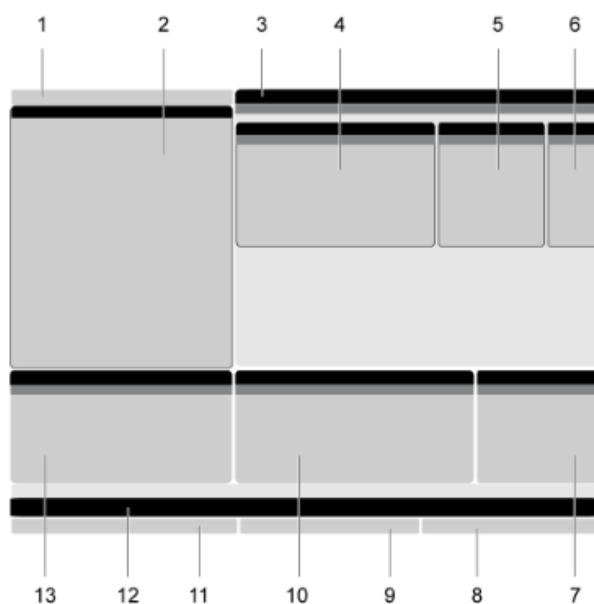


Figura 5.6 - Esquema da tela de exibição no modo "MEM" [30]

Onde:

-
1. MODE, NETWORK AND TIME STATUS BAR;
 2. PROGRAM DISPLAY;
 3. MAIN DISPLAY / PROGRAM / OFFSETS / CURRENT COMMANDS / SETTINGS / GRAPHICS / EDITOR / VPS / HELP;
 4. ACTIVE CODES;
 5. ACTIVE TOOL;

6. COOLANT;
7. TIMERS, COUNTERS / TOOL MANAGEMENT;
8. ALARM STATUS
9. SYSTEM STATUS BAR;
10. POSITION DISPLAY / AXIS LOAD;
11. INPUT BAR;
12. ICON BAR;
13. SPINDLE STATUS

Como já foi dito, o plano ativo terá um fundo branco ou azul-claro, e só é possível estar um plano ativo de cada vez. Por exemplo, quando se navega até ao separador dos offsets de ferramentas, o fundo da tabela torna-se branco. Em seguida, é permitido fazer alterações aos dados. Na maioria dos casos, muda-se o plano ativo com as teclas de Visor. Teclas as quais que estão evidenciadas na figura 5.7.



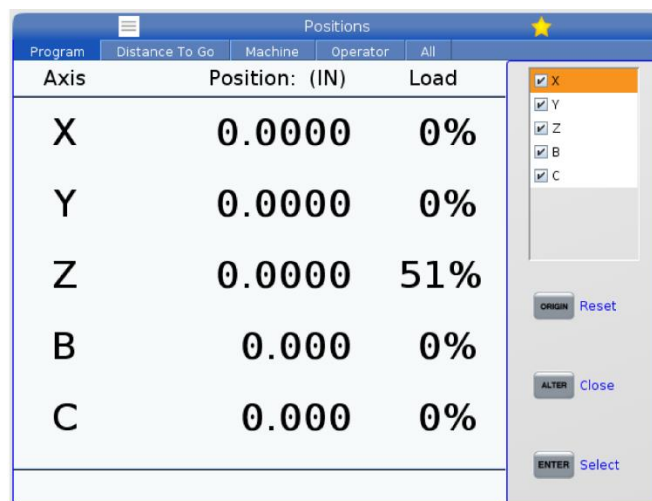
Figura 5.7 – Teclas de Visor

Premir a tecla “PROGRAM” apresenta o programa de peças ativa e os códigos ativos na maioria dos modos de máquina.

Premir a tecla “POSITION” permite que os operadores alterem entre quatro planos de posição em vários modos de máquina: trabalho, programa, distância a percorrer, máquina e operador. Geralmente, estas posições exibem localizações do eixo da máquina relativamente ao zero-peça, uma posição comandada, zero-máquina (a origem do sistema de coordenadas definido pelo operador) e um ponto de eixo zero onde o operador começou os incrementos.

O separador exibido quando premido a tecla “POSITION” também inclui a opção de visualizar todas as posições no mesmo plano simultaneamente.

É possível ainda, dentro da interface do “POSITION”, adicionar ou remover eixos pressionando a tecla “ALTER” das teclas de modo enquanto este plano está ativo. Os eixos visualizados no ecrã podem ser realçados usando as setas das teclas de cursor e ao pressionar a tecla “ENTER” das teclas numéricas num devido eixo realçado, liga e desliga o mesmo eixo do visor. Para identificar que eixos estão ativos ou inativos basta olhar para o lado direito do plano onde estão os eixos assinalados com uma marca de verificação caso estejam ativos. De notar que só é possível ter cinco eixos ativos em simultâneo.



Axis	Position: (IN)	Load
X	0.0000	0%
Y	0.0000	0%
Z	0.0000	51%
B	0.000	0%
C	0.000	0%

The interface also includes a control panel on the right with checkboxes for axes X, Y, Z, B, and C, and buttons for ORIGIN/Reset, ALTER/Close, and ENTER/Select.

Figura 5.8 - Separador da Posição dos Eixos

A tecla “OFFSET” permite que os operadores vejam as tabelas do offset das ferramentas e de trabalho quando trabalham em vários modos. Os operadores normalmente definem offsets automaticamente com uma sonda ou então no modo de Input manual de dados (Manual Data Input - MDI). Premindo a tecla “OFFSET” abre o plano dos offsets das ferramentas.

Tool Offset	Length Geometry(H)	Length Wear(H)	Diameter Geometry(D)	Diameter Wear(D)	Coolant Position
1 Spindle	0.	0.	0.	0.	2
2	0.	0.	0.	0.	2
3	0.	0.	0.	0.	2
4	0.	0.	0.	0.	2
5	0.	0.	0.	0.	2
6	0.	0.	0.	0.	2
7	0.	0.	0.	0.	2
8	0.	0.	0.	0.	2
9	0.	0.	0.	0.	2
10	0.	0.	0.	0.	2
11	0.	0.	0.	0.	2
12	0.	0.	0.	0.	2
13	0.	0.	0.	0.	2
14	0.	0.	0.	0.	2
15	0.	0.	0.	0.	2
16	0.	0.	0.	0.	2
17	0.	0.	0.	0.	2
18	0.	0.	0.	0.	2

Enter A Value

TOOL OFFSET MEASURE Tool Offset Measure F1 Set Value ENTER Add To Value F4 Work Offset

Figura 5.9 - Offset da Ferramenta (1)

Legendado com o **número 1** é visível a zona onde o operador identifica qual a ferramenta ativa, ou seja, que ferramenta está no spindle.

Avançando para o **número 2** onde se encontra a lista de offsets de ferramentas onde tem um limite máximo de duzentas ferramentas.

O **número 3** é designado à geometria do comprimento, ou seja, o comprimento de ponta a ponta da ferramenta, e desgaste do comprimento que é a compensação que se dá à ferramenta em relação ao desgaste a nível do comprimento. Ambos designados pela letra “H” e estas duas colunas estão ligadas aos valores G43 (H) e se for inserido o comando G43 H01 a partir de um programa para a ferramenta nº1, o programa irá buscar estes valores.

O **número 4** aponta o diâmetro da geometria, ou seja, o diâmetro da ferramenta em questão e o diâmetro do desgaste que indica a compensação que se deve dar à ferramenta em relação ao desgaste a nível do diâmetro. Ambos designados pela letra “D” e são usadas para compensação do cortador e inserindo o comando G41 D01 irá buscar este valor.

A posição do líquido de arrefecimento para a ferramenta é definida na coluna onde está situado o **número 5**.

A tecla legendada pelo **número 6** (*TOOL OFFSET MEASURE*) permite definir os valores do offset, lá são encontradas quatro funcionalidades o “*TOOL OFFSET MEASURE*” que indica a medida de offset da ferramenta, a tecla “*F1*” que define um valor, a tecla “*ENTER*” que adiciona ao valor e a tecla “*F4*” que navega automaticamente para o separador do offset de trabalho.

Offsets							
Tool	Work	7	8	9	10	11	12
Active Tool: 1							
Tool Offset	Flutes	Actual Diameter	Tool Type	Tool Material	Tool Pocket	Category	
1 Spindle	0	0.	None	User	Spindle		
2	0	0.	None	User	1	*	
3	0	0.	None	User	2		
4	0	0.	None	User	3		
5	0	0.	None	User	4		
6	0	0.	None	User	5		
7	0	0.	None	User	6		
8	0	0.	None	User	7		
9	0	0.	None	User	8		
10	0	0.	None	User	9		
11	0	0.	None	User	10		
12	0	0.	None	User	11		
13	0	0.	None	User	12		
14	0	0.	None	User	13		
15	0	0.	None	User	14		
16	0	0.	None	User	15		
17	0	0.	None	User	16		
18	0	0.	None	User	17		

Enter A Value

TOOL OFFSET MEAS Tool Offset Measure F1 Set Value ENTER Add To Value F4 Work Offset

Figura 5.10 - Offset da Ferramenta (2)

O **número 7** diz respeito aos “*Flutes*”, ou seja, as ranhuras em espiral na ferramenta que permitem a formação e evacuação da apara. Quando esta coluna está com os valores corretos, é possível calcular corretamente a carga de apara exibido no plano principal do spindle.

A coluna legendada com o **número 8**, o “*Actual Diameter*” que como o nome indica é o diâmetro real da ferramenta e é utilizada para calcular corretamente a velocidade da superfície exibida no plano principal do spindle.

O **número 9** identifica a coluna “*Tool Type*”, ou seja, para que tipo de operação a ferramenta será utilizada, premindo a tecla “*F1*” das teclas de função aparecerão as opções: “*None, Drill, Tap, Shell Mill, End Mill, Spot Drill, Ball Nose e Probe*”, aqui é decidido que ciclo de sonda necessária para medir as características da ferramenta. Quando este setor está definido para “*Drill, Tap, Spot Drill, Ball Nose ou Probe*”, a sonda irá ao longo da linha central da ferramenta para o comprimento, enquanto quando está definido para “*Shell Mill ou End Mill*” a sonda percorre a borda das ferramentas.

O **número 10** responsabiliza-se por ser o “*Tool Material*”, ou seja, tal como o nome indica, o material da ferramenta, logo, seguindo a mesma lógica que o ponto acima, premindo “*F1*” disponibilizará as opções “*User, Carbide, Steel*” e o “*ENTER*” define o material e o “*CANCEL*” sairá desta funcionalidade (ambas estas teclas encontradas nas teclas numéricas).

O **número 11** legenda o “*Tool Pocket*” que indica em qual das vagas é que a ferramenta se encontra.

Finalmente o “*Tool Category*” está evidenciado pelo **número 12**, e designada a categoria da ferramenta, ou seja, se é configurada como grande, pesada ou até extra-grande. Para fazer alguma alteração, o operador apenas realça a coluna e prime a tecla “*ENTER*”. Será então exibida a tabela de ferramentas onde será permitido fazer as alterações necessárias.

Tool	Work	13	14	15	16	17
Active Tool: 1						Coolant Position: 1
Tool Offset	Approximate Length	Approximate Diameter	Edge Measure Height	Tool Tolerance	Probe Type	
1 Spindle	0.	0.	0.	0.	0.	None
2	0.	0.	0.	0.	0.	None
3	0.	0.	0.	0.	0.	None
4	0.	0.	0.	0.	0.	None
5	0.	0.	0.	0.	0.	None
6	0.	0.	0.	0.	0.	None
7	0.	0.	0.	0.	0.	None
8	0.	0.	0.	0.	0.	None
9	0.	0.	0.	0.	0.	None
10	0.	0.	0.	0.	0.	None
11	0.	0.	0.	0.	0.	None
12	0.	0.	0.	0.	0.	None
13	0.	0.	0.	0.	0.	None
14	0.	0.	0.	0.	0.	None
15	0.	0.	0.	0.	0.	None
16	0.	0.	0.	0.	0.	None
17	0.	0.	0.	0.	0.	None
18	0.	0.	0.	0.	0.	None

Enter A Value

TOOL OFFSET MEAS Automatic Probe Options F1 Set Value ENTER Add To Value F4 Work Offset

Figura 5.11 - Offset das Ferramentas (3)

A coluna indicada pelo **número 13**, “*Approximate Length*”, comprimento aproximado é utilizada pela sonda e indica a esta a distância da ponta da ferramenta até o início do spindle, de notar que se for utilizado qualquer ferramenta que não for “*Shell mil*” ou “*end mill*” o operador pode deixar esta coluna em branco.

O **número 14** aponta o “*Approximate Diameter*”, ou seja, o diâmetro aproximado e também é utilizado pela sonda pois diz à mesma o diâmetro da ferramenta.

O **número 15** é designado ao “*Edge Measure Height*”, ou seja, a altura da medida da borda, outra coluna também utilizada pela sonda onde vai procurar a distância abaixo da ponta da ferramenta, distância esta que a ferramenta tem que se mover quando o diâmetro desta é sondada. Esta definição é utilizada quando a ferramenta for de raio elevado ou a ferramenta cujo diâmetro esteja a ser sondado seja de chanfro.

O **número 16** legenda a “*Tool Tolerance*”, ou seja, a tolerância da ferramenta, esta coluna também é utilizada pela sonda e é usada para verificar a danificação da ferramenta que resulta de desgaste da ferramenta durante o funcionamento que resulta na falha da

mesma, ou detecção de desgaste em geral. Esta coluna fica em branco caso o operador introduza à mão os valores do comprimento e diâmetro da ferramenta.

Finalmente o **número 17** diz respeito ao “*Probe Type*”, ou seja, o tipo de sonda, aqui pode se definir a rotina mais adequada pela sonda. As opções nesta funcionalidade são “0 – Não será utilizado sonda”; “1 – Sonda de comprimento (Com rotação)”; “2 – Sonda de comprimento (Sem rotação)” e “3 – Sonda de comprimento e de diâmetro (Com rotação)”.

Existe também a possibilidade de visualizar as tabelas dos offsets de trabalho, para isso após premir a tecla “*OFFSET*” que leva o operador ao plano das tabelas das ferramentas, é possível premir a tecla “*F4*” das teclas de função e aparecerá as tabelas de offset de trabalho. Estes offsets podem ser introduzidos manualmente ou automaticamente com a ajuda de uma sonda.

Offsets				
Tool		Work		
Axes Info				
1 G Code	2 X Axis Y Axis Z Axis			3 Work Material
G52	0.	0.	0.	No Material Selected
G54	0.	0.	0.	No Material Selected
G55	0.	0.	0.	No Material Selected
G56	0.	0.	0.	No Material Selected
G57	0.	0.	0.	No Material Selected
G58	0.	0.	0.	No Material Selected
G59	0.	0.	0.	No Material Selected
G154 P1	0.	0.	0.	No Material Selected
G154 P2	0.	0.	0.	No Material Selected
G154 P3	0.	0.	0.	No Material Selected
G154 P4	0.	0.	0.	No Material Selected
G154 P5	0.	0.	0.	No Material Selected
G154 P6	0.	0.	0.	No Material Selected
G154 P7	0.	0.	0.	No Material Selected
G154 P8	0.	0.	0.	No Material Selected
G154 P9	0.	0.	0.	No Material Selected
G154 P10	0.	0.	0.	No Material Selected
G154 P11	0.	0.	0.	No Material Selected

4 — F1 To view options. F3 Probing Actions F4 Tool Offsets
 Enter A Value ENTER Add To Value

Figura 5.12 - Offsets de Trabalho

O **número 1** diz respeito ao “*G code*”, como o nome indica, o código G, esta coluna exhibe todos os códigos G de offset de trabalho.

O **número 2** responsabiliza-se pelo “*Axis Info*”, aqui introduz-se o valor do offset de trabalho para cada eixo (X, Y Z). Se houver mais eixos na CNC a ser manuseada, estes também aparecerão nesta tabela.

Legendado pelo **número 3** tem se o “*Work Material*”, ou seja, o material de trabalho que tal como os offsets de ferramenta enuncia que material está a ser trabalhada.

Finalmente o **número 4** indica teclas que realizam diferentes funções. A tecla “F1” abre as opções consoante a zona realçada e introduz um valor; a tecla “F3” permite visualizar as ações da sonda; “F4” volta às tabelas das ferramentas e a “ENTER” adicionar ao valor.

Premindo a tecla “CURRENT COMMANDS” apresentará informações operacionais sobre o programa atual em funcionamento, neste modo há diversas funcionalidades que o operador pode navegar para melhor compreender, verificar ou até alterar o funcionamento.

A primeira janela que aparece quando se prime a tecla “CURRENT COMMANDS” é a “DEVICES”, este separador fornece informação acerca dos dispositivos controláveis manualmente na máquina. Dentro dos “DEVICES” há ainda mais dois separadores que o operador pode explorar.

Primeiramente, através do separador “Mechanisms”, é exibido possíveis componentes da máquina e opções da mesma. Navega-se pelas opções utilizando as setas “UP” e “DOWN” de modo a obter mais informações sobre o funcionamento e utilização. As páginas sugeridas fornecem instruções detalhadas sobre as funções dos componentes da máquina, dicas rápidas, bem como links para outras páginas para auxiliar o operador no manuseamento da máquina.

Este separador diferencia-se caso a CNC seja um torno ou uma fresador, com diferentes componentes presentes em casa janela, primeiramente analisa-se este separador para o torno.



Figura 5.13 - Mechanisms Torno (1)

A opção “*Main Spindle*” permite ao operador rodar o spindle no sentido horário ou no sentido anti-horário num valor definido de rotações por minuto (RPM). As rotações máximas são limitadas pelas definições máximas de RPM da máquina. Utiliza-se as setas nas teclas de cursor para mover de área para área e define-se os RPM do spindle por inserir o valor desejado e posteriormente premir a tecla “F2”. Se o operador carregar constantemente na tecla “F3” o spindle irá descrever uma rotação no sentido horário e o inverso acontece se for premida constantemente a tecla “F4”.



Figura 5.14 - Mechanisms Torno (2)

A funcionalidade “*Parts Catcher*” responsabiliza-se por estender e retrain o removedor de aparas. Premindo a tecla “F2” estende o removedor, que fica demonstrado na tabela por baixo da coluna “*State*” e acionando novamente a tecla retrai o removedor. Por outro lado, a tecla “F3” estende parcialmente o removedor de aparas para uma posição definida pelo operador.

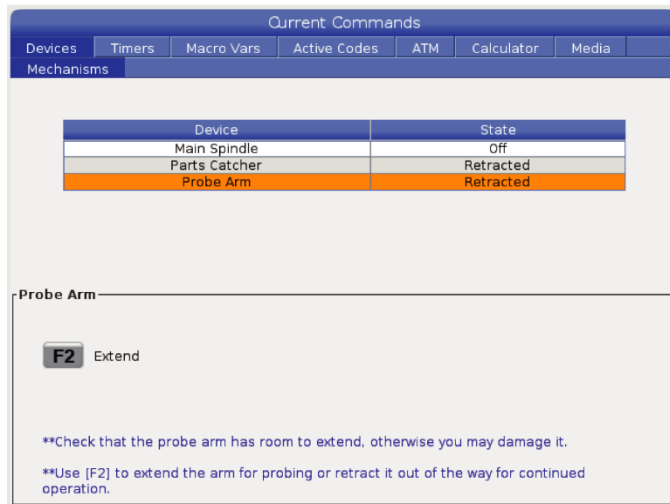


Figura 5.15 - - Mechanisms Torno (3)

A última linha da tabela destina-se às opções do “Probe Arm” ou seja permite estender ou retrain a sonda e este movimento é feito da mesma maneira que o removedor, premindo a tecla “F2” e verifica-se o estado da sonda na coluna do “State”.

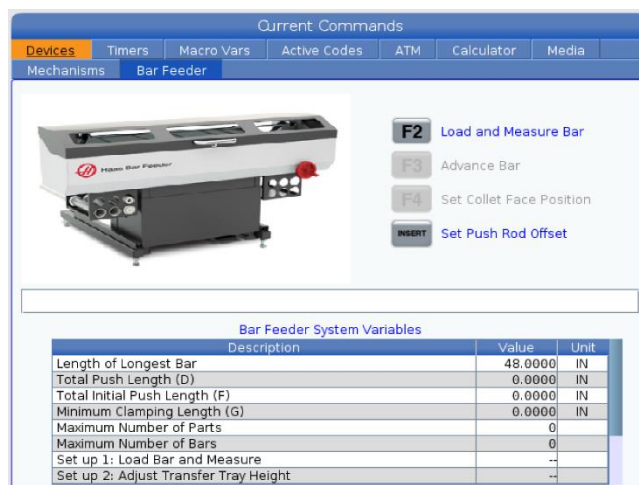


Figura 5.16 - Opções do Bar Feeder

No caso da CNC estar equipada com um “Bar Feeder” este separador dará informações acerca do mesmo, sendo possível carregar e medir as barras, premindo a tecla “F2”, iniciar o avanço da barra (após o carregamento) premindo a tecla “F3”, definir a posição da face do *collet* premindo a tecla “F4” e ainda definir offsets do mecanismo que trata da inserção das barras na máquina, premindo a tecla “INSERT”. É ainda possível verificar as variáveis do

sistema do “*Bar Feeder*” presentes numa tabela abaixo das funcionalidades referidas acima, visível na figura 5.16.

No caso de uma fresadora CNC as tabelas dos mecanismos têm algumas diferenças.

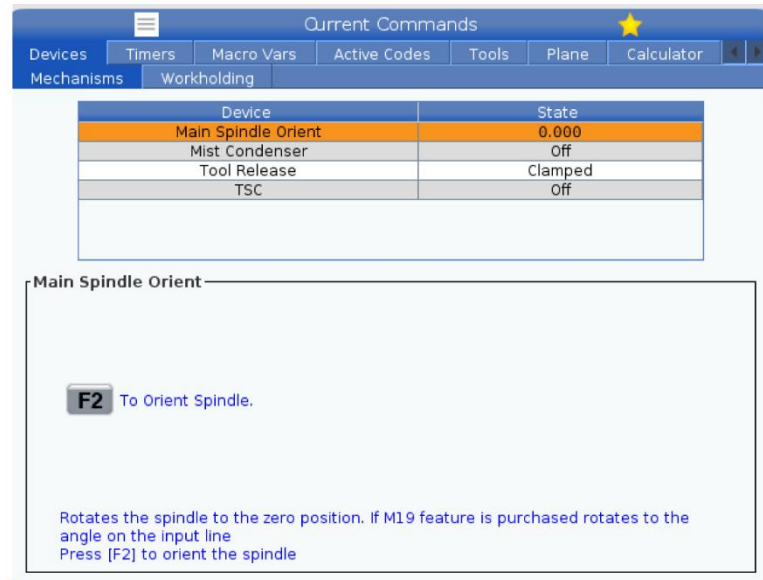


Figura 5.17 - Mechanisms Fresadora

À semelhança do torno, a opção “*Main Spindle*” permite ao operador rodar o spindle no sentido horário e anti-horário num valor definido de rotações por minuto (RPM). As rotações máximas são limitadas pelas definições máximas de RPM da máquina, insere-se também os RPM da mesma maneira, utilizando a tecla “*F2*”. E ao manter pressionado o “*F3*” e o “*F4*” irá rodar o spindle no sentido horário e anti-horário, respetivamente.

Abaixo do “*Main Spindle*” é encontrado o “*Mist Condenser*” que se responsabiliza por retirar névoa que pode estar contido na máquina. O “*Tool Release*” refere-se ao estado da ferramenta, se está fixada ao spindle ou não, seguindo a mesma lógica “*F2*” permitirá alterar esta definição.

Finalmente o “*TSC*” sigla para “*Through-Spindle Coolant*” é a funcionalidade que ejeta líquido refrigerante da ponta da ferramenta, os benefícios disto é que com esta funcionalidade é possível ao operador retirar a peça quando a CNC realiza operações de furação e roscagem, o que melhora o acabamento da operação e reduz o tempo de fabrico.

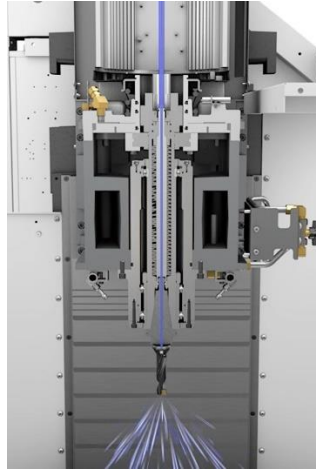


Figura 5.18 - Through-Spindle Coolant [31]

Porém a maior diferença deste plano dos “Devices” do Torno para a Fresadora é um separador destinado para os apertos da peça, denominado de “Workholding”.

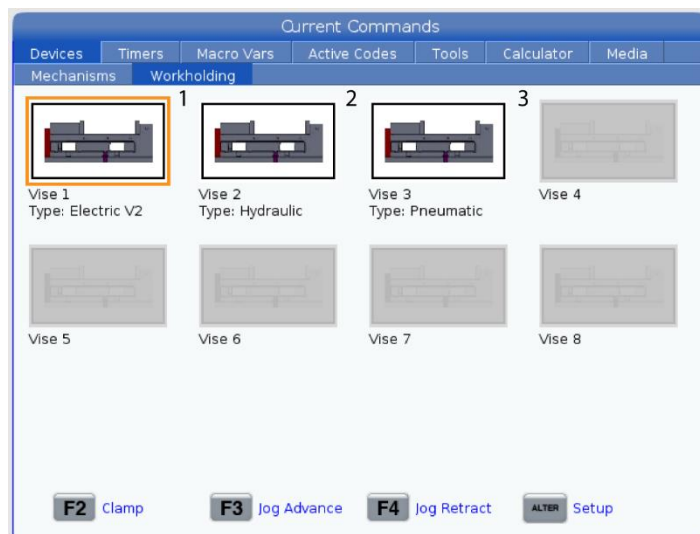


Figura 5.19 - Workholding

Neste separador é visível os vários tipos de aperto associados com a operação, o controlo suporta os apertos da Haas “*Electric V2*”, ou seja, vise elétrica legendado com o **número 1**, o “*Hydraulic*”, ou seja vise hidráulica legendado com o **número 2** e finalmente o “*Pneumatic*”, a vise pneumática legendada com o **número 3**.

A partir deste separador é possível ao operador configurar os dispositivos de aperto, ativar e desativar os dispositivos, prender e soltar o aperto e ainda avançar e/ou retrain o *jog*. De notar que é possível acionar até oito dispositivos de aperto.

Fechado o assunto dos dispositivos, o separador vizinho deste é o que se refere aos “Timers”, aqui neste separador, o operador é presenciado por informações relativas a:

-
- A DATA E A HORA ATUAL;
 - A ENERGIA TOTAL QUE ESTÁ A SER GASTA;
 - TEMPO TOTAL DO INÍCIO DO CICLO;
 - TEMPO TOTAL DE ALIMENTAÇÃO;
 - CONTADORES DE M30, SEMPRE O QUE UM PROGRAMA CHEGA A UM COMANDO M30 (FIM OU RESET DE UM PROGRAMA), AMBOS OS CONTADORES INCREMENTAM POR UM;

Ao lado dos “Timers” tem o separador dos Macros, este plano exhibe uma lista de variáveis das macros e os seus devidos valores. O controlo atualiza estes valores ao longo do decorrer do programa e o operador, neste plano pode alterar o valor das variáveis.

Seguindo a coluna dos separadores encontramos o separador “Tools”, separador este que é dividido em 3, o “Tool Table”, o “Tool Usage” e o “ATM”.

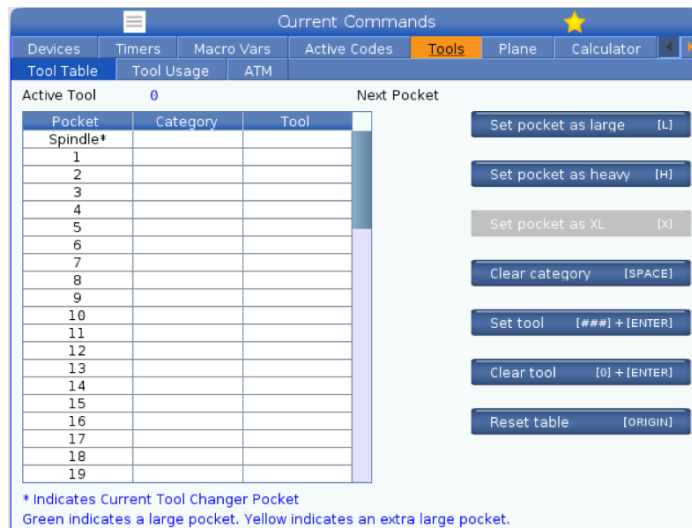


Figura 5.20 - Tool Table

Esta secção informa como utilizar a tabela de ferramentas para dar informações de controlo sobre as ferramentas.

O “Active Tool” mostra qual que número de ferramenta está instalada no spindle, e o “Next Pocket” o número da próxima vaga. A coluna “Pocket”, “Category” e “Tool” são

informações acerca da ferramenta, como o número, a categoria e o tipo de, respetivamente. O asterisco indica em que vaga está a o *tool changer*.

Na extremidade direita há diferentes tipos de funcionalidades que o operador usa para determinar a categoria da ferramenta. “*Set Pocket as Large*” é utilizado quando uma ferramenta tem um diâmetro maior que cerca de 76.2 mm para máquinas de 40-taper e superior a 101.6 mm para máquinas de 50-taper [30]. Para categorizar a ferramenta com esta característica seleciona-se a ferramenta em questão e prime-se a tecla “L” das teclas numéricas. O “*Set Pocket as Heavy*” é usado quando uma ferramenta 40-taper de pelo menos 1.84 kg ou uma ferramenta 50-taper de pelo menos 5.44 kg é instalado na máquina [30]. Categoriza-se da mesma maneira que a característica anterior só que desta vez ao pressionar a tecla “H”. Finalmente o “*Set Pocket as XL*” é usada quando duas vagas adjacentes de cada lado da ferramenta são necessárias, e ao pressionar a tecla “X” com a ferramenta selecionada, caracteriza-a.

O “*Clear Category*” como o nome indica limpa categorizações prévias e isto é feito premindo a tecla “SPACE” quando certa ferramenta está destacada. “*Set Tool*” associa uma ferramenta a um certo número e ao destacar uma certa vaga o operador insere o número que quer dar à ferramenta e depois ao premir “ENTER” associa o devido número. De notar que apenas é possível associar um número por ferramenta de modo a evitar erros de ferramenta inválida. Consequentemente o “*Clear Tool*” é o processo inverso deste pois ao destacar uma ferramenta, premir “O” e depois o “ENTER” limpa a numeração feita à ferramenta.

Finalmente o “*Reset Table*” permite ao operador, ao pressionar a tecla “ORIGIN” das teclas de modo colocar os números da ferramenta por ordem sequencial em relação à posição nas vagas; remover todos os números das ferramentas dos números da vaga e ainda remover todas as características das ferramentas da coluna de categorias.

O separador da “*Tool Usage*” contém informações sobre as ferramentas utilizadas num programa. Esta tela irá permitir ao operador ler informações sobre cada ferramenta utilizada e estatísticas sobre a mesma sempre que esta for utilizada.

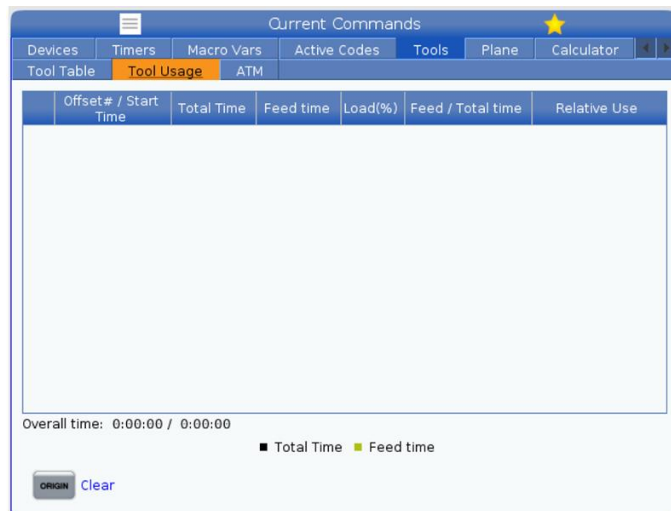


Figura 5.21 - Tool Usage

O “*Start Time*” indica o momento em que a ferramenta foi implementada no spindle; “*Total Time*” como o nome indica o tempo total em que a ferramenta esteve implementada no spindle. “*Feed Time*” designa-se ao tempo total de uso, o “*Load*” por sua vez diz respeito à carga máxima do spindle durante o tempo de uso e finalmente no “*Feed/Total Time*” é gerado um gráfico que representa o tempo total de uso em relação ao tempo total em que a ferramenta esteve implementada.

Finalmente o último subseparador do separador “*Tools*” é o “*ATM*” – “*Advanced Tool Management*”, aqui permite criar grupos de ferramentas duplicadas para a mesma ou diferentes operações.

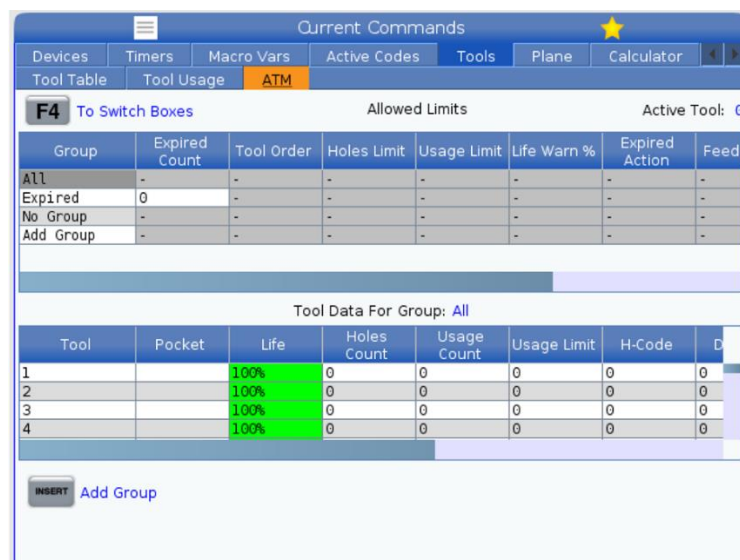


Figura 5.22 - ATM (Advanced Tool Management)

O ATM classifica ferramentas duplicadas ou de backup em grupos específicos. No programa, especifica um grupo de ferramentas ao invés de uma única. Esta funcionalidade rastreia a utilização da ferramenta em cada grupo e compara-a com os limites definidos pelo operador. Quando uma ferramenta atinge um limite, o controlo considera a mesma expirada e da próxima vez que o programa chamar pelo grupo de ferramentas que inclui a tal ferramenta, o controlo escolherá uma ferramenta não expirada dentro do grupo.

Quando uma ferramenta expira acenderá uma luz que irá piscar, o ATM automaticamente coloca a ferramenta num grupo designado para ferramentas expiradas e o grupo no qual esta ferramenta se encontra, haverá um destaque vermelho cobrindo-a.

Chegando às funcionalidades finais dos “*Current Commands*” é possível ainda, num dos separadores encontrar as calculadoras da máquina, no separador “*Calculators*”. Este separador inclui calculadoras para funções matemáticas básicas, cálculos de fresagem/torneamento e de roscagem.



Figura 5.23 - Calculadora para funções matemáticas básicas

A calculadora padrão tem funções semelhantes a uma calculadora normal do ambiente de trabalho, as operações disponíveis são adição, subtração, multiplicação, divisão, realização de raízes quadradas e até percentagens. Esta calculadora permite ao operador transferir com facilidade as operações e os resultados para a linha de input para que por sua vez é depois inserida nos programas. É possível ainda transferir resultados para as outras calculadoras disponíveis neste separador.

Para operar nesta calculadora o operador pode utilizar as teclas numéricas e/ou as letras alfabéticas que se encontram dentro dos parênteses reto. Estas letras significam:

-
- D. ADIÇÃO;
 - J. SUBTRAÇÃO;
 - P. MULTIPLICAÇÃO;
 - V. DIVISÃO;
 - E. ALTERNAR ENTRE + E -;
 - K. RAIZ QUADRADA;
 - Q. PERCENTAGEM;
 - S. ARMAZENAR MEMÓRIA (*MEMORY STORE "MS"*);
 - R. RECOLHA DA MEMÓRIA (*MOMERY RECALL "MR"*);
 - C. LIMPAR A MEMÓRIA (*MEMORY CLEAR "MC"*).

Após introduzir toda a informação na calculadora, o operador pode premir a tecla "ENTER" para obter o resultado da operação; a tecla "INSERT" para inserir os dados no fim da linha de input; "ALTER" para movimentar os dados na linha de input e finalmente a tecla "ORIGIN" que se responsabiliza por dar *reset* à calculadora.

A calculadora de fresagem/torneamento permite calcular automaticamente os parâmetros de maquinagem com base nas informações dadas. Quando o operador introduzir informações suficientes, a calculadora dispõe resultados nos campos relevante, estes campos ficarão marcados com um asterisco.



Figura 5.24 - Calculadora Fresagem/Torneamento

Utiliza-se as setas das teclas de cursor para movimentar de campo para campo, os valores inseridos nos campos podem ser feitos manualmente ou copiados da calculadora básica utilizando o “F3”. Nos campos “Work Material” e “Tool Material” utilizam-se as setas como indicado na imagem para visualizar as diferentes opções, finalmente os valores calculados automaticamente aparecerão destacados a amarelo se estes tiverem fora do intervalo recomendado para a peça e material da ferramenta. É importante notar também que quando todos os campos tiverem dados, sejam eles calculados ou inseridos, a calculadora irá apresentar um valor recomendado da potência para a operação.

Por fim, a calculadora de roscagem permite calcular automaticamente os parâmetros da operação com base em informações dadas. À semelhança com a calculadora anterior, mal haja informação suficiente, aparecerão os campos preenchidos com os valores calculados, também destacados com um asterisco.



Figura 5.25 - Calculadora de Roscagem

O modo de navegação nesta calculadora é igual à anterior, utilizando as setas das teclas cursor e a tecla “F3” também apresenta a mesma funcionalidade.

Para terminar a tecla “Current Comands”, o último separador a ser abordado é o dos “Active Codes”, ou seja, os códigos ativos no programa.

G-Codes	Address Codes	DHMT Codes	Speeds & Feeds
G00	N 0	D 00	Programmed Feed Rate 0. IPM
G17	X 0.	H 00	Actual Feed Rate 0. IPM
G90	Y 0.	M 00	G50 Max Spindle RPM 0 RPM
G94	Z 0.	T 00	Main Spindle
G20	I 0.		Programmed Speed 0 RPM
G40	J 0.		Commanded Speed 0 RPM
G43	K 0.		Actual Speed 0 RPM
G80	P 0		Direction Stop
G98	Q 0.		
G50	R 0.		
G54	O 000000		
G269	A 0.		
G64	B 0.		
G69	C 0.		
G170	U 0.		
G255	V 0.		
	W 0.		
	E 0.		

Figura 5.26 - Códigos Ativos

Este separador fornece informações apenas de leitura em tempo real acerca dos códigos que estão ativos no programa, especificamente, os códigos que definem o tipo de movimento, ou seja, movimento rápido (G00); linear (G01); circular (G02 e G03). O sistema de posicionamento, sendo ele absoluto ou incremental. A compensação da ferramenta de corte, seja ela à esquerda, direita ou desligado e por fim a o offset de trabalho e o ciclo ativo.

Avançando para a fila de baixo das teclas de visor, premir a tecla “ALARMS” permite que os operadores vejam todos os alarmes ativos, o histórico de alarmes da máquina, bem como quaisquer mensagens, como as deixadas por um supervisor. Um alarme é um problema de máquina, como um erro de código G, que impede automaticamente a máquina de executar programas de peça. Os alarmes aparecem como um código de 3 dígitos. Os operadores podem usar o código para pesquisar a diretoria dos alarmes para uma descrição detalhada de cada alarme para determinar a causa.

A tecla “DIAGNOSTIC” apresenta informações sobre a configuração da máquina. O submenu desta janela inclui informações de diagnóstico de “gauges” (marcas de paragem) na máquina, tais como pressão de ar e nível do líquido de arrefecimento, além de diagnósticos sobre o funcionamento do controlo. Premir a tecla “DIAGNOSTIC” também traz menus com separadores para manutenção e parâmetros.

A tecla “SETTING” permite que os operadores ajustem as definições a partir de um separador, incluindo as definições gerais do utilizador, tais como o sistema de dimensionamento do controlo e o sistema de coordenadas. As definições são listadas por grupo e de possível pesquisa por código.

Quando um ícone de "HELP" aparece no ecrã num plano, os operadores podem pressionar a tecla "HELP" para obter mais informações sobre um assunto, como uma explicação de um alarme que impede a máquina de executar um programa. Premir novamente a tecla irá trazer um manual do operador, que os operadores podem pesquisar e/ou navegar através de uma variedade de tópicos de apoio.

5.2.4. MODE KEYS

As teclas do modo estão localizadas no canto superior direito do teclado. O Haas NGC tem seis modos operacionais diferentes. Os operadores podem selecionar apenas um modo de cada vez utilizando uma das principais teclas de modo operacional na coluna extrema-esquerda. Cada tecla principal é em forma de seta, apontando para a direita em quatro teclas adicionais na mesma linha. Os operadores geralmente utilizam as teclas no direito de executar funções relacionadas com o modo principal correspondente. Algumas teclas, no entanto, podem ser utilizadas em vários modos.



Figura 5.27 – Teclas de Modo

A tecla "EDIT" permite que os operadores criem e editem programas de peças. No modo de edição, os operadores pressionam "INSERT", "ALTER" e "DELETE" para adicionar, alterar ou eliminar códigos-G no editor do programa, respetivamente. Pressionar "UNDO" reverte até às

40 alterações anteriores ao programa ou desfaz a seleção de um bloco realçado. No entanto, o “UNDO” não recuperará um bloco ou programa apagado.

Os operadores usam a tecla “MEMORY” para guardar programas de peças e executar programas armazenados no modo de memória. Outras teclas nesta linha ajustam o funcionamento de um programa armazenado, muitas vezes para testes e resolução de problemas. Premir “SINGLE BLOCK” corre apenas um bloco de código quando um operador pressiona o “CYCLE START”, que pode ser utilizado após ter sido feitas alterações num programa. O “GRAPHICS” permite que os operadores resolvam um problema com segurança de um programa executando uma simulação no ecrã sem qualquer movimento de máquina. “OPTION STOP” permite parar a máquina quando um programa atinge algum comando M01. A tecla “BLOCK DELETE” define o controlo para ignorar qualquer código numa linha que comece com o símbolo (“/”) durante a execução de um programa.

Os operadores selecionam o modo de entrada manual de dados (MDI) premindo a tecla “MDI”. No modo MDI, os operadores podem executar blocos de código para testar e configurar sem criar e guardar um programa inteiro para a memória. “COOLANT” liga e desliga o líquido refrigerante, independentemente do modo. Quando o controlo está no *jog mode*, o “HANDLE SCROLL” permite que os operadores percorram o texto utilizando o *jog handle*. Para rodar o trocador automático de ferramentas (*Automatic Tool Changer-ATC*) de uma fresadora CNC para as ferramentas seguintes e anteriores, os operadores utilizam “ATC FWD” e “ATC REV”. “TURRET FWD” e a “TURRET REV” giram o carrossel de ferramenta do torno CNC para a frente e inverte para a ferramenta seguinte ou anterior.

Premir o “HANDLE JOG” ativa o *jog mode* no controlo. Em *jog mode*, os operadores podem posicionar a torre do torno ou *spindle* da fresa ao longo dos eixos utilizando o *jog handle*. As teclas de incrementos correspondentes permitem aos operadores selecionar diferentes incrementos de avanço de “0.0001/0.1” ou de “0.1/100”. Nestas teclas de incremento, o número superior representa o incremento para cada clique do *jog handle* dial e o número inferior representa a taxa de avanço quando se utiliza o *JOG LOCK*, que inicia o movimento contínuo num eixo selecionado em *jog mode*.

A tecla “ZERO RETURN” exhibe localizações do eixo em quatro opções: trabalho, distância a percorrer, máquina e operador. As teclas de retorno a zero “ALL” e “SINGLE” usam interruptores de limite de precisão para devolver todos ou um eixo à posição doméstica, o zero-máquina. Para devolver apenas um eixo ao zero-máquina, os operadores digitam a letra

do eixo na barra de entrada utilizando o teclado e, em seguida, selecionam a tecla "SINGLE". A tecla "HOME G28" funciona da mesma forma, mas direciona a máquina para que volte rapidamente todos os eixos à máquina zero. Os operadores também podem rapidamente colocar apenas um eixo em posição zero, digitando a letra do eixo, e depois pressionar o "HOME G28". Os operadores utilizam o "ORIGIN" para repor o valor de um eixo selecionado para zero no *jog mode* através separador de posição.

O "LIST PROGRAM" abre o separador onde são encontrados a lista dos programas, seja na memória da controladora, como numa USB externa. Serve, portanto, para carregar e guardar programas de peças. Neste modo, premir o "SELECT PROGRAM" faz com que o programa selecionado o programa ativo e o "ERASE PROGRAM" elimine o programa selecionado. As setas direcionais apresentadas nesta linha permitem que os operadores naveguem para a frente e para trás entre ecrãs previamente acedidos, independentemente do modo.

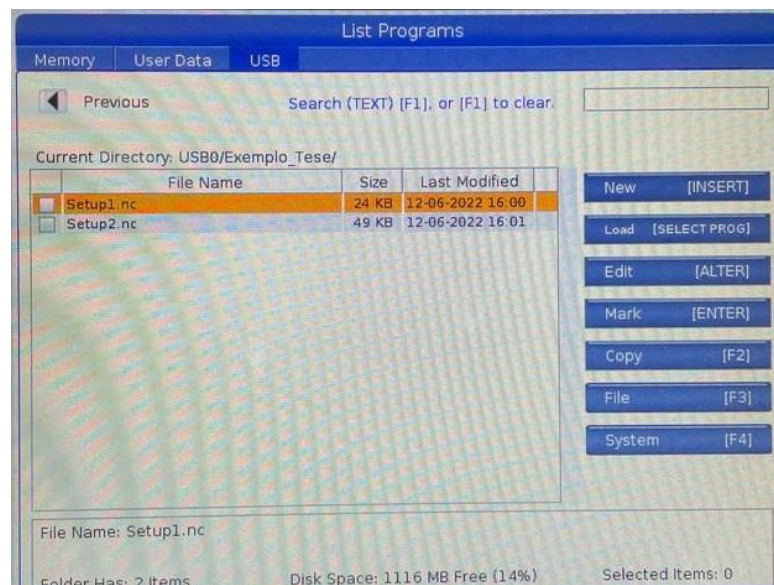


Figura 5.28 - Janela do "LIST PROGRAM"

Esta funcionalidade é sempre acedida no início de qualquer preparação para a produção, seja para carregar um programa de uma pen USB para a memória da controladora, ou para selecionar um programa já na memória e colocá-lo ativo.

5.2.5. ALPHA AND NUMERIC KEYS

As teclas alfabéticas estão localizadas no centro inferior do teclado e ao lado destas no canto inferior direito, as teclas numéricas. As teclas alfabéticas e numéricas permitem que os operadores introduzam informações - tal como um teclado de computador - para interagir com o controlo. Como os operadores escrevem utilizando estas teclas, as letras, números ou símbolos correspondentes aparecem na barra de entrada azul localizada no canto inferior esquerdo do ecrã.

Premir as teclas alfabéticas introduzirá letras maiúsculas por predefinição, mas os utilizadores podem pressionar ou segurar o *"SHIFT"* para introduzir letras minúsculas. No canto inferior direito das teclas alfa encontram-se três caracteres especiais: um ponto e vírgula e dois parênteses. Na programação do código G, um ponto e vírgula indica o fim de um bloco de código. Com a tecla *"SHIFT"* mantida, premir a tecla do ponto e vírgula ("*;*") insere o carácter *"/"*. Os operadores podem ainda fazer comentários num programa, definindo o comentário dentro dos parênteses, que diz ao controlo para não ler o texto como código de programa. Com o *"SHIFT"* mantido, premir uma tecla parênteses insere os parênteses retos tanto esquerdo ou direito.

As teclas numéricas são apresentadas no canto inferior direito do teclado, juntamente com doze caracteres especiais adicionais introduzidos quando selecionado em conjunto com a tecla *"SHIFT"* presente nas teclas alfabéticas. Ao longo da linha inferior das teclas numéricas existem três teclas para controlar a forma como a informação é inserida na barra de entrada: *"CANCEL"*, *"SPACE"* e *"ENTER"*. *"CANCEL"* elimina o último carácter introduzido na barra de entrada, o *"SPACE"* insere um espaço antes do próximo carácter introduzido, e *"ENTER"* envia informações digitadas na barra de entrada para um campo de texto no ecrã.

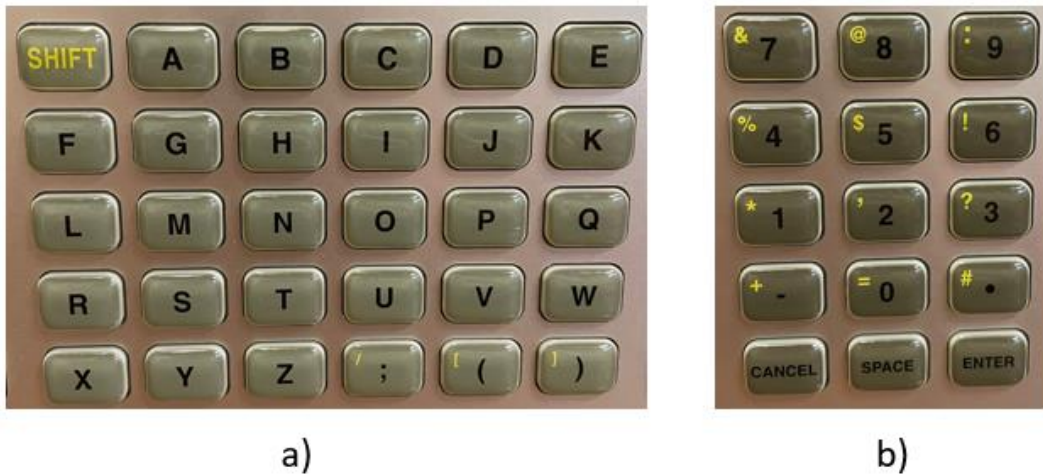


Figura 5.29 - a) Teclas Alfabéticas; b) Teclas Numéricas

5.2.6. JOG KEYS

As teclas de incremento estão localizadas acima das teclas de sobreposição, à esquerda do centro no teclado. Estas permitem aos operadores incrementar manualmente ou mover componentes da máquina CNC. Como as fresadoras e tornos CNC têm diferentes componentes e configurações, as teclas de incremento variam em função da máquina.



Figura 5.30 – Teclas de Incremento

Os operadores podem utilizar a coluna esquerda das teclas de incremento da para mover o removedor de aparas de uma fresa CNC, este removedor é constituído por um parafuso de aço que gira para removendo então as aparas da máquina comprimindo-as e banhando-as em líquido refrigerante. “CHIP FWD” ativa o removedor para empurrar a aparas

para a frente, para fora da máquina, “CHIP REV” inverte a direção do mesmo e, conseqüentemente, o “CHIP STOP” para-o.



Figura 5.31 - Removedor de apra da marca Haas [32]

Os operadores utilizam as três colunas do meio de teclas de incremento para mover manualmente o spindle em vários eixos. Premindo a tecla do eixo correspondente seleciona o dito eixo. Os operadores podem então mover a mesa e o spindle no eixo selecionado, segurando a tecla ou utilizando o *jog handle*.

Premir o “JOG LOCK” ativa o movimento contínuo no eixo selecionado até que volte a ser pressionado. As teclas restantes ao longo da coluna da direita controlam o bocal do líquido de arrefecimento programável, se equipado.

“CLNT UP” e “CLNT DOWN” movem o bocal para cima e para baixo, respetivamente, e a “AUX CLNT” ativa o sistema de arrefecimento através do spindle quando o comando está no modo MDI ou através do modo *run-stop-jog-continue*. Premir o “AUX CLNT” com “SHIFT” pressionado ativa o ar através do spindle, se estiver equipado. Os operadores ativam o modo *run-stop-jog-continue* premindo “FEED HOLD” e utilizando as teclas de incremento e a jog handle para afastar a ferramenta da peça. Para resumir um programa de onde parou, os operadores pressionam “MEMORY” ou “MDI” e de seguida “CYCLE START”.

5.2.7. OVERRIDES KEYS

As teclas de sobreposição estão localizadas ao lado das teclas alfabéticas no canto inferior esquerdo do teclado. Estas teclas dão aos operadores a capacidade de alterar temporariamente o avanço, a velocidade e direção do spindle e o movimento *rapid* enquanto

um programa de uma peça corre. A área das teclas de sobreposição organiza-se em filas. Cada fila individual controla uma função separada.



Figura 5.32 – Teclas de Sobreposição

As teclas na primeira fila permitem que os operadores ajustem o avanço. Como as teclas sugerem, premir a tecla “+10% FEEDRATE” aumenta o avanço em 10% e “-10% FEEDRATE”, conseqüentemente diminui o avanço em 10%. O “HANDLE FEED” permite que os operadores ajustem o avanço em incrementos de 1% utilizando o manípulo giratório. Finalmente, “100% FEEDRATE” reinicia o avanço alterado à sua definição original, conforme especificado no programa da peça.

A segunda linha de teclas de sobreposição é quase idêntica à da primeira linha, exceto que ajustam a velocidade do spindle em vez do avanço. Dito isto premir o “SPINDLE +10%” aumenta a velocidade de rotação do spindle em 10% e logicamente “-10% SPINDLE” a velocidade em 10%. O “HANDLE SPINDLE” permite que os operadores ajustem a velocidade do fuso em incrementos de 1% utilizando a também o manípulo giratório. Finalmente, “100% SPINDLE” repõe uma velocidade de spindle alterada à sua definição original, conforme especificado no programa de peça.

A próxima linha de teclas de sobreposição permite aos operadores ajustar a direção de rotação do spindle. A “*FWD*” direciona-o para rodar no sentido horário, e o “*REV*” direciona-o para rodar no sentido anti-horário. “*STOP*”, tal como o nome indica para a rotação do spindle.

Finalmente a linha inferior destas teclas permite que os operadores ajustem a velocidade do *rapid*, que é a velocidade que a ferramenta se move quando não está em contacto com a peça. A tecla “*5% RAPID*” atrasa os movimentos rápidos para 5% da velocidade máxima, enquanto “*25% RAPID*” e “*50% RAPID*” limitam os movimentos rápidos a um quarto e metade da velocidade atual, respetivamente. Premir “*100% RAPID*” reinicia os movimentos para a regulação de velocidade máxima original. Os operadores fazem frequentemente ensaios a velocidades mais lentas por segurança e para evitar danos na ferramenta ou na máquina em caso de erro de programação.

5.3. COMENTÁRIOS E SÍNTESE DO CAPÍTULO

A Next Generation Control foi desenhada, construída e programada pela Haas e ainda otimizada para máquinas também da companhia. Por muito complexa que pareça, é intuitiva e de fácil aprendizagem e manuseamento. Mencionou-se basicamente todas características e funcionalidades da máquina para que seja exequível a utilização da mesma num contexto real.

Mas, ainda assim, existem diversas operações ligeiramente fora de comum que não foram abordadas, mas que são de fácil compreensão devido à interface simples e informativa. Ainda para mais, esta controladora suporta diversas máquinas CNC e não apenas da marca dos criadores, o que abrange o mercado deste equipamento para várias empresas e engenheiros independentes.

6. LINGUAGEM MÁQUINA (CÓDIGO G)

6.1. INTRODUÇÃO

O código G é uma linguagem de programação para máquinas CNC (Controlo Numérico de Computador). O código G significa "Código Geométrico" e utiliza-se esta linguagem para informar a máquina como e qual operação fazer, devido a estas características é designada por sendo composta por "*Funções Preparatórias*". Os comandos do código G instruem a máquina para onde se mover, a velocidade a mover-se e que trajetória seguir.

No caso de uma máquina-ferramenta como o torno ou a fresadora, a ferramenta de corte é conduzida por estes comandos para seguir um caminho de ferramentas específico, cortando o material para obter a forma desejada.

Da mesma forma, no caso de fabrico de aditivos ou impressoras 3D, os comandos do código G instruem a máquina a depositar material, camada sobre camada, formando uma forma geométrica precisa.

Um bloco do programa é normalmente composto por vários tipos de elementos sendo o código G apenas um no meio do bloco todo. Cada elemento será abordado neste capítulo e segue-se uma figura com um exemplo base de um bloco do programa.

N	G	X,Y	F	S	T	M
Número Seqüência	Função Preparatória	Dimensão Trabalho	Avanço de corte	Rotação do fuso	Número Ferramenta	Função Auxiliar

Figura 6.1 - Exemplo de Bloco do programa [34]

6.2. LEITURA DO CÓDIGO-G

Na imagem que se segue é visível um exemplo sem contexto de um código-G, e olhando bem para o código é notório que a maior parte das linhas de código descrevem uma estrutura idêntica.

```

%
(Header)
(Generated by gcodetools from Inkscape.)
(Using default header. To add your own header create file
"header" in the output dir.)
M3
(Header end.)
G21 (All units in mm)

(Start cutting path id: path29632)
(Change tool to Cylindrical cutter)

G00 Z5.000000
G00 X33.655106 Y11.817060

G01 Z-1.000000 F100.0(Penstrate)
G01 X247.951560 Y11.817060 Z-1.000000 F400.000000
G01 X247.951560 Y30.935930 Z-1.000000
G01 X106.963450 Y30.935930 Z-1.000000
G03 X106.587404 Y32.243414 Z-1.000000 I-7.576860 J-1.471361
G03 X105.974610 Y33.458880 Z-1.000000 I-6.445333 J-2.487300
G03 X104.697090 Y35.083261 Z-1.000000 I-7.601246 J-4.663564
G03 X103.141830 Y36.435630 Z-1.000000 I-10.087550 J-10.030472
G03 X102.969400 Y38.107779 Z-1.000000 I-20.252028 J-1.243405
G03 X102.369430 Y39.685740 Z-1.000000 I-3.842423 J-0.557919
G03 X100.419761 Y41.664361 Z-1.000000 I-6.181245 J-4.140917
G02 X98.333794 Y43.482560 Z-1.000000 I7.045018 J10.188229
G02 X95.783544 Y47.017541 Z-1.000000 I9.647185 J9.647199
G02 X94.101654 Y51.024620 Z-1.000000 I28.957871 J14.510988
G03 X92.872672 Y54.561719 Z-1.000000 I-340.631289 J-116.371936

```

Figura 6.2 - Exemplo de um Código-G [33]

De modo a compreender o que o código significa, faz sentido analisar apenas uma linha para depois então perceber o código completo.

G01 X247.951560 Y11.817060 Z-1.000000 F400.000000

A linha de código acima contém a seguinte estrutura: **G## X## Y## Z## F##**. Primeiramente o comando G, que neste caso é o *G01* significa mover a ferramenta numa linha reta para um ponto específico, o ponto para a qual a ferramenta se irá mover é descrita nas coordenadas cartesianas à frente das letras “X”, “Y” e “Z”, eixos do referencial. E finalmente o “F” diz respeito ao avanço, ou seja, a velocidade à qual a operação será realizada.

Resumindo a linha de código informa a máquina para se movimentar do ponto em que se encontra para o ponto com as coordenadas X247.951560, Y11.817060, Z-1.000000 com uma velocidade de 400 mm/min. Esta unidade para o avanço é definida no comando *G21* faz com que o código seja associado a “mm” ao invés de polegadas, nesse caso o operador teria de introduzir o código *G20*.

6.3. CÓDIGOS COMUNS

Após perceber os básicos acerca da leitura do Código-G é importante conhecer os códigos comuns que estão presentes na maior parte das operações. Serão dados alguns exemplos de cada código com intuito de que no final do capítulo qualquer leitor consiga

entender como funciona cada um, e poder criar o próprio código G atendendo às especificações de cada tipo do mesmo.

6.3.1. G00 – POSICIONAMENTO RÁPIDO

O comando *G00* conhecido como “*Rapid Positioning*” move a máquina a uma velocidade máxima de uma posição atual para um ponto específico ou para as coordenadas especificadas pelo comando. A máquina moverá todos os eixos ao mesmo tempo para que completem o movimento simultaneamente. Isto resulta num movimento de linha reta para o novo ponto de posição.

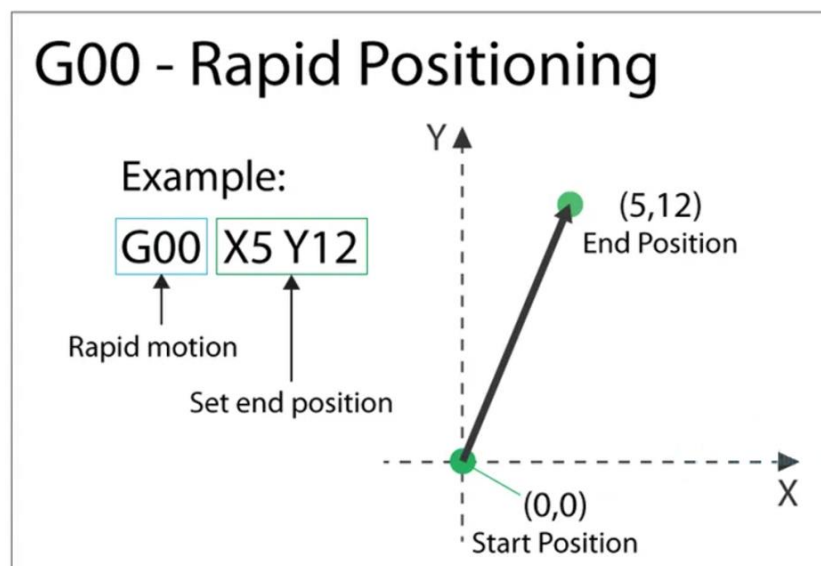


Figura 6.3 - G00 – Posicionamento Rápido [33]

O comando *G00* é um movimento não cortante e serve para mover rapidamente a máquina para a posição desejada para que daí possa ser iniciada qualquer tipo de operação de corte.

6.3.2. G01 – INTERPOLAÇÃO LINEAR

O comando *G01* também chamado de “*Linear Interpolation*” instrui a máquina a mover-se em linha reta com um avanço de corte definida. O operador especifica a posição final com os valores “*X*”, “*Y*” e “*Z*” e a velocidade com o valor “*F*” e posteriormente o controlador da máquina calcula os pontos intermédios a passar para obter essa linha reta. Embora estes comandos de código G sejam simples e bastante intuitivos para entender, o controlador da

máquina executa milhares de cálculos por segundo para fazer estes movimentos corretamente.

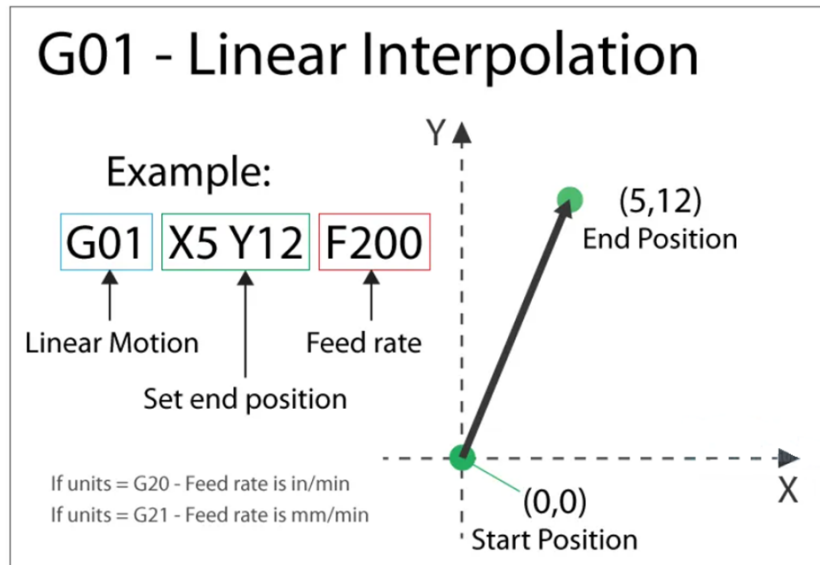


Figura 6.4 - G01 – Interpolação Linear [33]

Ao contrário do comando *G00* que é utilizado apenas para o posicionamento, o *G01* é utilizado quando a CNC está a meio do processo, que no caso da fresadora ou torno será o corte do material numa linha reta, sendo por isso o primeiro comando de corte abordado.

6.3.3. G02 INTERPOLAÇÃO CIRCULAR NO SENTIDO HORÁRIO

Avançando para o comando *G02*, que em inglês é chamado por “*Circular Interpolation Clockwise*” informa a máquina a se mover no sentido horário num padrão circular. É semelhante ao comando *G01* no sentido em que é utilizado durante do processo de maquinagem, porém descreve um movimento distinto. Para além das coordenadas do ponto final é necessário também atribuir o centro da rotação, ou a distância do ponto do início do arco até ao ponto central. De modo a melhor compreender este comando, o exemplo que se segue consiste no comando *G01* e *G02* em simultâneo.

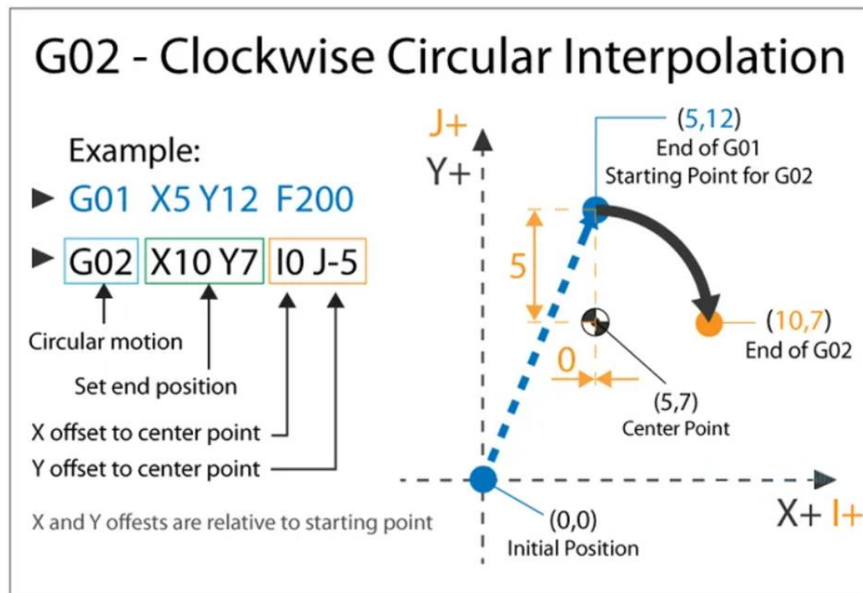


Figura 6.5 - G02 – Interpolação Circular no Sentido Horário [33]

Neste exemplo, é visível o comando G01 que move a CNC para o ponto de coordenadas X5, Y12, este será então o ponto de partida para o comando G02. Quando o operador introduz o comando G02, insere, no valor dos eixos, o ponto final do arco, mas, para chegar às coordenadas finais do arco é necessário definir os valores do centro deste, para isto utiliza-se os parâmetros “I” e “J”, como evidenciado na figura 6.5. Os valores destes parâmetros são determinados em relação do ponto de partida, por isso, visto que o ponto de partida apresenta um valor de X5 e Y7 teremos um valor do parâmetro “I” de 0, pois o “I” é descrito no eixo do X e um valor do parâmetro “J” de -5, que por sua vez é descrito no eixo do Y.

6.3.4. G03 INTERPOLAÇÃO CIRCULAR NO SENTIDO ANTI-HORÁRIO

Tal como o comando G02, o G03, chamado “*Counterclockwise Circular Interpolation*” instrui a máquina a descrever um movimento circular, a única diferença é que este movimento é no sentido anti-horário, ao invés do comando anterior, de resto, todas características e regras são idênticas ao comando G02.

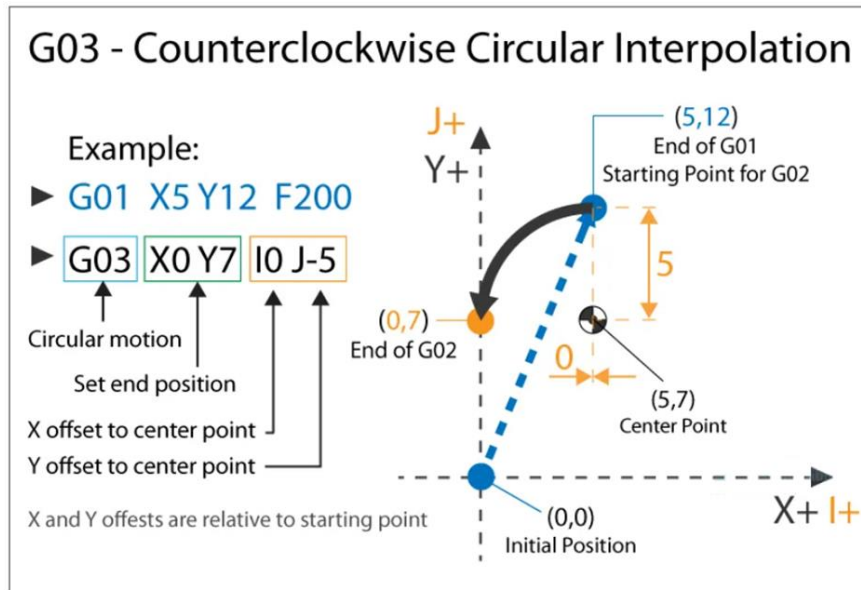


Figura 6.6 - G03 – Interpolação Circular no Sentido Anti-Horário [33]

Com estes três comandos, *G01*, *G02* e *G03* é possível fazer qualquer tipo de geometria, isto, logicamente, com a ajuda do software CAM que facilita o processo de geração do código G, não só na facilidade da obtenção do código como da garantia de um resultado final mais adequado ao objetivo.

6.3.5. G20 E G21 – DEFINIÇÃO DAS UNIDADES

O comando *G20* e *G21* definem nada mais que as unidades na qual o operador quer que sejam consideradas no decorrer da geração do código, sejam eles polegadas ou milímetros. Ou seja, inserindo o comando *G20*, o operador informa a CNC que as unidades a serem trabalhadas será polegadas, e em contraste *G21* diz respeito a milímetros.

Importante reforçar ainda que este comando tem de ser inserido no princípio do programa, não sendo o caso, a CNC irá considerar as unidades predefinidas.

6.3.6. G17 G18 E G19 – SELEÇÃO DO PLANO DO CÓDIGO-G

Estes três comandos especificam qual será o plano de trabalho da máquina, ou seja, inserindo o comando *G17* a máquina trabalhará no plano *XY*, o comando *G18* informa a máquina a trabalhar no plano *XZ* e finalmente o comando *G19* no plano *YZ*.

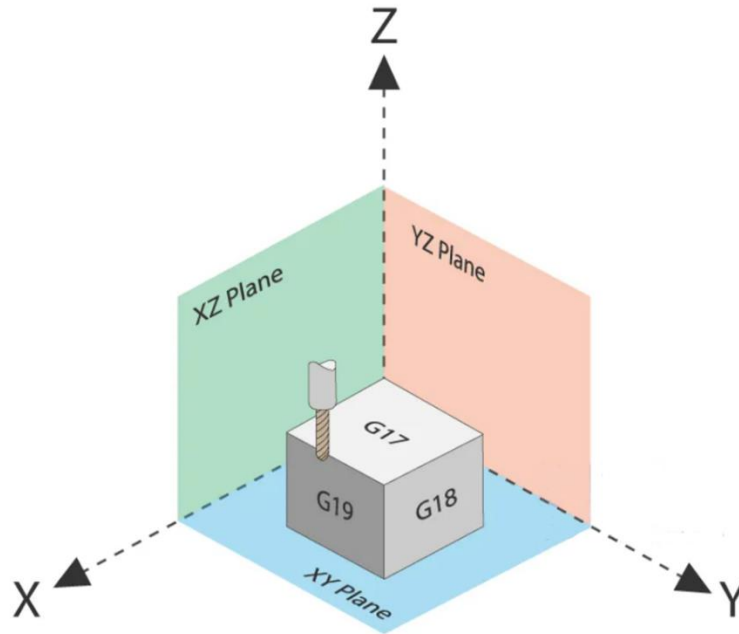


Figura 6.7 - Diferentes Planos de Trabalho [33]

O plano XY, ou seja o comando *G17* é o plano predefinido na maioria das CNC, mas os outros comando podem ser inseridos de modo a alcançar movimentos específicos.

6.3.7. G28 POSIÇÃO ZERO

O comando *G28*, por outras palavras o zero-máquina informa a máquina a regressar ao ponto de referência ou ao ponto zero. De modo a evitar colisão com a peça de trabalho ou outros componentes como apertos, é possível incluir um ponto intermédio com os parâmetros *X*, *Y* e *Z* tornando o percurso até ao zero-máquina seguro e correto.

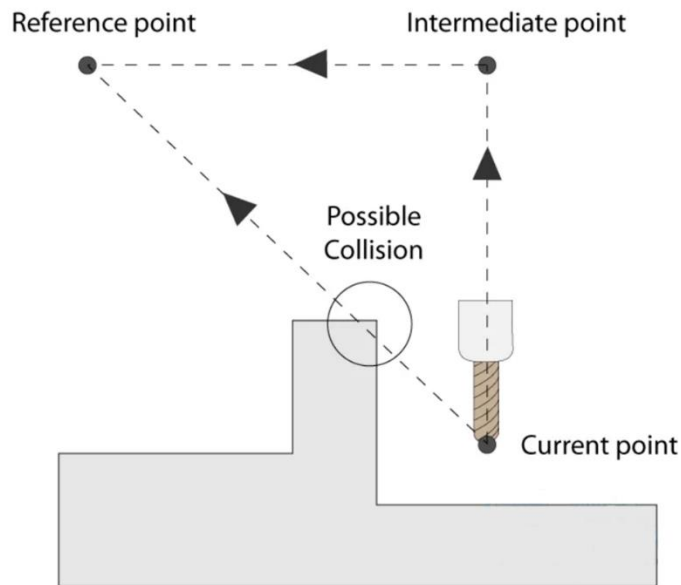


Figura 6.8 - G28 – Zero-Máquina [33]

Importante notar que para utilizar o comando G28 com um ponto intermédio, é necessário que a CNC esteja em modo relativo e não no modo absoluto (temática a abordar no próximo subcapítulo), este pormenor é essencial porque no modo absoluto o ponto intermédio é feito em relação ao zero-peça e daí é muito difícil para o operador conhecer um ponto intermédio seguro para a operação. O mesmo não acontece no modo intermédio pois com parâmetros do tipo “ $X0 Y0 Zn$ ” movimenta a ferramenta da posição atual para outras coordenadas do eixo do Z visto que o comando é feito em relação ao ponto anterior e não do zero peça. Um exemplo de um comando Posição Zero de acordo com a figura 6.9 poderia ser $G91 G28 X0 Y0 Z4.0$, instruindo a ferramenta para ir para o ponto com o valor “4.0” antes de seguir para o zero-máquina, ou seja, movimentar previamente para um ponto intermédio.

6.3.8. G90 E G91 - MODO DA OPERAÇÃO

Estes comandos, $G90$ e $G91$ informam a máquina como interpretar as coordenadas, isto é, em modo absoluto, ou seja, $G90$, o posicionamento da ferramenta é sempre em relação ao ponto zero-peça, ou seja, o comando $G01 X10 Y5$ irá sempre movimentar a ferramentas para essas coordenadas independentemente da posição anterior da mesma. Por outro lado, o modo relativo, $G91$, como o nome indica, o posicionamento é feito em relação ao ponto anterior, ou seja, se a ferramenta estiver no ponto de coordenadas $(10,10)$ e for inserido o comando $G01 X10 Y5$, a ferramenta irá se movimentar para o ponto de coordenadas $(20, 15)$. Por isto, este modo também pode ser chamado modo de incremento.

6.4. OUTROS COMANDOS

Os códigos explicados acima são os mais comuns mas existem muitos mais, nomeadamente códigos para realizar offsets do raio de ferramenta, *G40*, *G41* e *G42* e do comprimento da ferramenta *G43* e *G44*; comandos para terminar os caminhos de corte *G70*, *G71*, *G72* e *G73*; ciclos fixos de furação, onde o avanço é feito em profundidade, *G81*, *G82*, *G83* e *G73* e até desvio de trabalho que define onde uma peça de trabalho está situada na mesa, *G54*.

De notar também é que alguns destes comandos são modais, significando que continuam ativos ou em efeito até cancelados ou substituído por outro código. Dando o exemplo da linha *G01 X5 Y7 F200*, que descreve uma interpolação linear, se a próxima linha de código também for deste tipo *G01* o operador apenas necessita de introduzir os valores dos parâmetros “*X*” e “*Y*” e a CNC entenderá como novamente um movimento do tipo *G01*.

Os mesmo acontece com o parâmetro “*F*”, este não precisa de ser introduzido em todas as linhas de código para que a CNC saiba o valor do avanço de corte, até o operador decidir mudar ou cancelar o programa, a velocidade será sempre a que for introduzida na primeira linha.

Dito isto, segue-se uma tabela demonstrativa dos diversos Códigos-G existentes:

Funções Preparatórias
G00 - Interpolação linear com velocidade rápida
G01 - Interpolação linear com velocidade programada
G02 - Interpolação circular no sentido horário
G03 - Interpolação circular no sentido anti-horário
G04 - Tempo de espera em segundos dados em "X"
G09 - Diminuição da velocidade no final da linha
G33 - Corte de rosca passo constante.
G34 - Corte de rosca passo crescente
G35 - Corte de rosca passo decrescente
G40 - Cancela correção do raio de corte da ferramenta
G41 - Seleciona correção de raio de corte à esquerda da peça
G42 - Seleciona correção de raio de corte à direita da peça
G53 - Deslocamento com relação ao zero máquina
G54 - Seleciona deslocamento de zero número 1
G55 - Seleciona deslocamento de zero número 2
G56 - Seleciona deslocamento de zero número 3
G57 - Seleciona deslocamento de zero número 4
G58 - Ativa deslocamento de zero aditivo programável nº 1
G59 - Ativa deslocamento de zero aditivo programável nº 2
G70 - Seleciona medidas em polegadas
G71 - Seleciona medidas em milímetros
G90 - Seleciona medidas em absoluto
G91 - Seleciona medidas em incremental
G92 - Limite de rotação da placa
G94 - Seleciona velocidade de avanço em mm/min
G95 - Seleciona velocidade de avanço em mm/rotaç.
G96 - Seleciona velocidade de corte constante
G97 - Cancela G96 permanece a última rotação calculada por G96

Figura 6.9 - Diversos Comandos das Funções Preparatórias [34]

6.4.1. CÓDIGO M (MISCELLANEOUS FUNCTION CODE)

Em adição ao código-G existe ainda comandos do tipo código M, estes comandos são utilizados para o controlo da linguagem máquina que controlam o programa inteiro. Enquanto os comandos do código G descrevem posições, o código M direciona as ações da máquina, é por isso que este tipo de comandos é conhecido como funções de máquina não geométricas, daí o nome de "*Miscellaneous Function*". Abaixo estão presentes alguns dos comandos do código M mais utilizados e mais comuns no mundo da maquinagem:

-
- **M00** - PARAGEM DO PROGRAMA;
 - **M01** - PARAGEM OPCIONAL DO PROGRAMA;
 - **M02** - FIM DO PROGRAMA;
 - **M03** - ATIVAÇÃO DO SPINDLE NO SENTIDO HORÁRIO;
 - **M04** - ATIVAÇÃO DO SPINDLE NO SENTIDO ANTI-HORÁRIO;
 - **M05** - DESATIVAÇÃO DO SPINDLE;
 - **M08** - ATIVAÇÃO DO LÍQUIDO REFRIGERANTE;
 - **M09** - DESATIVAÇÃO DO LÍQUIDO REFRIGERANTE;

- **M17** - FIM DO SUB-PROGRAMA;
- **M30** - FIM DO PROGRAMA PRINCIPAL.

Alguns destes comandos necessitam de parâmetros apropriados, por exemplo o comando M03 que ativa o spindle no sentido horário precisa de ser acompanhado com a velocidade do spindle através do parâmetro "S". Obtendo então uma linha de código do tipo "M30 S1000" que ativava o spindle a uma velocidade de 1000 rpm.

Em ficheiros com código G, é visível, no início de cada linha um componente do tipo N##, este componente informa ao operador o número da sequência. O facto de o "N" enumerar a linha ou bloco de código ajuda ao operador a identificar alguma linha específica no caso de algum erro que comprometa a integridade do programa.

6.5. EXEMPLO PRÁTICO DO CÓDIGO G

Este capítulo termina com um exemplo prático com a maioria dos códigos falados acima. Isto serve para colocar em prática os conceitos teóricos e detetar que comportamento cada componente tem.

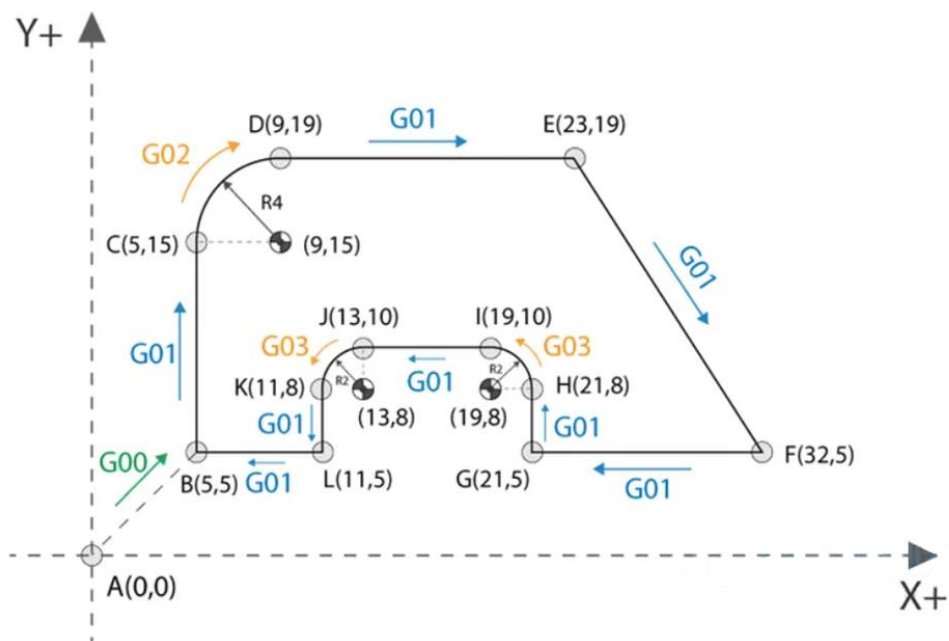


Figura 6.10 - Exemplo Prático do Código-G [33]

O código deste exemplo seria algo pelas linhas de:

%	
G21 G17 G90 F100	
M03 S1000	
G00 X5 Y5	Ponto B
G01 X5 Y5 Z-1	Ponto B
G01 X5 Y15 Z-1	Ponto C
G02 X9 Y19 Z-1 I4 J0	Ponto D
G01 X23 Y19 Z-1	Ponto E
G01 X32 Y5 Z-1	Ponto F
G01 X21 Y5 Z-1	Ponto G
G01 X21 Y8 Z-1	Ponto H
G03 X19 Y10 Z-1 I-2 J0	Ponto I
G01 X13 Y10 Z-1	Ponto J
G03 X11 Y8 Z-1 I0 J-2	Ponto K
G01 X11 Y5 Z-1	Ponto L
G01 X5 Y5 Z-1	Ponto B
G01 X5 Y5 Z0	
G28 X0 Y0	
M05	
M30	
%	

Resumidamente, este código traduz-se em:

-
1. INICIAÇÃO DO CÓDIGO ATRAVÉS DO CARACTER (%), NECESSÁRIO SEMPRE NO INÍCIO E NO FIM DE CADA CÓDIGO;
 2. LINHA DE SEGURANÇA: DEFINIÇÃO DAS UNIDADES EM MILÍMETROS (G21), DEFINIÇÃO DO PLANO DE TRABALHO XY (G17), DEFINIÇÃO DO MODO ABSOLUTO (G90) E DEFINIÇÃO DO AVANÇO DE CORTE COM VALOR DE 100 MM/MIN.
 3. ATIVAÇÃO DO SPINDLE NO SENTIDO HORÁRIO (M03) A UMA VELOCIDADE DE 1000 RPM.
 4. POSICIONAMENTO RÁPIDO NO PONTO B(5,5);
 5. INTERPOLAÇÃO LINEAR, BAIXANDO A FERRAMENTA -1 UNIDADE.

6. INÍCIO DO MOVIMENTO DE CORTE ATÉ AO PONTO C(5,15).
7. INTERPOLAÇÃO CIRCULAR NO SENTIDO HORÁRIO ATÉ AO PONTO D(9,19) COM CENTRO NAS COORDENADAS (9,15).
8. CORTE LINEAR ATÉ AO PONTO E(23,19).
9. CORTE LINEAR ATÉ AO PONTO F(32,5).
10. CORTE LINEAR ATÉ AO PONTO G(21,5).
11. CORTE LINEAR ATÉ AO PONTO H(21,8).
12. INTERPOLAÇÃO CIRCULAR NO SENTIDO ANTI-HORÁRIO ATÉ AO PONTO I(19,10) COM CENTRO NAS COORDENADAS (19,8).
13. CORTE LINEAR ATÉ AO PONTO J(13,10).
14. INTERPOLAÇÃO CIRCULAR NO SENTIDO ANTI-HORÁRIO ATÉ AO PONTO K(11,8) COM CENTRO NAS COORDENADAS (13,8).
15. CORTE LINEAR ATÉ AO PONTO L(11,5).
16. CORTE LINEAR FINAL ATÉ AO PONTO B(5,5).
17. INTERPOLAÇÃO LINEAR, ELEVANDO A FERRAMENTA 1 UNIDADE.
18. REGRESSO À POSIÇÃO ZERO (G28).
19. DESATIVAÇÃO DO SPINDLE (M05).
20. FIM DO PROGRAMA PRINCIPAL (M30).
21. FIM DO CÓDIGO COM O CARACTER (%).

6.6. COMENTÁRIOS E SÍNTESE DO CAPÍTULO

Concluindo, foi abrangido os básicos da programação em código-G, mencionando os comandos mais comuns e um exemplo prático explicativo de criação e leitura de dito código. É importante um operador adquirir estes conhecimentos visto que na área de trabalho da maquinagem de CNC, o código extraído dos softwares para a controladora é com comandos de código-G, e identificação de erros e anomalias torna-se mais acessível com estes conhecimentos.

A compreensão do código-G não é complicada, apenas a maturidade para o conseguir interpretar é que pode levar algumas horas de empenho.

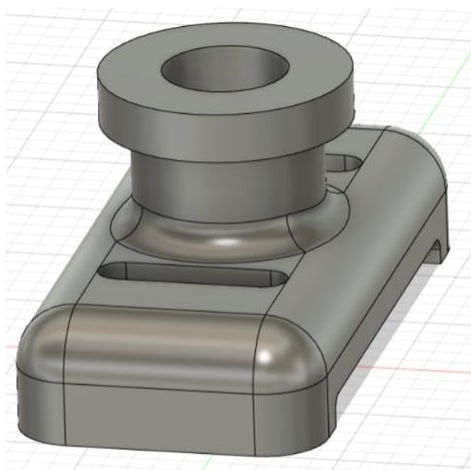
7. PARTE PRÁTICA

7.1. INTRODUÇÃO

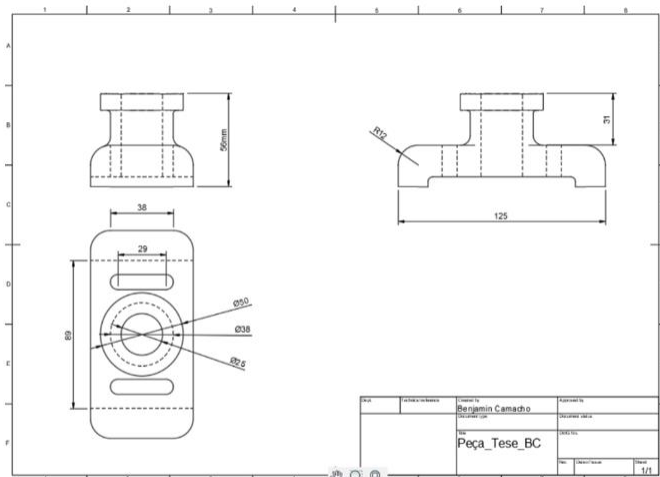
Segue-se então para a componente prática do trabalho que consiste na preparação da controladora CNC para a produção. Ou seja, desde o ponto da criação do modelo CAD, até à interação homem-máquina de modo que com as preparações todas feitas seja apenas necessário premir a tecla “CYCLE START” para a produção correta da peça em questão.

Para exemplificar esta preparação criou-se duas peças que serão maquinadas utilizando duas máquinas CNC diferentes, uma maquinada através uma CNC de três eixos e outra peça utilizando uma de cinco eixos, para além das CNC serem diferentes a preparação da controladora também difere.

Primeiramente falar-se-á da peça que será por uma máquina de três eixos, mais especificamente a *Haas VF-1*. O stock desta peça provém de um processo de fundição e, como tal, apresenta uma sobre espessura para a maquinagem de 2 mm, a peça será então submetida a uma acabamento nas zonas funcionais.



a)



b)

Figura 7.1 - a) Peça maquinada pela CNC de três eixos; b) Desenho Técnico da peça maquinada

No segundo caso tem-se a peça que irá ser maquinada numa CNC de cinco eixos, a *Haas UMC-750*, mas primeiro é necessário definir a geometria do componente, foi concebida então uma peça através do software *Fusion 360*, obtendo como dimensões gerais de

atravancamento 102x76x42 mm. A peça presente na figura 7.2 foi modelada no *Fusion 360* de modo a ser mais prático o processo de correções dimensionais da peça, sem ter de começar o *setup* de maquinagem todo de novo.

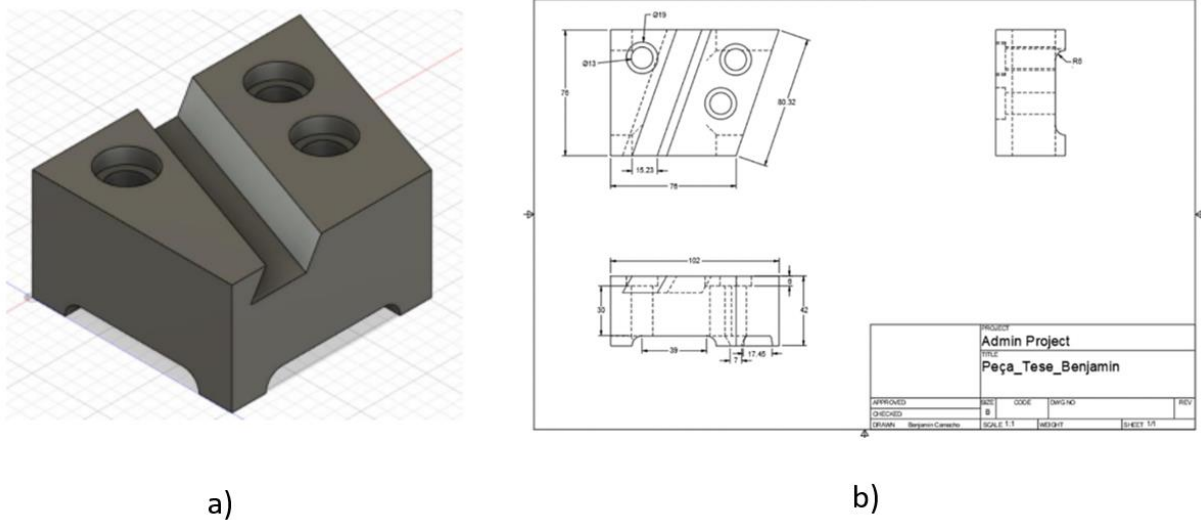


Figura 7.2 - a) Peça maquinada pela CNC de cinco eixos; b) Desenho Técnico da peça maquinada

7.2. PREPARAÇÃO DO PROCESSO DE MAQUINAGEM

Um dos fatores mais importantes de um processo de maquinagem é o cuidado a ter aquando da preparação da mesma. A preparação da maquinagem de uma peça é a ligação entre a engenharia de produto e a produção de uma dada empresa e nesta mesma etapa é essencial uma correta seleção do equipamento onde se vai efetuar a maquinagem, as ferramentas associadas, as operações a efetuar, a definição dos parâmetros de corte bem como a sequência de maquinagem, que culminam na ficha de fabrico.

7.2.1. SELEÇÃO DO EQUIPAMENTO

Como já foi referido, para a maquinagem do primeiro componente mostrou-se preferível a utilização de uma máquina de 3-eixos visto que a complexidade do componente não compensa a utilização de uma de 5-eixos. Por isso, recorrendo ao conjunto de máquinas existentes no *Fusion 360*, na "*library*", foi procurada uma máquina CNC que apresenta estas características. Ao longo desta dissertação foi falada várias vezes acerca da CNC *HAAS VF-1* ("*Very First One*") e foi especificamente essa que foi utilizada, nesta CNC, as trocas de ferramentas não requerem intervenção do operador, o que diminui o tempo de troca de

ferramenta bem como a probabilidade de ocorrência de erro humano nas operações de compensações de ferramenta.

Por outro lado, este tipo de equipamentos apresentam um custo mais elevado que acaba por ser amortizados relativamente rápido devido à elevada cadência de produção que gera quando comparada com uma fresadora de 3-eixos convencional.



Figura 7.3 - Equipamento HAAS VF-1 (*Very First One*) [6]

As especificações deste equipamento já foram mencionadas anteriormente mas por motivos de conveniência na tabela abaixo são enunciadas as características principais do mesmo, como a velocidade máxima de rotação do spindle, o número de ferramentas disponíveis no porta ferramentas, o tempo de troca entre cada uma destas ferramentas (importante de modo a diminuir o tempo de produção, e otimizar a produção em geral), o valor dos cursos nos três eixos de movimento (x, y e z) e até os valores dos avanços também nos 3 eixos de movimento.

Tabela 1 - Principais características do equipamento Haas VF-1 [35]

Velocidade Máxima de rotação do Spindle	8100 rpm
Nº de Ferramentas na porta ferramentas	20
Tempo de troca de Ferramentas	4,2 segundos
Curso em X,Y e Z	508 mm; 406 mm; 508 mm

Para a maquinação da segunda peça, mostrou-se necessário utilizar a máquina de 5 eixos, nomeadamente com o intuito de diminuir o número de setups e amarrações da peça, otimizando o tempo gasto na operação. Recorrendo novamente à *library* de máquinas existentes no *Fusion 360* procurou-se uma que tenha essas características, optou-se então pela *Haas UMC-750*.



Figura 7.4 - Equipamento HAAS UMC-750

Esta CNC apresenta 3 eixos de movimento na cabeça (X, Y e Z) e 2 eixos na mesa (B e C), na tabela estão ainda mais algumas especificações da CNC.

Tabela 2 - Principais características do equipamento Haas UMC-750 [36]

Velocidade Máxima de rotação do Spindle	8100 rpm
Nº de Ferramentas na porta ferramentas	30+1
Tempo de troca de Ferramentas	2,8 segundos
Curso em X,Y e Z	762 mm; 508 mm; 508 mm
Rotação do eixo B e C	120 a 35 graus; 360 graus

Em anexo são encontradas o resto das características de ambas as máquinas CNC utilizadas nas operações.

7.2.2. DEFINIÇÃO DAS FERRAMENTAS

Para proporcionar um corte estável e evitar dificuldades aquando do seu processo, deve-se ter em considerações a escolha de ferramentas tendo em conta as propriedades da peça e as condições de corte. Nas Tabelas 3 e 4 estão presentes as ferramentas utilizadas e os respetivos parâmetros de corte de cada uma para ambas as operações, valores estes encontrados no *Fusion 360* e na ficha de fabrico nos anexos B e C. Primeiramente as ferramentas utilizadas na CNC de três eixos, tabela 3, e as utilizadas na CNC de cinco eixos, tabela 4.

Tabela 3 - Ferramentas e Parâmetros de corte para a maquinagem a 3 eixos

Ferramentas		
Nº da Ferramenta	Descrição	
T01	Face Mill Sandvik D16	
	Diâmetro	Velocidade de Avanço
	16 mm	1500mm/min
	Comprimento	Velocidade de Rotação
	50 mm	5968 rpm
T02	Flat End Mill Palbit	
	Diâmetro	Velocidade de Avanço
	8 mm	800 mm/min
	Comprimento	Velocidade de Rotação
	50 mm	8000 rpm
T03	Ball End Mill Sandvik Ball mill R3	
	Diâmetro	Velocidade de Avanço
	6 mm	1600 mm/min
	Comprimento	Velocidade de Rotação
	30 mm	8000 rpm

Tabela 4 - Ferramentas e Parâmetros de corte na maquinagem a cinco eixos

Ferramentas		
Nº da Ferramenta	Descrição	
T02	Broca RA411.5-3234D0.5000 P20	
	Diâmetro	Velocidade de Avanço
	13 mm	82 mm/min
	Comprimento	Velocidade de Rotação
	62.72 mm	1000 rpm

T04	Face mill OSCARBIDE Tpg322	
	Diâmetro	Velocidade de Avanço
	76.2 mm	3175 mm/min
	Comprimento	Velocidade de Rotação
	101.6 mm	2000 rpm
T05	Drillpro 60 Degree 8-35mm Dovetail Groove	
	Diâmetro	Velocidade de Avanço
	20 mm	500 mm/min
	Comprimento	Velocidade de Rotação
	50 mm	4000 rpm
T07	Flat end mill HAAS 03-0086	
	Diâmetro	Velocidade de Avanço
	12.7 mm	1500 mm/min
	Comprimento	Velocidade de Rotação
	34.29 mm	7500 rpm
T12	Flat end mill Haas Automation 03-0089	
	Diâmetro	Velocidade de Avanço
	25.4 mm	508 mm/min
	Comprimento	Velocidade de Rotação
	66.04	3800 rpm
T14	Ball end mill Swift carb AC05002A6CS5B000	
	Diâmetro	Velocidade de Avanço
	12 mm	3200 mm/min
	Comprimento	Velocidade de Rotação
	91.3 mm	6200 rpm

7.2.3. MATERIAL DA PEÇA E DAS FERRAMENTAS

Para o material das peças propostas foi selecionado o alumínio devido à sua especificidade em termos de definição de parâmetros de corte, nomeadamente a liga 6061. Neste tipo de material não ferroso deve-se ter em atenção a formação de aresta postiça na aresta de corte, porção do material que fica na superfície de saída da ferramenta próxima da ponta da mesma, devido à ductilidade dos mesmos e à temperatura que se gera na maquinação do alumínio.

Na Figura 7.5, apresenta-se a extrudabilidade relativa entre as diversas ligas de alumínio, no qual a liga de Al6061 apresenta uma extrudabilidade relativa de 60% em relação à da série 1100.

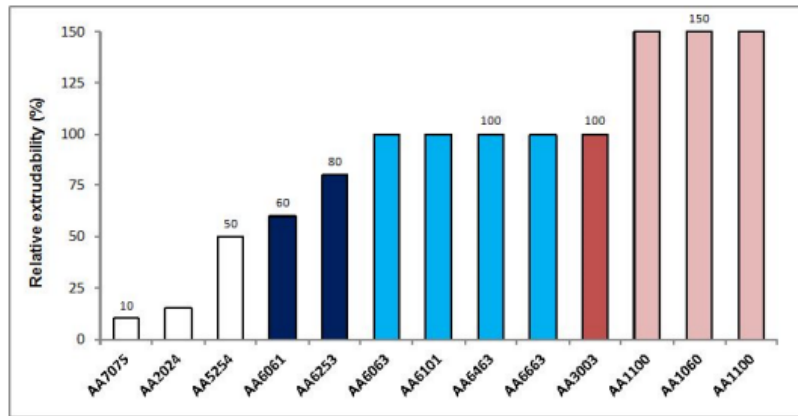


Figura 7.5 - Extrudabilidade relativa nas ligas de alumínio [37]

Para o caso da primeira peça esta provém de um processo de fundição, mas a análise pode ir ainda mais longe abordando a segunda peça, ou seja, a que irá ser maquinada por uma CNC de cinco eixos, pois, tendo em conta as dimensões da peça (102x76x42 mm) e consultando um catálogo de barras de liga de alumínio 6061 do fornecedor *MetricMetal*, disponível na figura 7.6, foi concluído que as barras mais adequadas para esta produção será umas com secção transversal de 80 mm por 50 mm, de modo a se obter um stock inicial de 104x80x50 mm.

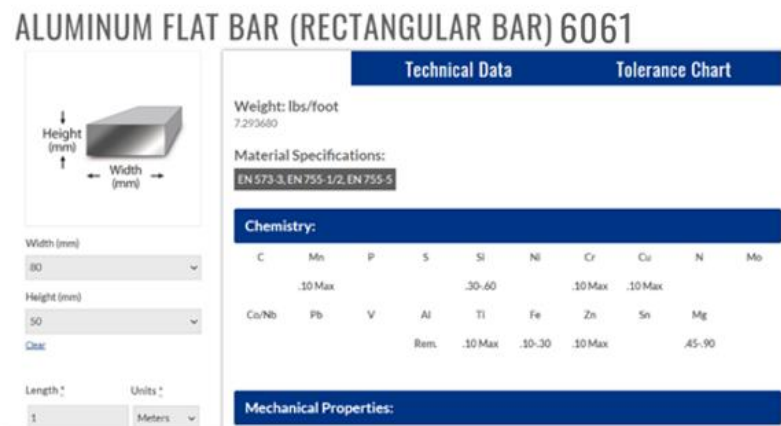


Figura 7.6 - Catálogo de um fornecedor *MetricMetal* de barras de liga Al6061 [38]

7.3. SIMULAÇÃO CAM

Escolhida todos os parâmetros necessários é possível avançar para a simulação propriamente dita mas antes disso é ainda essencial fazer a definição do stock e do sistema

de fixação. Todas as operações realizadas são enunciadas na ficha de fabrico encontrados nos anexos B e C, ditas fichas que são explicadas no próximo subcapítulo, 7.4.

7.3.1. COMPONENTE PARA A CNC DE TRÊS EIXOS

Para o componente que irá ser maquinado numa CNC de três eixos o stock provém da fundição, desta forma foram modelados dois stocks diferentes, um correspondente à peça orientada para cima e outra com a peça orientada para baixo. Isto acontece porque a peça irá ser virada a meio da operação de maquinagem, pois não é possível realizar as operações todas num só aperto. Como é necessário virar a peça, irá ser necessário utilizar dois setups e cada um com o seu stock associado.

Foi utilizado um sistema de fixação por prensa com aperto manual da marca *KURT*. Neste sistema de fixação foram-lhe alteradas as garras de aperto, que geralmente são maquináveis, de maneira a facilitar o posicionamento da peça, reduzindo o tempo associado a esta operação. As garras apresentam o perfil exterior da peça facilitando o posicionamento da mesma, reduzindo os tempos que o operador demora a posicioná-la.

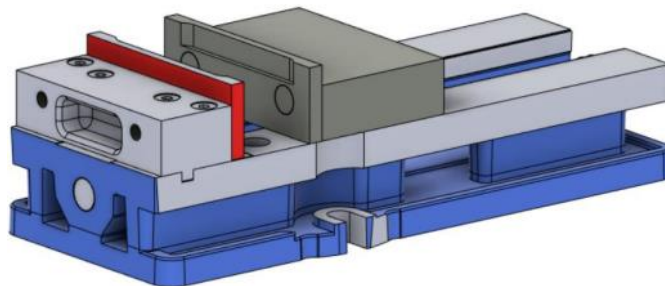
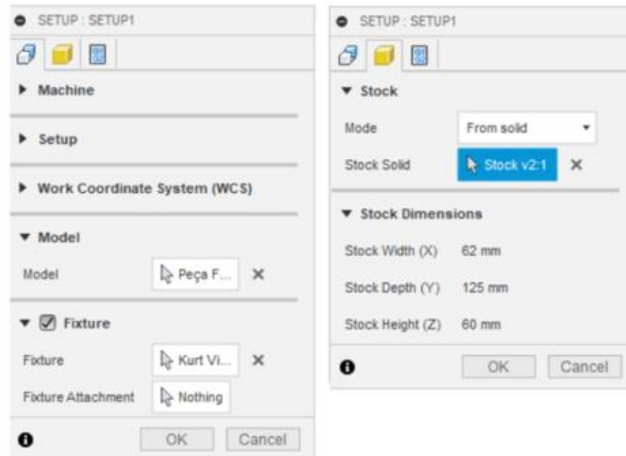


Figura 7.7 - Sistema de Fixação

Para definir o stock e o sistema de fixação no *Fusion 360* é necessário anteriormente ao *setup*, posicionar devidamente o stock, a peça final e o sistema de fixação. Após isso, na criação do *setup* associou-se o stock ao modelo CAD do stock, selecionando o “*Mode – From Solid*” no separador denominado de “*Stock*”. No separador do *setup* é possível escolher na aba “*Model*” a modelação final da peça pretendida, ou seja, após as operações que serão realizadas naquele *setup*. Na aba “*Fixture*” associou-se o modelo CAD do sistema de fixação.

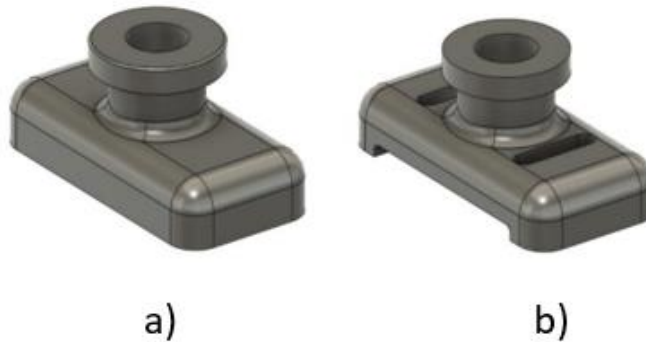


a)

b)

Figura 7.8 - (a) Definição genérica do sistema de fixação; (b) Definição do stock

O stock provém de um processo de fundição e, como tal, apresenta uma sobre espessura para maquinagem de 2 mm, estas foram adicionadas nas superfícies nas quais se queriam um bom acabamento superficial, algo que na fundição por vezes é complicado. Além disso, a peça apresenta umas ranhuras laterais e um perfil na parte inferior que terão de ser realizados através de maquinagem.



a)

b)

Figura 7.9 - (a) Stock proveniente da fundição; (b) Peça final

Portanto, inicialmente, a peça foi posicionada orientada para cima de forma a realizar as operações de acabamento e contorno da flange. O operador ao posicionar esta peça tem de confirmar que ela está dentro do perfil das garras e com a superfície inferior da peça em contacto com a parte superior do perfil das garras. Posto isto, terá de realizar o G54 no ponto indicado na seguinte figura.

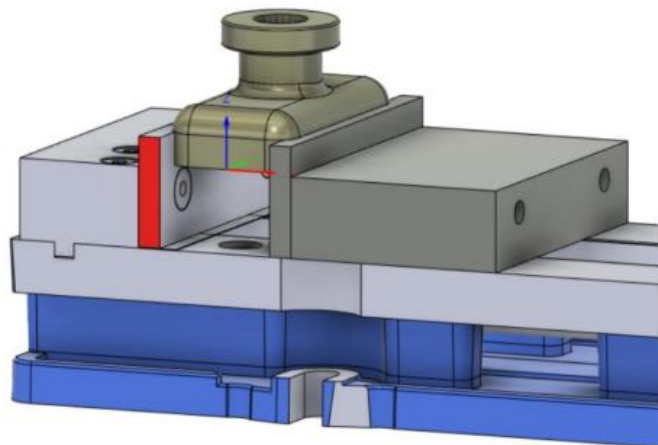


Figura 7.10 - Posicionamento da peça na primeira fixação

Para as operações de maquinagem restantes, tais como o perfil inferior e a ranhura, a peça foi virada. O posicionamento desta peça foi feito de maneira que assumisse o mesmo zero-peça que a posição anterior, desta forma só é necessário realizar um G54. Para o operador confirmar que esta está devidamente posicionada tem de confirmar a distância entre a base e a face superior da garra que deverá ser de 14 mm. Desta maneira, assumiu o seguinte aspeto.

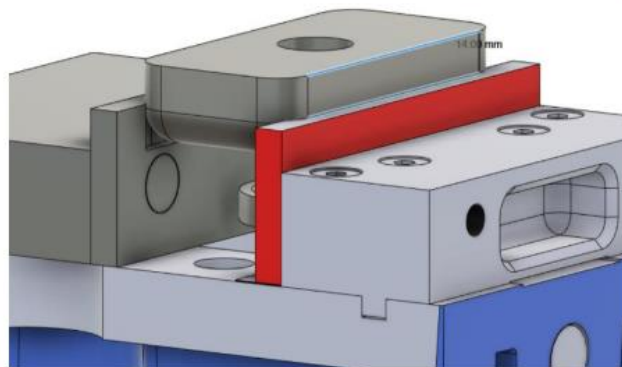


Figura 7.11 - Posicionamento da peça no segundo setup

7.3.2. COMPONENTE PARA A CNC DE CINCO EIXOS

Em relação à componente de cinco eixos, primeiro também é necessário definir a geometria e dimensões do stock inicial e o sistema de coordenadas. Serão necessários dois setups para se obter a peça pretendida, como é possível observar na figura 7.12.

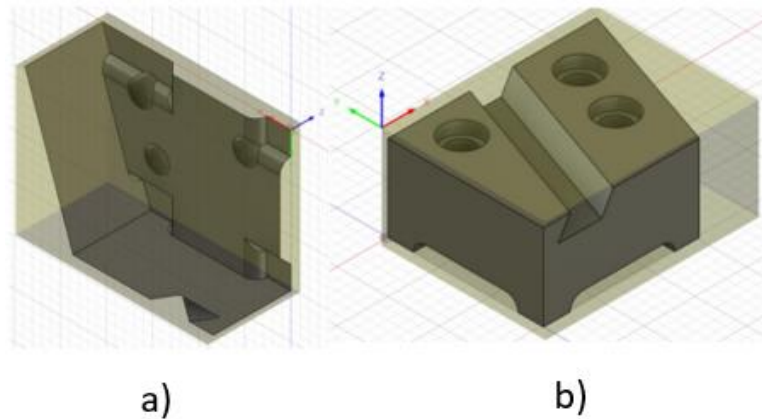


Figura 7.12 - (a) Primeiro Setup da peça; (b) Segundo setup da peça

Para definir o stock acima apresentado, escolheu-se um stock de tamanho fixo, em vez de tamanho relativo, de modo a obter as dimensões de $104 \times 80 \times 45 \text{ mm}$, confirmado na figura 7.13.

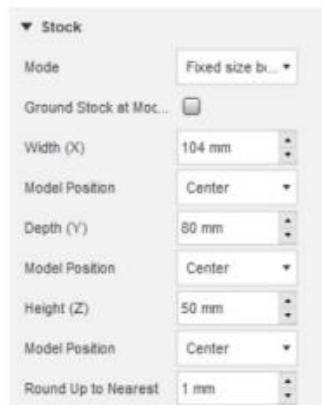


Figura 7.13 - Definição do stock da peça

A definição do sistema de aperto de maquinaria da peça é um aspeto imperativo a ter em conta, nomeadamente para representar ao máximo detalhe possível a operação que se faz na realidade. O sistema de aperto fixa a peça e permite a fixação da posição da peça e para esta função escolheu-se um sistema aperto “Kurt MaxLock™ 5-Axis Vise – PF440” do fabricante americano “Kurt WorkHolding” (Figura 20).



Figura 7.14 - Sistema de fixação "Kurt MaxLock™ 5-Axis Vise – PF440" [39]

A fixação do sistema terá o seguinte aspeto mostrado na Figura 7.15 e mostra-se importante para detetar possíveis colisões entre a ferramenta e o sistema de amarração.

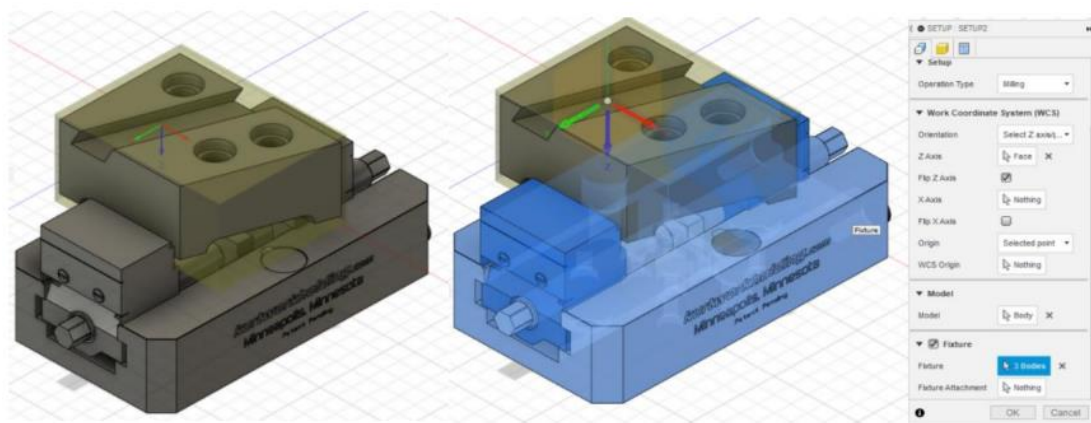


Figura 7.15 - Representação do segundo setup da peça e da definição do sistema de aperto no *software*

7.4. FICHA DE FABRICO

A ficha de fabrico é uma ferramenta muito importante para que o funcionário do chão de fábrica possa estar em sintonia com as intenções do engenheiro projetista no que diz respeito à correta produção de uma peça maquinada, servindo de guia para cada etapa do processo para que tudo corra na ordem correta.

Mais ainda, por ter os parâmetros de corte para cada ferramenta e a descrição da operação que ela faz permite a esse funcionário fazer o controlo do processo e descobrir e corrigir eventuais falhas que tenham sido cometidas durante a criação das rotinas e assim evitar danos para a máquina-ferramenta.

A ficha de fabrico descreve as etapas e a ordem pela qual elas acontecem durante o processo de maquinagem da peça, mas também dos passos de preparação, como a criação do zero peça G54, o tamanho que o stock deve ter, qual a máquina que o deve maquinar, as ferramentas que devem estar nela montadas e também qual a data em que o projeto foi desenvolvido para evitar confusões com versões anteriores.

No caso do processo para a CNC de três eixos, a ficha de fabrico informa as dimensões do stock, sendo estas $62 \times 125 \times 60 \text{ mm}$ e as dimensões da peça final, $62 \times 125 \times 56 \text{ mm}$. No total esta produção terá seis operações distintas com um total de três ferramentas utilizadas (T1, T2 e T3). A velocidade máxima do spindle será de 8000 rpm e o avanço máximo é de 1600 mm/min, estes valores foram alcançados na quinta operação utilizando a ferramenta T3, tudo isto resultando num tempo de produção estimado de 31 minutos e 10 segundos.

Em relação ao processo para a CNC de cinco eixos, as dimensões do stock são de $104 \times 80 \times 50 \text{ mm}$ enquanto as da peça final são de $102 \times 76 \times 42 \text{ mm}$. Este processo de maquinagem terá dezassete operações com um total de seis ferramentas utilizadas diferentes (T2, T4, T5, T7, T12 e T14). Apresenta uma velocidade máxima do spindle de 7500 rpm presente na operações 13, 14 16 e 17 utilizando a ferramenta T7 e um avanço de 3200 mm/min presente na operação 9 utilizando a ferramenta T14. Por fim o tempo estimado de produção é cerca de 15 minutos e 20 segundos.

Ambas as fichas de fabrico propriamente ditas podem ser encontradas nos anexos B e C.

7.5. INTERAÇÃO HOMEM-MÁQUINA

Feito todos os preparativos a nível computacionais, o operador prossegue então para a interação propriamente dita com a controladora. Esta etapa será importantíssima visto que é a última antes da produção e será com base na informação disponível na controladora que determinará o sucesso da produção da peça. Existem vários aspetos que são importantes verificar prévio da autorização de manufatura da peça em questão.

7.5.1. SETUP

Antes que seja possível ao operador visualizar o código na controladora, primeiro é preciso extrair esse mesmo código do *software Fusion 360* para o computador. Isto é feito na funcionalidade do “*Post Process*” encontrado na opção “*Actions*” na barra de tarefas na

parte superior do ecrã. Visto que em ambas as peças são utilizadas dois setups distintos, a geração do código-G também é necessário que seja feito em dois momentos diferentes. Isto é, o operador extrai o código para o primeiro setup e o código para o segundo setup ficando então com dois documentos separados para cada peça.

Em relação à peça que será produzida numa CNC de três eixos quando abre o separador do setup, é necessário verificar a componente “Machine”, que diz respeito a que tipo de CNC é que se está a efetuar a operação, neste caso a “HAAS VF-1” e o componente “Post” que se responsabiliza por identificar qual a controladora associada à operação, que neste caso será a “HAAS – Next Generation Control”, convém também ter em atenção ao nome dos ficheiros e local onde serão guardados por motivos de organização e ainda as unidades que estão a ser consideradas. Dito isto obteve-se os seguintes pós-processamentos.

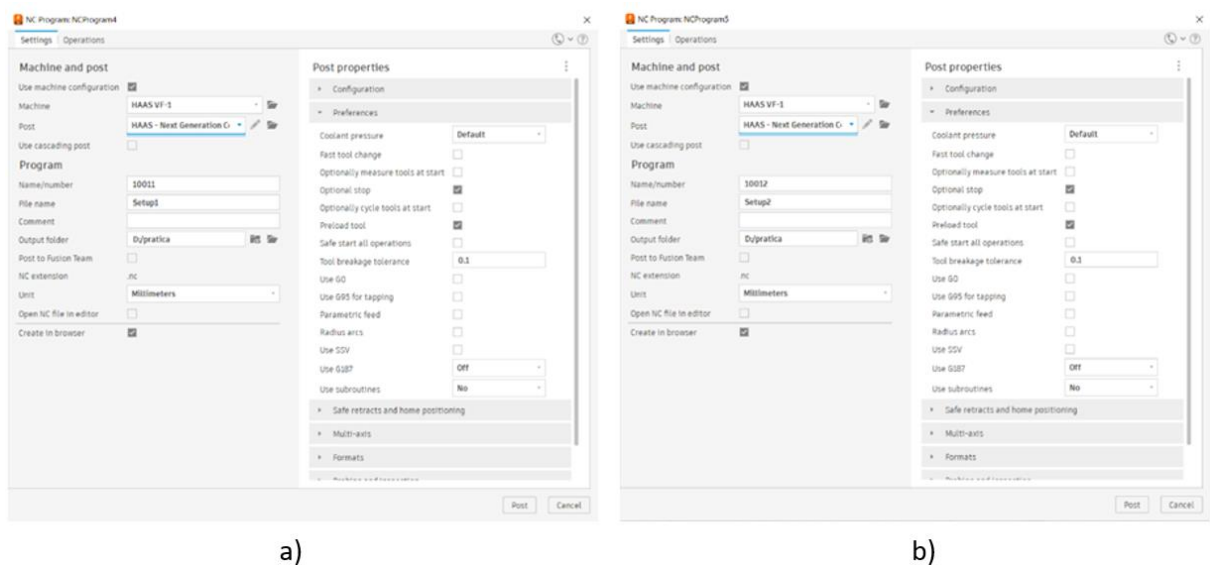
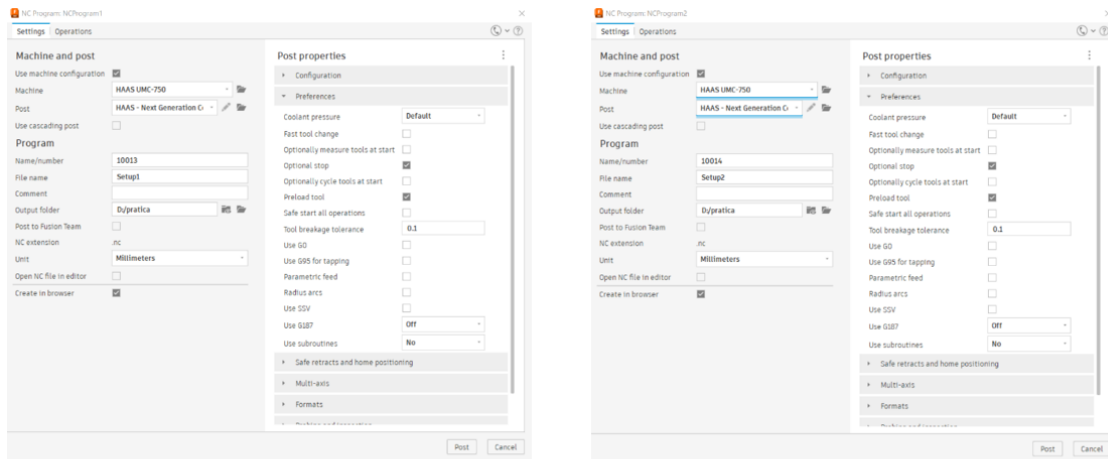


Figura 7.16 - a) Pós-Processamento do primeiro setup para a CNC de três eixos; b) Pós-Processamento do segundo setup para a CNC de três eixos

Para os cinco eixos as atenções a ter pelo operador são semelhantes com a diferença que neste caso a CNC será o modelo “HAAS UMC-750”, e a nível da controladora esta será a mesma., a *Next Generation Control*.



a)

b)

Figura 7.17 - a) Pós-Processamento do primeiro setup para a CNC de cinco eixos; b) Pós-Processamento do segundo setup para a CNC de cinco eixos

Feito isto e confirmando que está tudo como pretendido, prime-se o “Post” encontrado no canto inferior direito para gerar o código.

7.5.2. CÓDIGO-G

Ao efetuar o “Post” aparecerá um aviso pelo *Fusion 360* a confirmar a geração do código com êxito ou não, aviso este encontrado na figura abaixo.



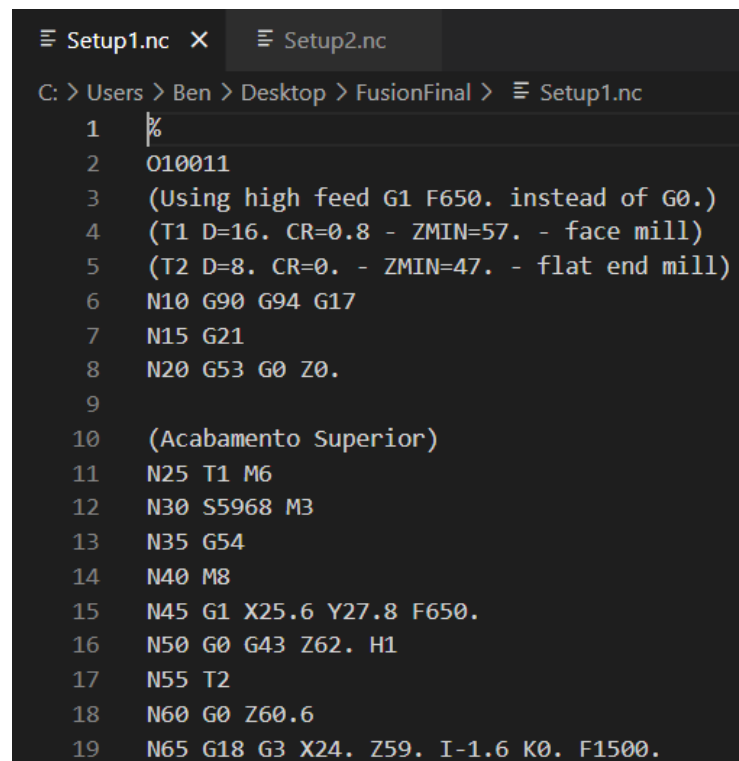
Figura 7.18 - Geração com êxito do Código-G

É necessário agora, um programa que tenha a capacidade de ler ditos códigos, um exemplo de um programa com essa capacidade é o “*Visual Studio Code*”, já pré-instalado na maioria dos computadores Windows.

O operador então prime o link que lê “*View NC Code*” e abrirá o tal programa com o código. A análise do código também é importante para verificar se existe algum tipo de erro

ou incompleição do processo que sobressalte à vista do operador. Não só mostra ao operador onde é que a operação parou, mas também qual a natureza do erro, o que ajuda a corrigi-lo.

No início do código aparecem também algumas informações acerca da ferramenta e do tipo de movimento que a CNC irá efetuar.



```
Setup1.nc X Setup2.nc
C: > Users > Ben > Desktop > FusionFinal > Setup1.nc
1  %
2  O10011
3  (Using high feed G1 F650. instead of G0.)
4  (T1 D=16. CR=0.8 - ZMIN=57. - face mill)
5  (T2 D=8. CR=0. - ZMIN=47. - flat end mill)
6  N10 G90 G94 G17
7  N15 G21
8  N20 G53 G0 Z0.
9
10 (Acabamento Superior)
11 N25 T1 M6
12 N30 S5968 M3
13 N35 G54
14 N40 M8
15 N45 G1 X25.6 Y27.8 F650.
16 N50 G0 G43 Z62. H1
17 N55 T2
18 N60 G0 Z60.6
19 N65 G18 G3 X24. Z59. I-1.6 K0. F1500.
```

Figura 7.19 - Exemplo do Código-G da operação

Neste exemplo, que diz respeito ao Código-G do primeiro *setup* referente à CNC de três-eixos, há diversas informações que este código fornece antes do primeiro movimento da ferramenta. Começa por identificar como ficou guardado o documento, editado no Pós-Processamento, neste caso “O10011”, posteriormente, informa que ao invés de o movimento ser através do G00, posicionamento rápido, será com o G1, interpolação linear, com um avanço de 650 *mm/min*. Seguidamente também fornece informação acerca das ferramentas presentes neste *setup*, ou seja o “T1” e o “T2”, ferramenta 1 e ferramenta 2, respetivamente. Aqui, é identificado o diâmetro da ferramenta, o raio do canto da ferramenta, o Z mínimo e finalmente o tipo da ferramenta. Finalmente, identifica também o tipo de operação antes da mesma, neste caso, o operador ao analisar o código consegue perceber que a primeira

operação a ser realizada será o “Acabamento Superior”, esta legenda da operação é feita no próprio *Fusion 360*.

7.5.3. PROTOCOLO DE TRABALHO

Segue-se para o objetivo principal desta dissertação que é o Protocolo de Trabalho para a controladora. Aqui será enunciado todos os procedimentos que cada operador tem de ter para a produção de qualquer peça, seja para uma CNC de 3 eixos como também para uma de 5 eixos. Por motivos de facilidade iniciar-se-á pela de 3 eixos e posteriormente a de 5, visto que as diferenças não são muitas. Para demonstrar este protocolo procedeu-se ao desenvolvimento de um fluxograma que interliga todos os procedimentos, visto que os fluxogramas, criados utilizando o site “*Miro*”, eram ilegíveis se fossem inseridos na sua totalidade, optou-se por cortar por etapas de modo a obter uma compreensão do mesmo mais acessível, porém nos anexos estará presente o link de acesso ao site onde será encontrado os tais fluxogramas na sua totalidade, através do link o leitor terá que criar conta e pedir permissão para que seja possível visualizá-los.

7.5.3.1. CNC DE TRÊS EIXOS

Para uma máquina CNC de três eixos os procedimentos a ter em conta ao manusear a controladora podem ser divididos em cinco grandes etapas. A primeira fase diz respeito à parte do Software, que foi acima referido, bom como ligar a controladora e prepará-la para qualquer atividade. Em segundo lugar tem-se o carregamento do código da simulação para a memória da controladora, seguido de uma terceira fase que se responsabiliza pelas especificações das características das Ferramentas e dos Offsets de Trabalho. Posteriormente é feito uma simulação rápida do processo e por fim a simulação propriamente dita.

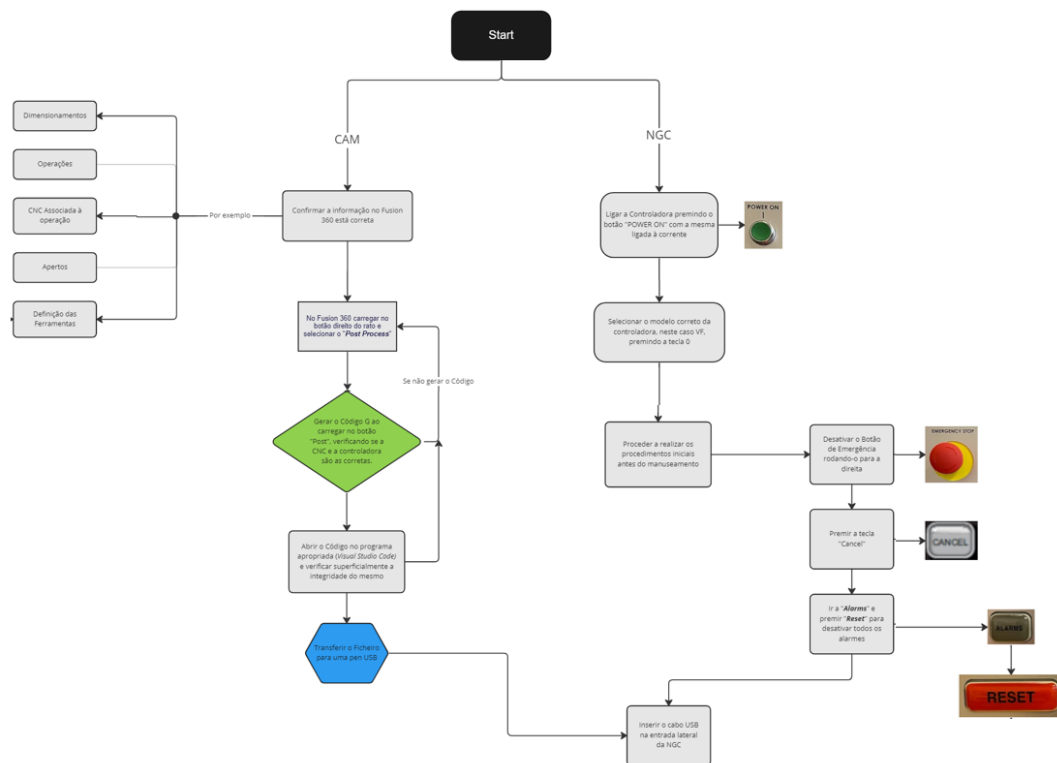


Figura 7.20 - Primeira Etapa do Protocolo de Trabalho

Na primeira etapa, operador tem de ter atenção a dois aspetos, à componente CAM e à componente Next Generation Control. Iniciando pela componente CAM, este em primeiro lugar confirma toda a informação do Software, como por exemplo os dimensionamentos, as operações, a CNC associada à operação, os sistemas de apertos e as definições das ferramentas. Feito isto pode prosseguir então ao pós-processamento, onde, como foi referido no subcapítulo acima, irá ter em atenção que CNC e controladora estão associados. Confirmando todos estes passos segue a geração do código-G propriamente dito que pode ser analisado no programa *“Visual Studio Code”*. Por fim estes ficheiros são transferidos para uma pen USB, pen que será utilizada para transferir o ficheiro para a controladora.

Mas antes de inserir a pena na controladora, é necessário ligá-la, para isso deve se ligar a NGC à corrente e de seguida premir o botão *“POWER ON”* como identificado na figura, ao fazer isto a primeira coisa que o operador deparar-se-á é uma lista de oito diferentes modelos de CNCs, e é necessário escolher o correto. Neste caso como a CNC é de 3 eixos, mais especificamente a VF-1, o operador premia a tecla *“O”* que diz respeito à gama VF. Finalizado isto, aparece o menu principal, mas ainda falta três etapas para a controladora estar pronta a ser utilizada, antes de tudo, roda-se o botão de emergência no sentido horário até

desprender, caso este esteja ativado, posteriormente prime-se a tecla “CANCEL” e por fim a tecla “Alarms” para abrir o separador dos alarmes e a tecla “RESET” de modo a desativar todos os alarmes.

Por fim, o operador pode inserir a pen USB na entrada lateral da Next Generation Control e está concluída a primeira etapa do protocolo.

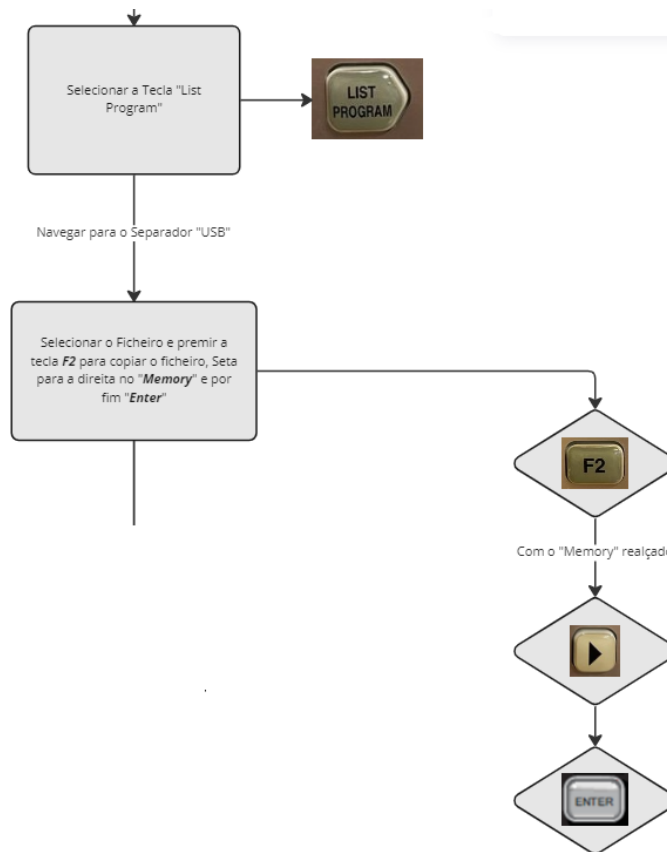


Figura 7.21 - Etapa 2 do Protocolo de Trabalho

A segunda etapa designa-se a carregar o programa e por sua vez a gravá-lo na memória da controladora para que seja possível o acesso deste sem o uso da pen USB. Faz-se isto premindo, com a pen inserida, a tecla “List Program” que abrirá uma página com vários separadores, entre eles “Memory”, “User Data” e, se todos os passos foram respeitados, “USB”. O operador navega, através das teclas de cursor para o separador USB onde encontrará todos os ficheiros da sua pen. Basta então realçar o ficheiro que pretende gravar e premir a tecla “F2”, de seguida, com o “Memory” realçado selecionar seta de cursor da direita e finalmente a tecla “ENTER” para confirmar a ação. Em princípio o programa deve ter gravado,

mas por motivos de segurança o operador pode navegar até ao separador do “Memory” e verificar se de facto o programa foi gravado com sucesso ou não.

Dá-se então por concluída a segunda etapa do protocolo.

Avançando para a terceira etapa, esta é a etapa mais completa do protocolo pois é aqui que o operador terá de definir as ferramentas e os offsets de trabalho. Por este motivo, e por motivos de conveniência subdividiu-se esta etapa em três partes.

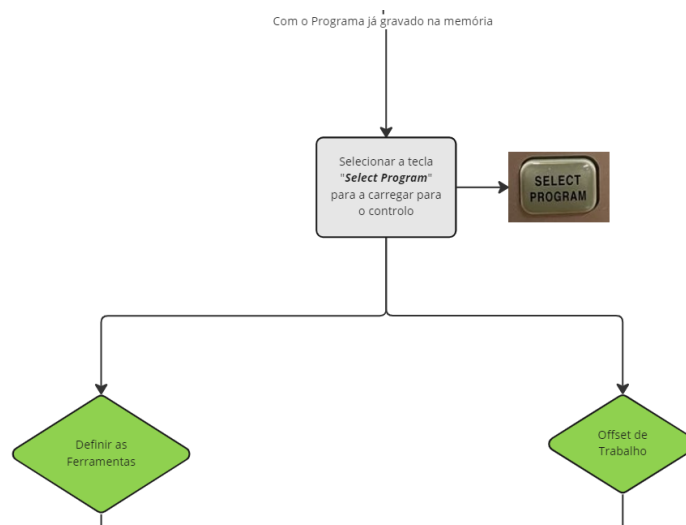


Figura 7.22 - Etapa 3.1 do Protocolo de Trabalho

Nesta primeira parte, com o programa já gravado na memória da controladora, o operador deve realçar o programa e premir a tecla “*Select Program*” que irá carrega-la para o menu principal. Feito isto, e tendo em conta que esta CNC é de três eixos, há duas tarefas que é necessário fazer para o programa correr corretamente, definir as ferramentas e definir os offsets de trabalho, ou seja, o *G54*.

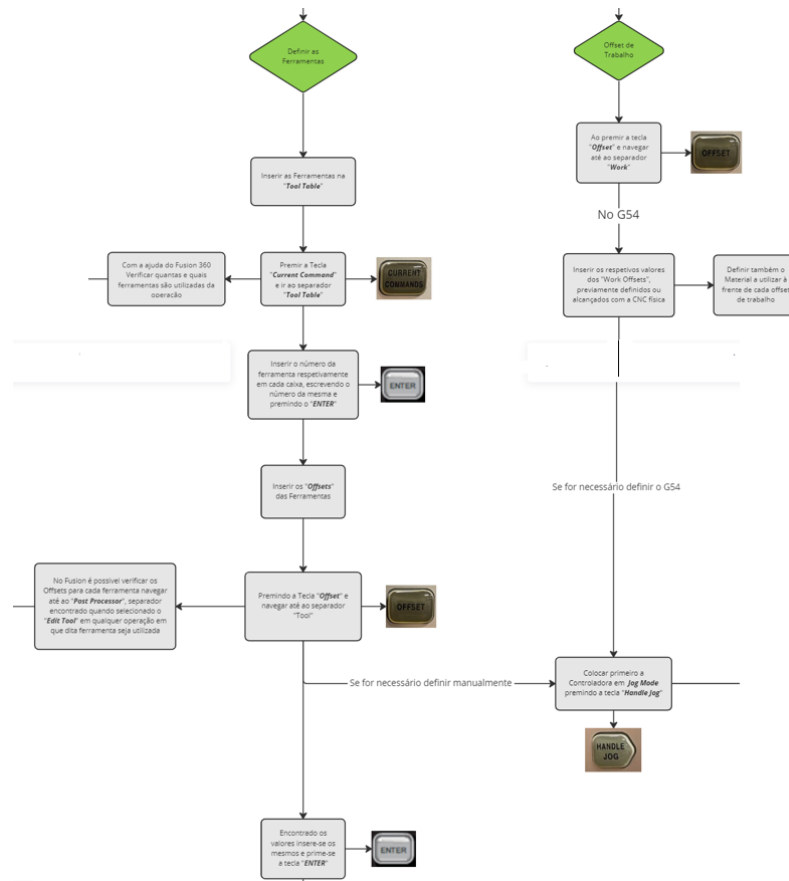


Figura 7.23 - Etapa 3.2 do Protocolo de Trabalho

Nesta segunda parte, como já foi dito, é necessário definir as características das ferramentas e também os offsets de trabalho, começando pela definição das ferramentas, antes de mais nada é necessário inseri-las na “Tool Table” ou tabela de ferramentas, isto para o programa saber que ferramenta ir buscar quando o código as pede. Para isso, o operador prime a tecla “Current Commands” e navega até ao separador “Tool Table”, com a ajuda do Fusion 360, é possível verificar quantas e quais ferramentas são utilizadas em cada operação e após essa verificação, o operador realça a caixa associada à ferramenta, insere o respetivo número e insere-a premindo a tecla “ENTER”. Por exemplo, analisando a figura 7.19, nota-se que a primeira ferramenta se denomina, por acaso, “T1”, esta então seria inserida na caixa 1. Não é obrigatório a caixa 1 ser portadora da ferramenta “T1”, até porque existem operações em que não existe “T1”, se a primeira ferramenta a ser chamada pelo código for “T4”, esta é que seria encarregue de ser inserida na caixa 1, e assim sucessivamente.

Inserindo todas as ferramentas, avança-se para a definição dos offsets das ferramentas, tanto a nível do comprimento, como a nível do diâmetro. Há duas maneiras de chegar a este valor, a segunda maneira será explicada na próxima etapa do protocolo de trabalho. Uma das

maneiras será então premir a tecla “OFFSET” e navegar até ao separador “Tool”, aí é possível verificar a tabela dos offsets das ferramentas com as diversas colunas assinalando cada tipo deste. O operador desloca-se então para o “Fusion 360” onde consegue verificar os offsets para cada ferramenta, faz-se isso navegando até ao “Post Processor”, separador este encontrado quando selecionado o “Edit Tool” que é disponível premindo o botão direito do rato em cima de qualquer operação em que a ferramenta é utilizada. No “Post Processor” o operador encontra então o número da ferramenta, “Number”, o offset do comprimento “Length Offset” e o offset do diâmetro “Diameter Offset”. Avança-se então para a inserção dos respetivos valores na tabela dos offsets, inserindo ditos valores e premindo a tecla “ENTER”.

Em relação ao Offset de Trabalho, estes valores do G54 também podem ser alcançados duas formas, manualmente ou já previamente definidos, relativamente aos valores já previamente definidos, estes são inseridos também premindo a tecla “OFFSET” para abrir a página do Offset, mas navegando para o separador “Work”, aqui podem ser inseridos, realçando a linha do G54, os valores dos offsets de trabalho do eixo do X, Y e Z. Fora isto é ainda possível definir o material da peça a ser maquinada neste mesmo separador.

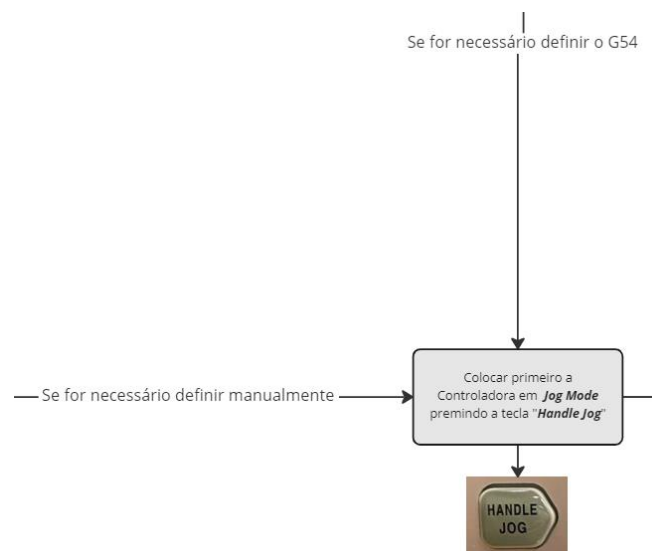


Figura 7.24 - Etapa 3.2.1 do Protocolo de Trabalho

Porém, estes valores do offset da ferramenta e do G54 podem ter de ser alcançados manualmente com a ajuda de outras ferramentas, se esse for o caso a primeira coisa que o

operador terá que fazer é colocar a CNC em “Jog Mode” premindo a tecla “Handle Jog”, ou seja em modo de incremento.

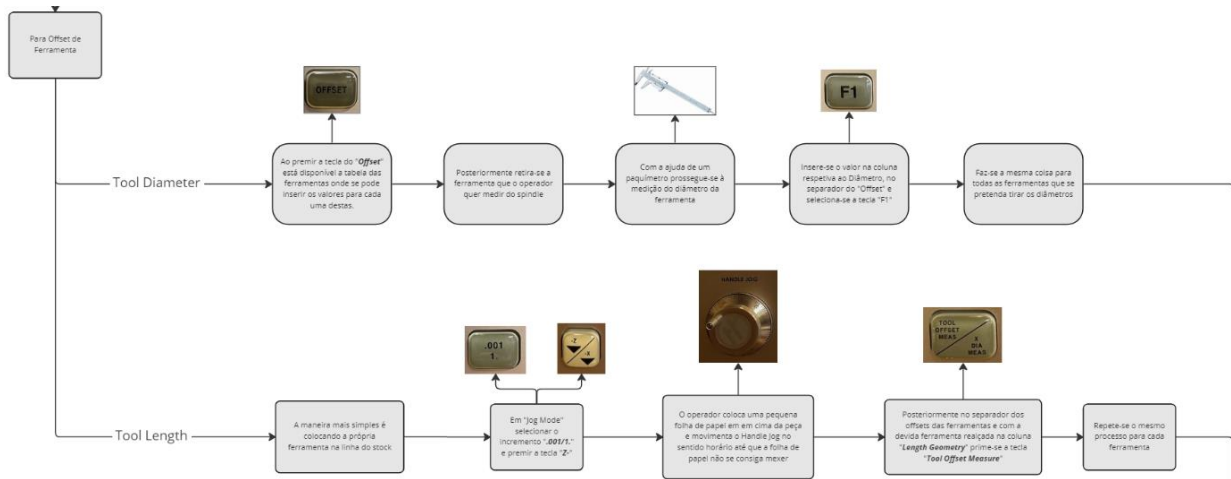


Figura 7.25 - Etapa 3.3 do Protocolo de Trabalho

Em relação aos offsets das ferramentas, é necessário descobrir o diâmetro e o comprimento, para o diâmetro o operador prime novamente a tecla “Offset” para abrir a tabela dos offsets das ferramentas, posteriormente retira cada ferramenta que quer medir este offset e com a ajuda de um paquímetro ou qualquer outra ferramenta de medição própria para diâmetros, prossegue à medição da mesma, feito isto navega até a coluna correta e insere o valor, registando esse mesmo valor com a tecla “F1”.

Para o comprimento o procedimento difere, o operador coloca a ferramenta na linha do stock e no “Jog Mode” seleciona o incremento “.001/1.”, esta tecla define quanto é que a ferramenta se move por milímetro por rotação, e premir a tecla “Z-” que instrói a CNC a se movimentar no eixo do Z mas no sentido negativo. O operador procede então por colocar uma folha de papel em cima da peça e movimenta o manípulo “Handle Jog” no sentido horário até que se sinta resistência para movimentar a folha de papel. Nesse momento não se movimenta mais o manípulo e no separador dos offsets das ferramentas na coluna “Length Geometry” prime-se a tecla “Tool Offset Measure” para validar o valor alcançado. Repete-se este processo para cada ferramenta a que se pretende retirar o valor do offset.

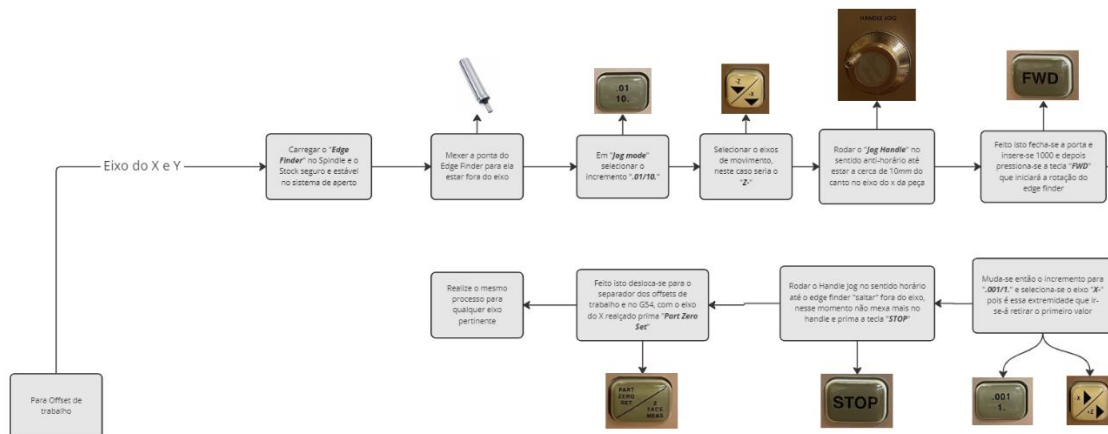


Figura 7.26 - Etapa 3.4 do Protocolo de Trabalho

Existem diversas maneiras para definir o G54 nos eixos cartesianos, porém o X e o Y podem ser calculados da mesma forma, uma das maneiras é carregar um “Edge Finder” no *spindle* e garantir que o stock está seguro e estável no sistema de aperto, depois descentraliza-se o *edge finder* de modo que este esteja fora do eixo. Feito isto, e em “Jog mode” seleciona-se o incremento “.01/10” e seleciona-se o eixo de movimento, que neste caso é o eixo do “Z”, por isso seleciona-se a tecla “Z-”, de seguida é necessário rodar o manípulo no sentido anti-horário até o *edge finder* estiver colocado cerca de 10 mm do canto no eixo do X da peça. Até agora, os procedimentos foram feitos com a porta da CNC aberta visto que não havia rotação automática do *spindle*, mas agora, é necessário fechá-la e inserir 1000 e pressionar a tecla “FWD” que iniciará a rotação do *spindle*, e conseqüentemente do *edge finder* com um valor de 1000 rotações por minuto. Diminui-se os incrementos selecionando a tecla “.001/1.” e altera-se também o eixo de movimento para o do X, premindo a tecla “X-” pois essa é a extremidade a qual se irá retirar o primeiro valor. O *edge finder*, descentralizado, irá se aproximar da peça até ficar centralizado e mal o eixo “salte”, ou seja, descentralize novamente o operador deixa de rodar o manípulo e prime a tecla “STOP”. Obtendo este valor, navega-se para o separador dos offsets de trabalho e no G54, na coluna referente ao eixo do X seleciona-se a tecla “Part Zero Set” que irá introduzir automaticamente este valor obtido. Procede-se então a repetição deste processo para qualquer eixo pertinente.

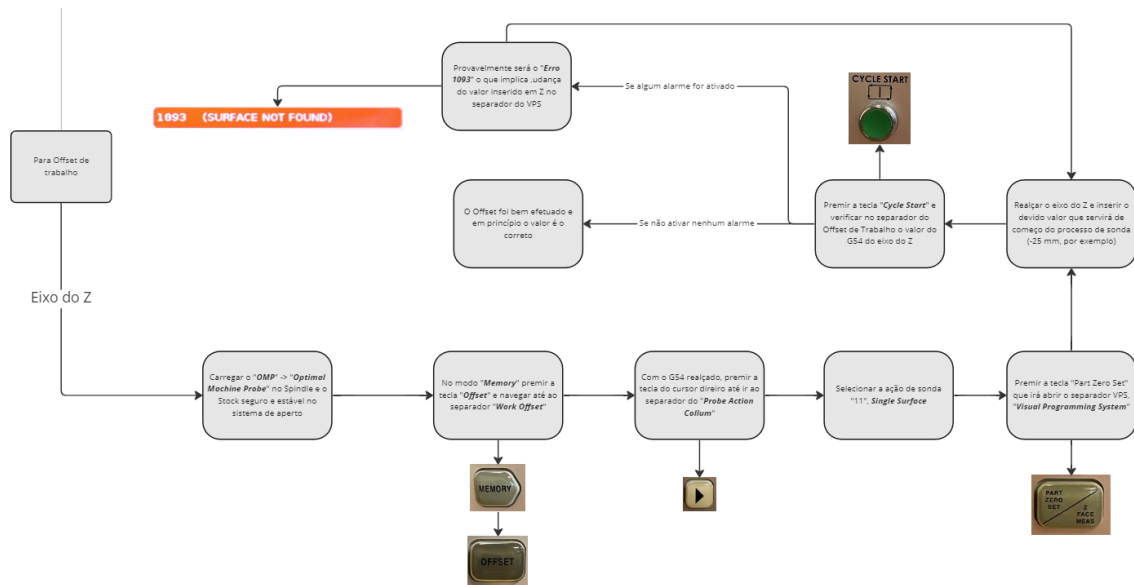


Figura 7.27 - Etapa 3.5 do Protocolo de Trabalho

Para o eixo do Z, o procedimento é ligeiramente diferente, visto que, por razões lógicas, não é possível utilizar um edge finder, utiliza-se como substituto, uma sonda, daí a primeira função do operador é carregar o “OMP”, *Optimal Machine Probe* no spindle e novamente garantir que o stock está seguro e estável no sistema de aperto. Neste caso, não se utiliza o modo de incremento por isso ao premir a tecla “MEMORY” altera-se o modo para o modo memória, posteriormente, seleciona-se a tecla “OFFSET” e navega-se até ao separador do “Work Offset”. Com o G54 realçado seleciona-se a tecla de cursor com a seta para a direita até chegar ao separador “Probe Action Collum”. Neste menu serão evidenciadas várias ações da sonda, pelo que o operador deve escolher a ação 11, “Single Surface”, sendo ela a mais adequada para a determinação do valor pretendido. De seguida, a tecla “Part Zero Set” levará o operador para o separador do “VPS”, *Visual Programming System* na janela do “Program Generation”, esta é a janela de preparação da ação da sonda, por isso, realçando o eixo do Z, o operador deve inserir o valor que servirá de posição inicial neste processo, um bom exemplo de posição inicial é de -25mm. Feito isto, ao premir a tecla “CYCLE START” o processo inicia-se e o valor é automaticamente inserido no G54 na coluna do Z. Se porventura o processo não se realizar direito devido a algum alarme ativado, o mais provável é que tenha acionado o “Error 1093 – Surface Not found”, isto significa que a sonda não atingiu nenhuma superfície, para resolver o erro o operador deve pressionar primeiro o “RESET” para desativar o alarme e verificar o posicionamento da sonda e mudar os valores inserido no separador do VPS.

Dá-se então por concluído a terceira etapa do protocolo de trabalho.

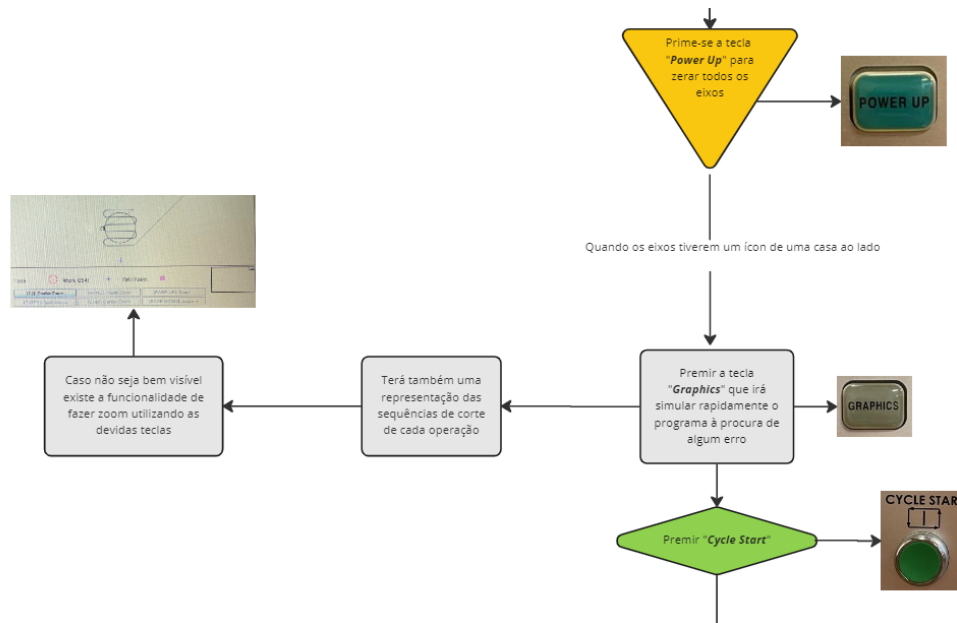


Figura 7.28 - Etapa 4 do Protocolo de Trabalho

Concluídos todas as especificações relacionadas com as ferramentas e offsets de trabalho é necessário premir a tecla “Power Up” de modo a zerar todos os eixos, e é visível que este processo foi concluído quando ao lado de cada eixo, tiver o ícone de uma casa. Procede-se então para o objetivo principal desta etapa que é a simulação rápida do código de modo a examinar se existe algum erro ou algum defeito no código. Para isto prime-se a tecla “Graphics” que abrirá uma janela em que, no decorrer do código, será visível uma representação das sequências de corte de cada operação, com direito à funcionalidade de zoom. A tecla “CYCLE START” é então pressionada e o código vai começar a correr rapidamente sem movimento da máquina, disponibilizará também uma gráfica. Na ocorrência algum erro surja, acionará um alarme e o operador terá de selecionar a tecla “RESET” para desativá-lo e verificar que tipo e onde é que o erro está localizado. Alcançado o final do código sem erro e com uma representação gráfica que se assemelha às trajetórias de corte, o operador pode avançar para a simulação final propriamente dita.

Conclui-se aqui então a quarta etapa do protocolo de trabalho.

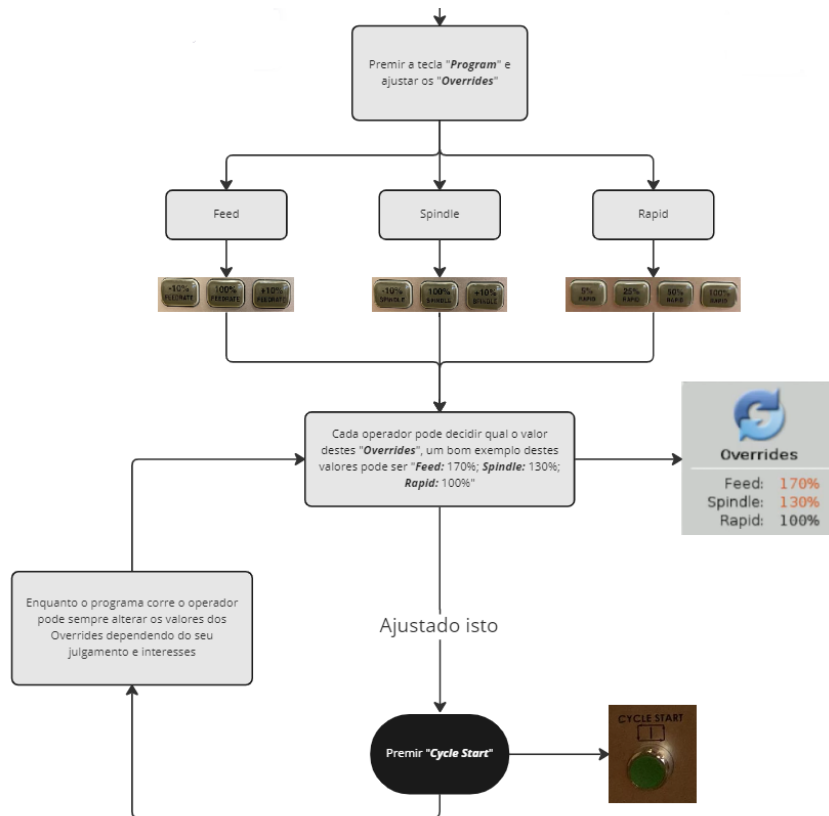


Figura 7.29 - Etapa 5 do Protocolo de Trabalho

Esta última etapa designa-se à simulação propriamente dita, acabando esta etapa, o operador terá a peça final já manufaturada. Para isso, inicia-se esta última etapa por premir a tecla “PROGRAM” e ajusta-se os “Overrides”, os overrides são as ferramentas que permitem controlar as velocidades e avanços num processo. Estes valores são sempre relativos a cada operador e o que se pretende obter como peça final. Porém, como exemplo, uns valores aceitáveis de Overrides são um “Feed” de 170 %, um “Spindle Speed” de 130% e um “Rapid” de 100%. É possível ainda controlar e alterar estes valores durante a operação, caso o operador ache pertinente em certas operações fazê-lo devido a questões como acabamento e desgaste. Com tudo ajustado, prime-se a tecla “CYCLE START” e inicia-se o processo.

Termina então a quinta e última etapa do Protocolo de Trabalho.

7.5.3.2. CNC DE CINCO EIXOS

Concluído então os procedimentos quando se trata de uma CNC de três eixos, é importante também saber como proceder se a máquina em questão for uma de 5 eixos. Num todo, os passos assemelham-se visto que muita das etapas são condições gerais para o funcionamento correto da produção seja qual for o modelo da CNC, porém existem algumas

diferenças. Neste subcapítulo apenas será abordado as diferenças entre as duas para não sobrecarregar a dissertação culminando numa melhor leitura e compreensão.

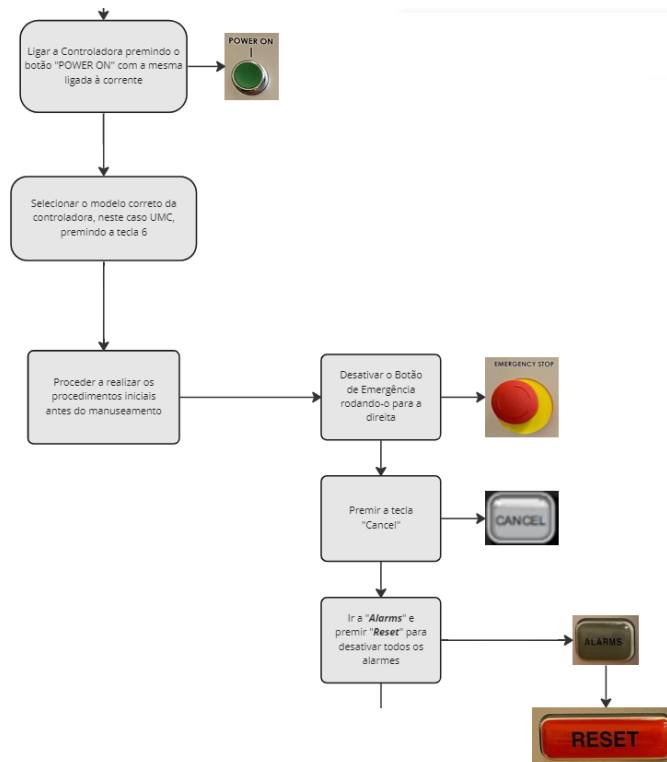


Figura 7.30 - Diferença 1 no processo da CNC de 5 eixos

A primeira alteração que é necessário realizar é logo no ato de ligar a controladora, como foi anteriormente dito, quando o operador prime a tecla "POWER ON" é visualmente explicito uma janela em que deve optar pelo modelo da CNC que pretende. Visto que no exemplo da produção, a CNC associado era uma UMC-750, o operador deve optar, portanto, por seleccionar a tecla "6" que diz respeito às máquinas HAAS do modelo "UMC".

A segunda alteração será atribuir valores ao "MRZP", "Machine Rotary Zero Points", estes valores basicamente informam a CNC a que distância do ponto central da inclinação do eixo B até ao zero do eixo X; a que distância do ponto central de inclinação do eixo B até ao zero do eixo Z e ainda a que distância do ponto central da mesa rotativa do eixo C até ao zero do eixo Y. Resumindo, são os offsets do "MRZP". Estes valores não podem ser zero e são inseridos na janela dos "SETTINGS" no separador do "Machine Setup" e dizem respeito aos "Setting 255 MRZP X Offset" para o eixo do X; "Setting 256 MRZP Y Offset" para o eixo do Y e finalmente "Setting 257 MRZP Z Offset" para o eixo do Z.

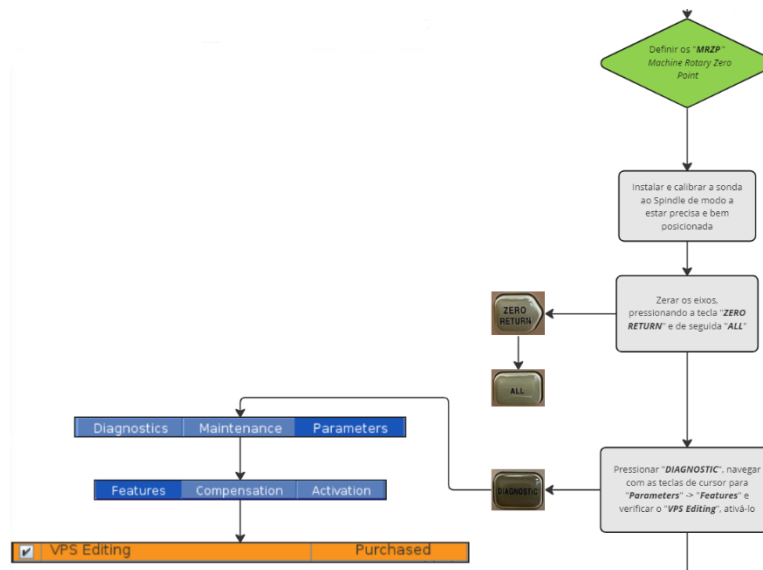


Figura 7.31 - Primeiro passo na definição do MRZP

Estes valores são alcançados através de uma sonda, por isso, o primeiro passo é de facto proceder à calibração da sonda para que esteja precisa e bem posicionada. Após dita calibração prossegue-se a zerar todos os eixos, para isso seleciona-se a tecla “ZERO RETURN” e de seguida “ALL”. Com os eixos na posição “casa” é necessário verificar se a ferramenta de editar o VPS, “Visual Programming System” está permitida ou não, para isso prime-se a tecla “DIAGNOSTIC”, e seguidamente, utilizando as teclas de cursor é necessário deslocar até ao separador do “Parameters” e por fim dentro separador, para o subseparador dos “Features”. Aqui nos features é possível verificar se o “VPS Editing” está ativado.

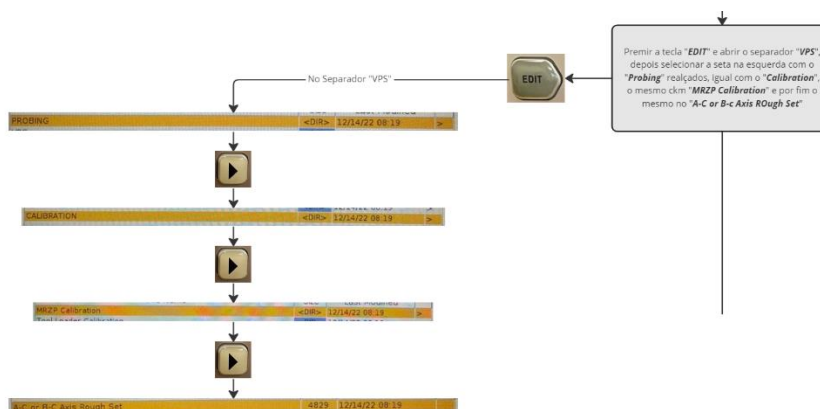


Figura 7.32 - Segundo passo na definição do MRZP

Feito estes preparativos, o operador seleciona a tecla “EDIT” e navega para o separador do “VPS”, neste separador é necessário premir, com o “Probing” realçado a seta da direita, posteriormente repete-se o processo, mas com “Calibration” realçado, após isto novamente a mesma situação só que desta vez com “MRZP Calibration” e por fim seleciona-se a opção “A-C or B-C Axis Rough Set” pois o objetivo é chegar aos valores do MRZP para o eixo B e C.

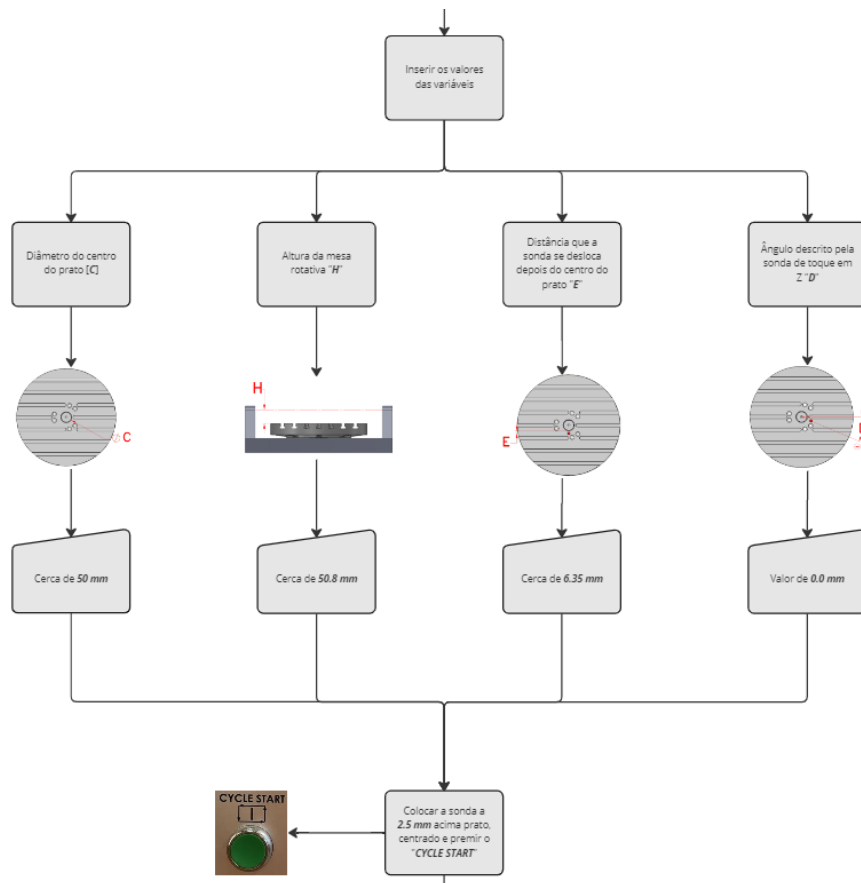


Figura 7.33 – Terceiro passo na a definição do MRZP

Uma nova janela abrirá a pedir valores de quatro variáveis, “C, H, E e D”. O “C” define o diâmetro do centro do prato que neste caso para a UMC-750 terá um valor que ronda os 50mm; o “H” a altura da mesa rotativa, desde o centro do prato até à altura máxima da mesa que nesta CNC apresenta um valor de 50.8 mm; o “E” a distância que a sonda se desloca depois do centro do prato que é descrito por um valor à volta dos 6.35 mm e finalmente o “D” define aproximadamente o ângulo descrito pela sonda de toque em Z que será de 0 mm.

Inserido ditos valores é necessário colocar a sonda cerca de 2.5 mm acima do prato rotativo centrado com o centro deste e premir a tecla “CYCLE START” para se iniciar o processo.

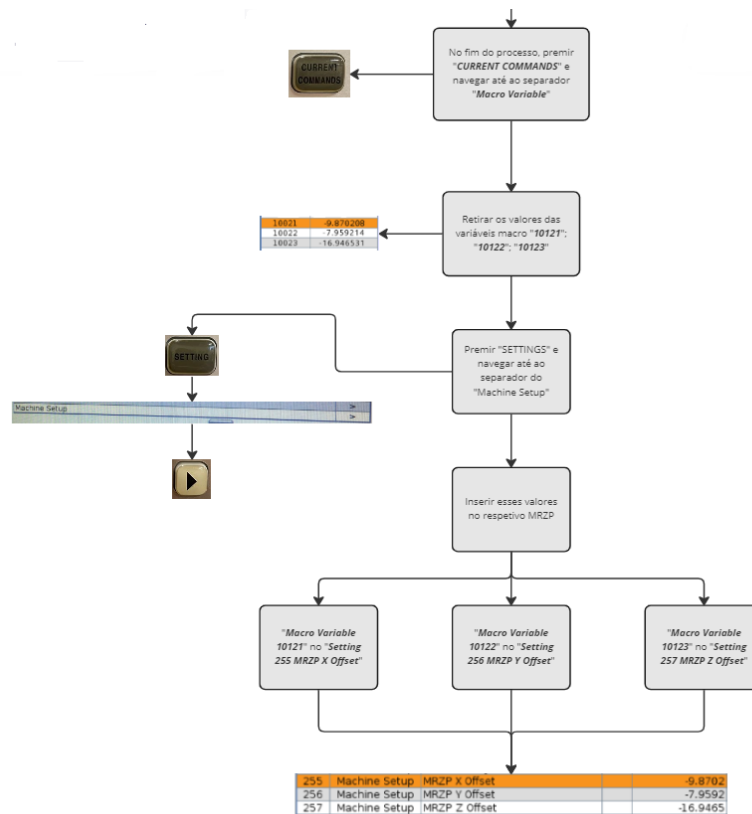


Figura 7.34 - Quarto passo na definição do MRZP

Finalizado o percurso da sonda, é fundamental selecionar a tecla “CURRENT COMMANDS” e navegar até ao separador “Macro Variable” porque é neste separador das macros que foram gravados os valores encontrados pela sonda, o operador deve anotar os valores das variáveis macro 10121, 10122 e 10123 e posteriormente de volta da página onde é possível verificar os valores do MRZP inserir o valor das variáveis macro 10121, 10122 e 10123 no MRZP X Offset; MRZP Y Offset e MRZP Z Offset, respetivamente.

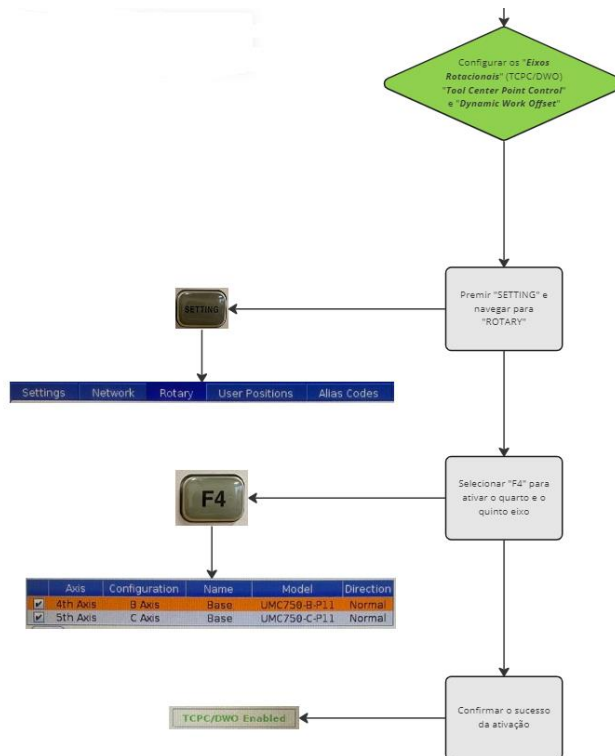


Figura 7.35 - Ativação do TCPC/DWO

A última diferença para as CNCs de cinco eixos é o facto de ter que ser configurar o eixos rotacionais, mais precisamente ativar o quarto e o quinto eixo. Por outras palavras, ativar o "TCPC/DWO", "Tool Center Point Control/Dynamic Work Offset", ferramenta que determina a diferença entre o centro de rotação programado no software e o centro de rotação da própria CNC e aplica os offsets apropriados.

A ativação desta ferramenta é muito simples, basta seleccionar a tecla "SETTINGS" e de seguida navegar até ao separador do "Rotary" e ativar o quarto e o quinto eixos através da tecla "F4", caso estes estejam desativados, de modo a verificar a ativação correta ou não, deve aparecer um certo na caixa ao lado de cada eixo ou então pelo lado direito da janela que deve informar se o TCPC/DWO está ativado ou não, normalmente escrito com uma cor verde no caso de estar ativado.

7.6. COMENTÁRIOS E SÍNTESE DO CAPÍTULO

É dado então como concluído a componente prática, que se responsabilizou por preparar a controladora CNC para a produção. Ou seja, desde o ponto da criação do modelo CAD, até à interação homem-máquina de modo que com as preparações todas feitas seja apenas necessário premir a tecla "CYCLE START" para a produção correta da peça em questão.

Para exemplificar esta preparação criou-se duas peças que serão maquinadas utilizando duas máquinas CNC diferentes, uma maquinada por uma máquina CNC de três eixos e outra peça maquinada com uma de cinco eixos, para além das CNC serem diferentes a preparação da controladora também difere.

Feito estes modelos foi então definido as máquinas CNC a utilizar, a “VF-1” para o modelo em três eixos e a “UMC-750” para o modelo em cinco eixos. Definiu-se também as ferramentas e os respetivos parâmetros, o material da peça a ser maquinada e por fim explicações acerca do modelo CAM através do software “Fusion 360”. Terminando os procedimentos prévios do manuseamento da controladora, extraiu-se o código-G de cada operação tendo em conta o número de setups de cada peça, que neste caso, eram dois para ambas as peças, daí dois ficheiros de código distintos para cada.

Por fim, avançou-se para o manuseamento da controladora, com ajuda representativa de um fluxograma, este fluxograma serviu como um protocolo de trabalho enunciando cada passo à medida que o processo avançava. O fluxograma termina com a indicação de premir o “CYCLE START” e se tudo foi respeitado, aguardar o tempo de produção de modo a obter a peça final.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

8.1. CONCLUSÕES

Esta dissertação consiste na criação de um protocolo de trabalho para a controladora da Haas, a Next Generation Control, onde foi decifrado todas as funcionalidades no que toda ao controlo de processos de maquinagem CNC tanto a nível teórico como também com o auxílio de uma componente prática de modo a aplicar os conhecimentos adquiridos nos capítulos teóricos.

Começou-se então por aprofundar com capítulos destinados a conceitos teóricos acerca da evolução da maquinagem CNC e também da evolução dos sistemas Haas de modo a permitir ao leitor se enquadrar com as áreas abordadas ao longo do documento. Abordou-se o essencial acerca destes tópicos incidindo inicialmente nos primeiros protótipos de máquinas CNC e ainda os benefícios que este tipo de maquinagem tem no mundo da engenharia. Em segundo lugar enunciou-se toda a evolução dos componentes criados pela “Haas Automations” mostrando os avanços tecnológicos que a companhia fez até à atualidade.

Avançou-se para uma visão geral da maquinagem CNC por si só, onde são mencionados os tipos de máquinas utilizados na indústria que são relevantes no contexto desta dissertação, sendo eles, uma máquina CNC de três eixos e uma máquina CNC de cinco eixo, seguido de uma enumeração de todas as etapas essenciais na preparação de uma máquina para a produção.

Uma análise detalhada da controladora em si também foi incluída onde, com auxílio de figuras informativas, é explicado a função de cada área de trabalho que está dividida em oito setores diferentes, ditas áreas que desempenham uma função importante e insubstituível na concretização desejada do processo geral de maquinagem.

Finalizou-se a componente teórica com informações acerca do código geralmente utilizado na maquinagem CNC, o código-G, código este que será também estudado na componente prática devido a ser portador da informação acerca dos detalhes da operação (sequência de corte, detalhes de ferramentas, entre outros).

Por fim, é utilizado um exemplo prático com intuito de aplicar a informação obtida previamente num contexto real, onde são evidenciadas duas peças com características e

modos de produção diferentes, sendo eles uma das peças ser maquinada recorrendo a uma máquina de CNC de três eixos e outra recorrendo a uma com cinco eixos. Para além da escolha do equipamento foi também definido as ferramentas e devidos parâmetros utilizados na simulação, uma breve explicação acerca da sequência de corte e até o material utilizado.

De seguida é descrito o protocolo de trabalho propriamente dito, em forma de fluxograma, que permitirá ao operador proceder à produção de um componente recorrendo aos passos do fluxograma.

Em geral, o objetivo da dissertação foi alcançado visto que mesmo um operador que não seja experiente na área mas tenha noção dos conceitos básicos de maquinagem consegue manusear e produzir componentes com o controlador Haas Next Generation Control.

8.2. PERSPETIVAS E TRABALHOS FUTUROS

Visto que esta dissertação engloba um tema bastante abrangente, visto que as possibilidades da produção CNC são infinitas, porém no contexto do protocolo de trabalho, existe alguns tópicos não abordados neste documento, que num futuro trabalho possam ser pertinentes.

Primeiramente, a Next Generation Control permite ao utilizador, como demonstrado ao longo desta dissertação, utilizar diversas máquinas para o controlo da maquinagem. Um dos pontos que possa surgir interesse, será consolidar este protocolo com mais máquinas CNC que por ventura exijam diferentes definições da controladora não necessárias nos dois modelos utilizados, “VF-1” e “UMC-750”. Não só abrange o aspeto informativo deste documento, como também apresentará diferentes funcionalidades do controlador que reforça as competências de qualquer operador. Por exemplo, em vez e uma fresadora recorrer-se a um torno, que alterava os procedimentos na preparação da CNC.

Por fim, era do interesse deste protocolo se proceder à produção propriamente dita dos componentes, isto não só permite ter um componente físico que retrata a preparação correta do controlador, como também melhorava a informação inserida na NGC, por exemplo, os valores de offsets que sejam necessários um “*Edge Finder*” ou até as mudanças nos valores dos “*Overrides*” todos estes fatores seriam acompanhados por resultados reais que acaba por ajudar na compreensão do processo.

ANEXOS A – CRONOLOGIA DOS PRODUTOS DA HAAS AUTOMATIONS



HAAS VF1

30 Years of being **Very First**

1983
Haas introduces the industry's first-ever, fully programmable 5C rotary indexer.



1986
Haas rotary products reach #1 in sales in the U.S.

1988
Haas introduces the VF-1, the company's first vertical machining center, at IMTS 88



1991
Haas expands product line with VF-O and VF-2 VMCs, and introduces 5-axis capabilities.

1994
Haas introduces its first horizontal machining center, the HS-1.



1995
Haas introduces its first CNC lathe, the HL-1.






1997
Haas moves to a custom-designed, 420,000-sq-ft manufacturing facility on 86 acres in Oxnard, California.

1999
Haas establishes nationwide network of Haas Factory Outlets – dedicated facilities that provide Haas-dedicated sales, applications support, and industry-leading service.

2000
Haas ships its 25,000th CNC machine, and introduces the Mini Mill.



2001
The Haas facility is expanded by another 200,000 sq ft, bringing total size to 620,000 sq ft. Haas Automation Europe opens in Brussels, Belgium.



2002
Haas introduces the VF-2SS, the first in the company's new Super Speed VMC series.
Gene Haas founds Haas CNC Racing, having previously been a sponsor of Hendrick Motorsports.

2003
Haas introduces the TL-1 Toolroom Lathe with Intuitive Programming System, a full CNC lathe priced less than \$20,000 that does not require knowledge of G-code to operate and program.

2004
Haas introduces the new EC Series of HMCs: EC-300, EC-400, and EC-1600.

2005
Haas ships its 50,000th CNC machine. Current production is more than 825 machines per month. The company continues to expand all product lines with innovative new machines and options.
Haas builds 10,000 CNC machines in one year – **an industry first.**



2006
Haas builds 12,500 machines in one year.
Haas expands the Oxnard facility by 211,000 sq ft, bringing plant size to more than 1-million square feet.



2007
Haas builds 13,757 machines in one year, with more than half (52%) going to international markets.

2008
Haas celebrates 25 years of affordable CNC machine tool technology.

2009
The Haas DT-1 Drill/Tap Center with full milling capabilities makes its debut.



The new HRI 100SS super-speed rotary table from Haas debuts, with indexing speeds up to 6,000/sec and to take advantage of the increased speeds and feeds of today's high-speed machining centers.



Haas introduces HFC210 high-speed roller cam rotary table with 850 deg/sec feedrates – 8 times faster than the standard HFC10.



Haas launches online parts and customer resource websites: Parts.HaasCNC.com and DIY.HaasCNC.com.

2015
Haas introduces DM-1 Dr/M/E Center with 16,000-rpm 40-taper spindle.
Haas introduces new Haas Bar Feeder, with innovative rollaway design.
Haas introduces the HRC180 to expand its line of roller-ram rotary tables.
Haas installs a 1-megawatt solar generating system at the Oxnard factory to reduce the company's carbon footprint.
Haas introduces the ST-16, a small-footprint, big-bore turning center with 2.5' bar capacity.



Haas introduces the EC-1600ZT-6AX, a large-capacity, 5-axis HMC for machining large, complex parts.

Haas introduces the UMC-750P, a unique configuration of the class leading UMC 750 designed for profiling and thread turning.

Haas introduces the Next Generation Control on its VMCs and HMCs.

2017
Haas introduces HM165 turret with 6000-rpm live tooling on line S1-20 and S1-30 series lathes.





2010
Haas presents the New Generation VMCs and S1 Turning Centers, with improved chip evacuation, coolant containment, ergonomic, enhanced motion control, and a bold new look.

2011
Haas Automation hosts the first HaasTec open house/machine tool event at its Oxnard, California, factory.
Stewart-Haas driver, Tony Stewart, wins the 2011 NASCAR Sprint Cup Series Championship. The teams first.



2012
Haas introduces the UMC-760 5-axis universal machining center.

2013
Haas celebrates 30th anniversary.



2014
Haas Automation produces its 150,000th Haas CNC machine tool.
Gono Haas is granted a license to compete in Formula One by the FIA; the new team, named Haas F1 Team, will be sponsored by Haas Automation.
Haas Automation sponsors Stewart-Haas Racing driver Kurt Busch in the NASCAR Sprint Cup Series, and achieves first win.
Haas introduces S1-60 and S1-65 large-through-bore lathes.
Stewart-Haas Racing driver Kevin Harvick wins the NASCAR Sprint Cup Championship.



2016
Haas introduces the CL-1, a high speed, ultra compact chucker lathe with available integrated bar feeder.
Haas introduces the CM-1, a high-speed, ultra compact VMC for precision work.
Haas introduces the TR70, an ultra-small, dual-axis rotary table for the CM-1 and other small mills.



Sales of Haas machines exceeds 13,500 units for the first time in company history.
Haas launches redesign website.

2018 & BEYOND
Haas celebrates 30 years of the VF-1.
Haas installs 200,000th CNC machine.
Haas introduces the UMC-1000, a large 5-axis universal machining center with 40' x 25' x 25' travel.

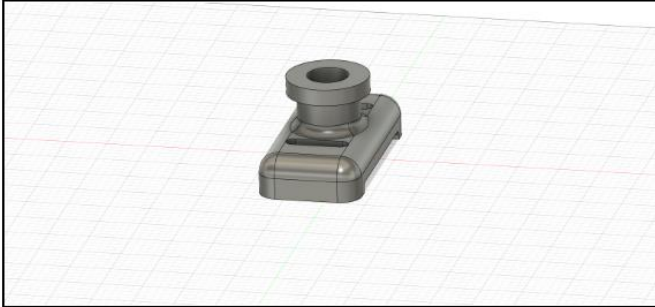


ANEXOS B – FICHA DE FABRICO PARA A OPERAÇÃO A TRÊS EIXOS


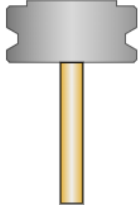

Setup Sheet for Program 1001

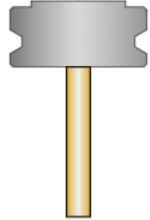



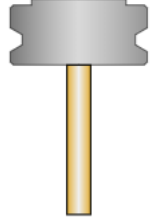
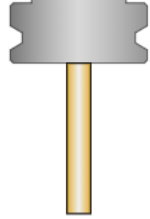
JOB DESCRIPTION: Peça Cima

DOCUMENT PATH: Peça_Tese_BenjaminCamacho v1

Setup	
<p>WCS: #0</p> <p>Stock: DX: 62mm DY: 125mm DZ: 60mm</p> <p>PART: DX: 62mm DY: 125mm DZ: 56mm</p> <p>STOCK LOWER IN WCS #0: X: -31mm Y: 0mm Z: 0mm</p> <p>STOCK UPPER IN WCS #0: X: 31mm Y: 125mm Z: 60mm</p>	

Total
<p>NUMBER OF OPERATIONS: 6</p> <p>NUMBER OF TOOLS: 3</p> <p>TOOLS: T1 T2 T3</p> <p>MAXIMUM Z: 62mm</p> <p>MINIMUM Z: -53.7mm</p> <p>MAXIMUM FEEDRATE: 1600mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 8000rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 32638.11mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 5263.64mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 31m:10s</p>

Tools		
<p>T1 D1 L1</p> <p>TYPE: face mill</p> <p>DIAMETER: 16mm</p> <p>CORNER RADIUS: 0.8mm</p> <p>LENGTH: 50mm</p> <p>FLUTES: 2</p> <p>DESCRIPTION: Face Mill Sandvik D16</p>	<p>MINIMUM Z: -43.7mm</p> <p>MAXIMUM FEED: 1500mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5968rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 29060.12mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 3570.79mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 24m:26s (78.4%)</p>	
<p>T2 D2 L2</p> <p>TYPE: flat end mill</p> <p>DIAMETER: 8mm</p> <p>LENGTH: 50mm</p> <p>FLUTES: 1</p> <p>DESCRIPTION: End Mill Palbit R3</p>	<p>MINIMUM Z: -53.7mm</p> <p>MAXIMUM FEED: 800mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 8000rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 3270.77mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 1423.56mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 5m:29s (17.6%)</p>	<p>HOLDER: BT30 - Blank1</p> 
<p>T3 D3 L3</p> <p>TYPE: ball end mill</p> <p>DIAMETER: 6mm</p> <p>CORNER RADIUS: 3mm</p> <p>LENGTH: 30mm</p> <p>FLUTES: 2</p> <p>DESCRIPTION: Sandvik Ball mill R3</p>	<p>MINIMUM Z: 21mm</p> <p>MAXIMUM FEED: 1600mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 8000rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 307.22mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 269.29mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 15s (0.8%)</p>	

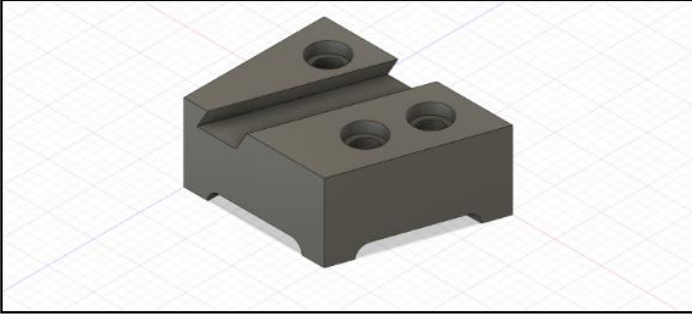
<p>Operation 4/6 DESCRIPTION: Helix STRATEGY: Pocket 2D WCS: #0 TOLERANCE: 0.1mm STOCK TO LEAVE: 0mm MAXIMUM STEPOVER: 7.6mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 37mm MINIMUM Z: 2mm MAXIMUM SPINDLE SPEED: 8000rpm MAXIMUM FEEDRATE: 800mm/min CUTTING DISTANCE: 621.94mm RAPID DISTANCE: 146.07mm ESTIMATED CYCLE TIME: 1m:41s (5.4%) COOLANT: Flood</p>	<p>T2 D2 L2 TYPE: flat end mill DIAMETER: 8mm LENGTH: 50mm FLUTES: 1 DESCRIPTION: End Mill Palbit R3</p>	
<p>Operation 5/6 DESCRIPTION: Filete 1 STRATEGY: Ramp WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm STOCK TO LEAVE: 0mm MAXIMUM STEPDOWN: 3mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 29mm MINIMUM Z: 21mm MAXIMUM SPINDLE SPEED: 8000rpm MAXIMUM FEEDRATE: 1600mm/min CUTTING DISTANCE: 307.22mm RAPID DISTANCE: 269.29mm ESTIMATED CYCLE TIME: 15s (0.8%) COOLANT: Flood</p>	<p>T3 D3 L3 TYPE: ball end mill DIAMETER: 6mm CORNER RADIUS: 3mm LENGTH: 30mm FLUTES: 2 DESCRIPTION: Sandvik Ball mill R3</p>	
<p>Operation 6/6 DESCRIPTION: Acabamento das Pernas STRATEGY: Facing WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm MAXIMUM STEPDOWN: 1.68mm MAXIMUM STEPOVER: 15mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 33mm MINIMUM Z: 27mm MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5968rpm MAXIMUM FEEDRATE: 1500mm/min CUTTING DISTANCE: 613.92mm RAPID DISTANCE: 133.34mm ESTIMATED CYCLE TIME: 28s (1.5%) COOLANT: Flood</p>	<p>T1 D1 L1 TYPE: face mill DIAMETER: 16mm CORNER RADIUS: 0.8mm LENGTH: 50mm FLUTES: 2 DESCRIPTION: Face Mill Sandvik D16</p>	
Operations			
<p>Operation 1/6 DESCRIPTION: Acabamento Superior STRATEGY: Facing WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm MAXIMUM STEPDOWN: 1.68mm MAXIMUM STEPOVER: 16mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 62mm MINIMUM Z: -43.7mm MAXIMUM SPINDLE SPEED: 5968rpm MAXIMUM FEEDRATE: 1500mm/min CUTTING DISTANCE: 28446.2mm RAPID DISTANCE: 3437.45mm ESTIMATED CYCLE TIME: 23m:59s (77%) COOLANT: Flood</p>	<p>T1 D1 L1 TYPE: face mill DIAMETER: 16mm CORNER RADIUS: 0.8mm LENGTH: 50mm FLUTES: 2 DESCRIPTION: Face Mill Sandvik D16</p>	
<p>Operation 2/6 DESCRIPTION: Contorno Superior STRATEGY: Contour WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm STOCK TO LEAVE: 0mm MAXIMUM STEPDOWN: 7.78mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 62mm MINIMUM Z: -53.7mm MAXIMUM SPINDLE SPEED: 8000rpm MAXIMUM FEEDRATE: 384mm/min CUTTING DISTANCE: 172.81mm RAPID DISTANCE: 748.49mm ESTIMATED CYCLE TIME: 36s (1.9%) COOLANT: Flood</p>	<p>T2 D2 L2 TYPE: flat end mill DIAMETER: 8mm LENGTH: 50mm FLUTES: 1 DESCRIPTION: End Mill Palbit R3</p>	
<p>Operation 3/6 DESCRIPTION: Desbaste STRATEGY: Adaptive 2D WCS: #0 TOLERANCE: 0.1mm STOCK TO LEAVE: 0mm OPTIMAL LOAD: 5.8mm LOAD DEVIATION: 0.58mm</p>	<p>MAXIMUM Z: 44mm MINIMUM Z: 21mm MAXIMUM SPINDLE SPEED: 8000rpm MAXIMUM FEEDRATE: 800mm/min CUTTING DISTANCE: 2476.03mm RAPID DISTANCE: 529mm ESTIMATED CYCLE TIME: 3m:12s (10.3%) COOLANT: Flood</p>	<p>T2 D2 L2 TYPE: flat end mill DIAMETER: 8mm LENGTH: 50mm FLUTES: 1 DESCRIPTION: End Mill Palbit R3</p>	

ANEXO C - FICHA DE FABRICO PARA A OPERAÇÃO A CINCO EIXOS


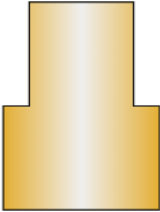
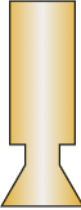
Setup Sheet for Program 1001

JOB DESCRIPTION: Setup1

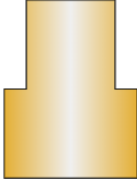
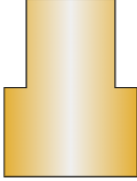
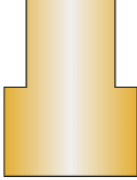

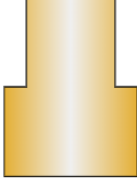
DOCUMENT PATH: Peça_Tese_Benjamin v1

Setup	
<p>WCS: #0</p> <p>STOCK: DX: 104mm DY: 80mm DZ: 50mm</p> <p>PART: DX: 102mm DY: 76mm DZ: 42mm</p> <p>STOCK LOWER IN WCS #0: X: 0mm Y: -80mm Z: -50mm</p> <p>STOCK UPPER IN WCS #0: X: 104mm Y: 0mm Z: 0mm</p>	

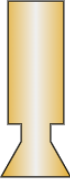


Total
<p>NUMBER OF OPERATIONS: 17</p> <p>NUMBER OF TOOLS: 6</p> <p>TOOLS: T2 T4 T5 T7 T12 T14</p> <p>MAXIMUM FEEDRATE: 3200mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7500rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 7017.57mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 3245.52mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 15m:20s</p>

Tools		
<p>T2 D2 L2</p> <p>TYPE: drill</p> <p>DIAMETER: 13mm</p> <p>TIP ANGLE: 140°</p> <p>LENGTH: 62.72mm</p> <p>FLUTES: 2</p> <p>DESCRIPTION: Coromant Delta brazed carbide tipped drill</p> <p>VENDOR: Sandvik Coromant</p> <p>PRODUCT: RA411.5-3234D0.5000 P20</p>	<p>MAXIMUM FEED: 82mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 1000rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 119.4mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 1107.64mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 1m:41s (10.9%)</p>	
<p>T4 D4 L4</p> <p>TYPE: face mill</p> <p>DIAMETER: 76.2mm</p> <p>LENGTH: 101.6mm</p> <p>FLUTES: 5</p> <p>DESCRIPTION: Tpg322</p> <p>VENDOR: OSCARBIDE</p> <p>PRODUCT: click to visit</p>	<p>MAXIMUM FEED: 3175mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 2000rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 1691.84mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 227.76mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 1m:40s (10.9%)</p>	
<p>T5 D5 L5</p> <p>TYPE: dovetail mill</p> <p>DIAMETER: 20mm</p> <p>TAPER ANGLE: 30°</p> <p>LENGTH: 50mm</p> <p>FLUTES: 10</p> <p>DESCRIPTION: Drillpro 60 Degree 8-35mm Dovetail Groove</p> <p>VENDOR: Banggood</p>	<p>MAXIMUM FEED: 500mm/min</p> <p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 4000rpm</p> <p>CUTTING DISTANCE: 174.22mm</p> <p>RAPID DISTANCE: 37mm</p> <p>ESTIMATED CYCLE TIME: 21s (2.3%)</p>	

<p>T7 D7 L7 TYPE: flat end mill DIAMETER: 12.7mm LENGTH: 34.29mm FLUTES: 3 DESCRIPTION: HP EM 4 FLUTE 1/4" DIAMETER LONG VENDOR: Haas Automation PRODUCT: 03-0056</p>	<p>MAXIMUM FEED: 1500mm/min MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7500rpm CUTTING DISTANCE: 1602.24mm RAPID DISTANCE: 418.92mm ESTIMATED CYCLE TIME: 2m:32s (16.5%)</p>	
<p>T12 D12 L12 TYPE: flat end mill DIAMETER: 25.4mm LENGTH: 66.04mm FLUTES: 3 DESCRIPTION: ALUM-MILL 1" END MILL 3 FLUTE VENDOR: Haas Automation PRODUCT: 03-0089</p>	<p>MAXIMUM FEED: 508mm/min MAXIMUM SPINDLE SPEED: 3800rpm CUTTING DISTANCE: 3096.61mm RAPID DISTANCE: 1426.21mm ESTIMATED CYCLE TIME: 6m:29s (42.3%)</p>	
<p>T14 D14 L14 TYPE: ball end mill DIAMETER: 12mm CORNER RADIUS: 6mm LENGTH: 91.3mm FLUTES: 2 DESCRIPTION: CoroMill® Plura solid carbide ball nose end mill for Profiling VENDOR: Sandvik Coromant PRODUCT: RA216.42-3230-AL12G 1620</p>	<p>MAXIMUM FEED: 3200mm/min MAXIMUM SPINDLE SPEED: 6200rpm CUTTING DISTANCE: 333.26mm RAPID DISTANCE: 28mm ESTIMATED CYCLE TIME: 7s (0.7%)</p>	

Operations			
<p>Operation 1/17 DESCRIPTION: 2D Contour2 (3) STRATEGY: Contour 2D WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm STOCK TO LEAVE: 0mm MAXIMUM STEPOVER: 72.39mm</p>	<p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 2000rpm MAXIMUM FEEDRATE: 1000mm/min CUTTING DISTANCE: 203mm RAPID DISTANCE: 37mm ESTIMATED CYCLE TIME: 13s (1.5%) COOLANT: Flood</p>	<p>T4 D4 L4 TYPE: face mill DIAMETER: 76.2mm LENGTH: 101.6mm FLUTES: 5 DESCRIPTION: Tpg322 VENDOR: OSCARBIDE PRODUCT: click to visit</p>	
<p>Operation 2/17 DESCRIPTION: 2D Contour2 (5) STRATEGY: Contour 2D WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm STOCK TO LEAVE: 0mm MAXIMUM STEPOVER: 72.39mm</p>	<p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 2000rpm MAXIMUM FEEDRATE: 1000mm/min CUTTING DISTANCE: 203mm RAPID DISTANCE: 37mm ESTIMATED CYCLE TIME: 13s (1.5%) COOLANT: Flood</p>	<p>T4 D4 L4 TYPE: face mill DIAMETER: 76.2mm LENGTH: 101.6mm FLUTES: 5 DESCRIPTION: Tpg322 VENDOR: OSCARBIDE PRODUCT: click to visit</p>	
<p>Operation 3/17 DESCRIPTION: 2D Contour2 (2) STRATEGY: Contour 2D WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm STOCK TO LEAVE: 0mm MAXIMUM STEPOVER: 72.39mm</p>	<p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 2000rpm MAXIMUM FEEDRATE: 3175mm/min CUTTING DISTANCE: 203mm RAPID DISTANCE: 37mm ESTIMATED CYCLE TIME: 5s (0.6%) COOLANT: Flood</p>	<p>T4 D4 L4 TYPE: face mill DIAMETER: 76.2mm LENGTH: 101.6mm FLUTES: 5 DESCRIPTION: Tpg322 VENDOR: OSCARBIDE PRODUCT: click to visit</p>	
<p>Operation 4/17 DESCRIPTION: 2D Contour5 STRATEGY: Contour 2D WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm STOCK TO LEAVE: 0mm MAXIMUM STEPDOWN: 5mm MAXIMUM STEPOVER: 24.13mm</p>	<p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 3800rpm MAXIMUM FEEDRATE: 508mm/min CUTTING DISTANCE: 1363.24mm RAPID DISTANCE: 1158.24mm ESTIMATED CYCLE TIME: 2m:55s (19%) COOLANT: Flood</p>	<p>T12 D12 L12 TYPE: flat end mill DIAMETER: 25.4mm LENGTH: 66.04mm FLUTES: 3 DESCRIPTION: ALUM-MILL 1" END MILL 3 FLUTE VENDOR: Haas Automation PRODUCT: 03-0089</p>	
<p>Operation 5/17 DESCRIPTION: Face5 STRATEGY: Facing WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm MAXIMUM STEPOVER: 72.39mm</p>	<p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 2000rpm MAXIMUM FEEDRATE: 1000mm/min CUTTING DISTANCE: 338.42mm RAPID DISTANCE: 21.38mm ESTIMATED CYCLE TIME: 21s (2.2%) COOLANT: Flood</p>	<p>T4 D4 L4 TYPE: face mill DIAMETER: 76.2mm LENGTH: 101.6mm FLUTES: 5 DESCRIPTION: Tpg322 VENDOR: OSCARBIDE PRODUCT: click to visit</p>	

<p>Operation 6/17 DESCRIPTION: Drill2 STRATEGY: Drilling WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm</p>	<p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 1000rpm MAXIMUM FEEDRATE: 82mm/min CUTTING DISTANCE: 119.4mm RAPID DISTANCE: 1107.64mm ESTIMATED CYCLE TIME: 1m:41s (10.9%) COOLANT: Flood</p>	<p>T2 D2 L2 Type: drill DIAMETER: 13mm TIP ANGLE: 140° LENGTH: 62.72mm FLUTES: 2 DESCRIPTION: Coromant Delta brazed carbide tipped drill VENDOR: Sandvik Coromant PRODUCT: RA411 5-3234D0.5000 P20</p>	
<p>Operation 7/17 DESCRIPTION: 2D Adaptive13 STRATEGY: Adaptive 2D WCS: #0 TOLERANCE: 0.1mm STOCK TO LEAVE: 0mm MAXIMUM STEPDOWN: 6mm OPTIMAL LOAD: 12.7mm LOAD DEVIATION: 1.27mm</p>	<p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 3800rpm MAXIMUM FEEDRATE: 508mm/min CUTTING DISTANCE: 762.6mm RAPID DISTANCE: 134.16mm ESTIMATED CYCLE TIME: 1m:34s (10.3%) COOLANT: Flood</p>	<p>T12 D12 L12 Type: flat end mill DIAMETER: 25.4mm LENGTH: 66.04mm FLUTES: 3 DESCRIPTION: ALUM-MILL 1" END MILL 3 FLUTE VENDOR: Haas Automation PRODUCT: 03-0089</p>	
<p>Operation 8/17 DESCRIPTION: 2D Adaptive2 STRATEGY: Adaptive 2D WCS: #0 TOLERANCE: 0.1mm STOCK TO LEAVE: 0mm MAXIMUM STEPDOWN: 6mm OPTIMAL LOAD: 12.7mm LOAD DEVIATION: 1.27mm</p>	<p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 3800rpm MAXIMUM FEEDRATE: 508mm/min CUTTING DISTANCE: 970.77mm RAPID DISTANCE: 133.81mm ESTIMATED CYCLE TIME: 2m:0s (13%) COOLANT: Flood</p>	<p>T12 D12 L12 Type: flat end mill DIAMETER: 25.4mm LENGTH: 66.04mm FLUTES: 3 DESCRIPTION: ALUM-MILL 1" END MILL 3 FLUTE VENDOR: Haas Automation PRODUCT: 03-0089</p>	
<p>Operation 9/17 DESCRIPTION: Trace1 STRATEGY: 3D Path WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm STOCK TO LEAVE: 0mm/0.3mm</p>	<p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 6200rpm MAXIMUM FEEDRATE: 3200mm/min CUTTING DISTANCE: 333.26mm RAPID DISTANCE: 28mm ESTIMATED CYCLE TIME: 7s (0.7%) COOLANT: Flood</p>	<p>T14 D14 L14 Type: ball end mill DIAMETER: 12mm CORNER RADIUS: 6mm LENGTH: 91.3mm FLUTES: 2 DESCRIPTION: CoroMill® Plura solid carbide ball nose end mill for Profiling VENDOR: Sandvik Coromant PRODUCT: RA216.42-3230-AL12G 1620</p>	
<p>Operation 10/17 DESCRIPTION: 2D Contour2 STRATEGY: Contour 2D WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm STOCK TO LEAVE: 0mm MAXIMUM STEPOVER: 72.39mm</p>	<p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 2000rpm MAXIMUM FEEDRATE: 1000mm/min CUTTING DISTANCE: 203mm RAPID DISTANCE: 37mm ESTIMATED CYCLE TIME: 13s (1.5%) COOLANT: Flood</p>	<p>T4 D4 L4 Type: face mill DIAMETER: 76.2mm LENGTH: 101.6mm FLUTES: 5 DESCRIPTION: Tpg322 VENDOR: OSCARBIDE PRODUCT: click to visit</p>	
<p>Operation 11/17 DESCRIPTION: 2D Contour2 (4) STRATEGY: Contour 2D WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm STOCK TO LEAVE: 0mm MAXIMUM STEPOVER: 72.39mm</p>	<p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 2000rpm MAXIMUM FEEDRATE: 1000mm/min CUTTING DISTANCE: 203mm RAPID DISTANCE: 37mm ESTIMATED CYCLE TIME: 13s (1.5%) COOLANT: Flood</p>	<p>T4 D4 L4 Type: face mill DIAMETER: 76.2mm LENGTH: 101.6mm FLUTES: 5 DESCRIPTION: Tpg322 VENDOR: OSCARBIDE PRODUCT: click to visit</p>	
<p>Operation 12/17 DESCRIPTION: Face1 STRATEGY: Facing WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm MAXIMUM STEPOVER: 72.39mm</p>	<p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 2000rpm MAXIMUM FEEDRATE: 1000mm/min CUTTING DISTANCE: 338.42mm RAPID DISTANCE: 21.38mm ESTIMATED CYCLE TIME: 21s (2.2%) COOLANT: Flood</p>	<p>T4 D4 L4 Type: face mill DIAMETER: 76.2mm LENGTH: 101.6mm FLUTES: 5 DESCRIPTION: Tpg322 VENDOR: OSCARBIDE PRODUCT: click to visit</p>	
<p>Operation 13/17 DESCRIPTION: Bore4 STRATEGY: Bore WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm STOCK TO LEAVE: 0mm</p>	<p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7500rpm MAXIMUM FEEDRATE: 1500mm/min CUTTING DISTANCE: 447.67mm RAPID DISTANCE: 169.03mm ESTIMATED CYCLE TIME: 20s (2.2%) COOLANT: Flood</p>	<p>T7 D7 L7 Type: flat end mill DIAMETER: 12.7mm LENGTH: 34.29mm FLUTES: 3 DESCRIPTION: HP EM 4 FLUTE 1/4" DIAMETER LONG VENDOR: Haas Automation PRODUCT: 03-0056</p>	
<p>Operation 14/17 DESCRIPTION: 2D Contour9 STRATEGY: Contour 2D WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm STOCK TO LEAVE: 0mm MAXIMUM STEPDOWN: 5mm MAXIMUM STEPOVER: 12.06mm</p>	<p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7500rpm MAXIMUM FEEDRATE: 508mm/min CUTTING DISTANCE: 705.71mm RAPID DISTANCE: 43mm ESTIMATED CYCLE TIME: 1m:24s (9.1%) COOLANT: Flood</p>	<p>T7 D7 L7 Type: flat end mill DIAMETER: 12.7mm LENGTH: 34.29mm FLUTES: 3 DESCRIPTION: HP EM 4 FLUTE 1/4" DIAMETER LONG VENDOR: Haas Automation PRODUCT: 03-0056</p>	

<p>Operation 15/17 DESCRIPTION: 2D Contour3 STRATEGY: Contour 2D WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm STOCK TO LEAVE: 0mm MAXIMUM STEPOVER: 19mm</p>	<p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 4000rpm MAXIMUM FEEDRATE: 500mm/min CUTTING DISTANCE: 174.22mm RAPID DISTANCE: 37mm ESTIMATED CYCLE TIME: 21s (2.3%) COOLANT: Flood</p>	<p>T5 D5 L5 Type: dovetail mill DIAMETER: 20mm TAPER ANGLE: 30° LENGTH: 50mm FLUTES: 10 DESCRIPTION: Drillpro 60 Degree 8-35mm Dovetail Groove VENDOR: Banggood</p>	
<p>Operation 16/17 DESCRIPTION: 2D Contour13 STRATEGY: Contour 2D WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm STOCK TO LEAVE: 0.2mm/0mm MAXIMUM STEPDOWN: 5mm MAXIMUM STEPOVER: 12.06mm</p>	<p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7500rpm MAXIMUM FEEDRATE: 508mm/min CUTTING DISTANCE: 318.96mm RAPID DISTANCE: 105.58mm ESTIMATED CYCLE TIME: 39s (4.2%) COOLANT: Flood</p>	<p>T7 D7 L7 Type: flat end mill DIAMETER: 12.7mm LENGTH: 34.29mm FLUTES: 3 DESCRIPTION: HP EM 4 FLUTE 1/4" DIAMETER LONG VENDOR: Haas Automation PRODUCT: 03-0056</p>	
<p>Operation 17/17 DESCRIPTION: 2D Contour13 (2) STRATEGY: Contour 2D WCS: #0 TOLERANCE: 0.01mm STOCK TO LEAVE: 0mm MAXIMUM STEPOVER: 12.06mm</p>	<p>MAXIMUM SPINDLE SPEED: 7500rpm MAXIMUM FEEDRATE: 1000mm/min CUTTING DISTANCE: 129.9mm RAPID DISTANCE: 101.31mm ESTIMATED CYCLE TIME: 9s (1%) COOLANT: Flood</p>	<p>T7 D7 L7 Type: flat end mill DIAMETER: 12.7mm LENGTH: 34.29mm FLUTES: 3 DESCRIPTION: HP EM 4 FLUTE 1/4" DIAMETER LONG VENDOR: Haas Automation PRODUCT: 03-0056</p>	

ANEXO D – ESPECIFICAÇÕES DA CNC VF-1

TRAVELS	S.A.E	METRIC
X Axis	20.0 in	508 mm
Y Axis	16.0 in	406 mm
Z Axis	20.0 in	508 mm
Spindle Nose to Table (~ max)	24.0 in	610 mm
Spindle Nose to Table (~ min)	4.0 in	102 mm

SPINDLE	S.A.E	METRIC
Max Rating	30.0 hp	22.4 kW
Max Speed	8100 rpm	8100 rpm
Max Torque	90.0 ft-lbf @ 2000 rpm	122.0 Nm @ 2000 rpm
Max Torque w/opt Gearbox	250 ft-lbf @ 450 rpm	339 Nm @ 450 rpm
Drive System	Inline Direct-Drive	Inline Direct-Drive
Taper	CT40 BT40 HSK-A63	CT40 BT40 HSK-A63
Bearing Lubrication	Air / Oil Injection	Air / Oil Injection
Cooling	Liquid Cooled	Liquid Cooled

TABLE	S.A.E	METRIC
Length	26.0 in	660 mm
Width	14.0 in	356 mm
T-Slot Width	0.626 in to 0.630 in	15.90 mm to 16.00 mm
T-Slot Center Distance	4.92 in	125 mm
Number of Std T-Slots	3	3
Max Weight on Table (evenly distributed)	3000 lb	1361 kg

FEEDRATES	S.A.E	METRIC
Max Cutting	650 ipm	16.5 m/min
Rapids on X	1000 ipm	25.4 m/min
Rapids on Y	1000 ipm	25.4 m/min
Rapids on Z	1000 ipm	25.4 m/min

AXIS MOTORS	S.A.E	METRIC
Max Thrust X	2550 lbf	11343 N
Max Thrust Y	2550 lbf	11343 N
Max Thrust Z	4200 lbf	18683 N

TOOL CHANGER	S.A.E	METRIC
Type	Carousel	Carousel
Capacity	20	20
Max Tool Diameter (full)	3.5 in	89 mm
Max Tool Weight	12 lb	5.4 kg
Tool-to-Tool (avg)	4.2 s	4.2 s
Chip-to-Chip (avg)	4.5 s	4.5 s

GENERAL	S.A.E	METRIC
Coolant Capacity	55 gal	208 L

AIR REQUIREMENTS	S.A.E	METRIC
Air Required	4 scfm @ 100 psi	113 L/min @ 6.9 bar
Inline Air Hose	3/8 in	3/8 in
Coupler (Air)	3/8 in	3/8 in
Air Pressure Min	80 psi	5.5 bar

DIMENSIONS - SHIPPING	S.A.E	METRIC
Domestic Pallet	101 in x 99 in x 101 in	257 cm x 251 cm x 257 cm
Export Pallet	98 in x 92 in x 100 in	249 cm x 232 cm x 254 cm
Weight	7800 lb	3539.0 kg

ELECTRICAL SPECIFICATION	S.A.E	METRIC
Spindle Speed	8100 rpm	8100 rpm
Drive System	Inline Direct-Drive	Inline Direct-Drive
Spindle Power	30.0 hp	22.4 kW
Input AC Voltage (3 Phase) - Low	220 VAC	220 VAC
Full Load Amps (3 Phase) - Low	70 A	70 A
Input AC Voltage (3 Phase) - High*	440 VAC	440 VAC
Full Load Amps (3 Phase) - High*	35 A	35 A

ANEXO E - ESPECIFICAÇÕES DA CNC UMC-750

TRAVELS	S.A.E	METRIC
X Axis	30.0 in	762 mm
Y Axis	20.0 in	508 mm
Z Axis	20.0 in	508 mm
Spindle Nose to Platter (~ max)	24.0 in	610 mm
Spindle Nose to Platter (~ min)	4.0 in	102 mm

SPINDLE	S.A.E	METRIC
Max Rating	30.0 hp	22.4 kW
Max Speed	8100 rpm	8100 rpm
Max Torque	90.0 ft-lbf @ 2000 rpm	122.0 Nm @ 2000 rpm
Drive System	Inline Direct-Drive	Inline Direct-Drive
Taper	CT40 BT40 HSK-A63	CT40 BT40 HSK-A63
Bearing Lubrication	Air / Oil Injection	Air / Oil Injection
Cooling	Liquid Cooled	Liquid Cooled

B AXIS - TILT	S.A.E	METRIC
Travel	120 ° to 35- °	120 ° to 35- °
Max Speed	50 °/sec	50 °/sec
Max Torque	2240 ft-lbf	3037 Nm
Brake Torque	2000 ft-lbf	2712 Nm

C AXIS - ROTATION	S.A.E	METRIC
Travel	360 °	360 °
Max Speed	50 °/sec	50 °/sec
Max Torque	1854 ft-lbf	2514 Nm
Max Part Swing	27.0 in	686 mm
Brake Torque	900 ft-lbf	1220 Nm

PLATTER	S.A.E	METRIC
Platter Diameter	19.70 in	500 mm
Max Weight on Platter	660 lb	300.0 kg
T-Slot Width	0.626 in to 0.630 in	15.90 mm to 16.00 mm
T-Slot Center Distance	2.48 in	63 mm
Number of Std T-Slots	7	7

FEEDRATES	S.A.E	METRIC
Max Cutting	650 ipm	16.5 m/min
Rapids on X	900 ipm	22.9 m/min
Rapids on Y	900 ipm	22.9 m/min
Rapids on Z	900 ipm	22.9 m/min

AXIS MOTORS	S.A.E	METRIC
Max Thrust X	2750 lbf	12233 N
Max Thrust Y	2750 lbf	12233 N
Max Thrust Z	3400 lbf	15124 N

TOOL CHANGER	S.A.E	METRIC
Type	SMTC	SMTC
Capacity	30+1	30+1
Max Tool Diameter (full)	2.5 in	64 mm
Max Tool Diameter (adjacent empty)	5.0 in	127 mm
Max Tool Length (from gage line)	12 in	305 mm
Max Tool Weight	12 lb	5.4 kg
Tool-to-Tool (avg)	2.8 s	2.8 s
Chip-to-Chip (avg)	3.6 s	3.6 s

GENERAL	S.A.E	METRIC
Coolant Capacity	55 gal	208 L

AIR REQUIREMENTS	S.A.E	METRIC
Air Required	4 scfm @ 100 psi	113 L/min @ 6.9 bar
Inline Air Hose	3/8 in	3/8 in
Coupler (Air)	3/8 in	3/8 in
Air Pressure Min	80 psi	5.5 bar

DIMENSIONS - SHIPPING	S.A.E	METRIC
Domestic Pallet	168 in x 93 in x 110 in	427 cm x 235 cm x 280 cm
Export Pallet	174 in x 92 in x 100 in	442 cm x 234 cm x 254 cm
Weight	14250 lb	6463.8 kg

ELECTRICAL SPECIFICATION	S.A.E	METRIC
Spindle Speed	8100 rpm	8100 rpm
Drive System	Inline Direct-Drive	Inline Direct-Drive
Spindle Power	30.0 hp	22.4 kW
Input AC Voltage (3 Phase) - Low	220 VAC	220 VAC
Full Load Amps (3 Phase) - Low	70 A	70 A
Input AC Voltage (3 Phase) - High*	440 VAC	440 VAC
Full Load Amps (3 Phase) - High*	35 A	35 A

ANEXO F – LINK DE ACESSO AOS FLUXOGRAMAS

[https://miro.com/app/board/uXjVP5gYciw=?moveToWidget=3458764541231796920
&cot=14](https://miro.com/app/board/uXjVP5gYciw=?moveToWidget=3458764541231796920&cot=14)

Ao seguir o link, terá que criar conta e mandar pedido de permissão que será rapidamente aceite e aí será possível encontrar e até editar os fluxogramas na sua totalidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Puga, Hélder. *Maquinagem Aplicada*. 1ª Edição ed., Hélder Puga, 2020, elearning.uminho.pt/bbcswebdav/pid-1100249-dt-content-rid-4715386_1/courses/2021.8808R4_2/Livro%20Maquinagem%20Aplicada.pdf. Accessed Jan. 2023.
- [2] Technology, Laszeray. *The History of CNC Machinery | Laszeray Technology, LLC*. 28 Sept. 2019, laszeray.com/blog/the-history-of-cnc-machinery/#:~:text=A%20modern%20mainstay%20of%20manufacturing. Accessed Jan 2023
- [3] “The IBM 602.” *Www.columbia.edu*, www.columbia.edu/cu/computinghistory/602.html. Accessed Jan 2023.
- [4] “SIP Jig Borers.” *Www.lathes.co.uk*, www.lathes.co.uk/sip/. Accessed Jan. 2023.
- [5] “Cincinnati Hydrotel Milling Machine--6 Spindle--Machines Steam Turbine Buckets in Bldg. #285.” *Cdm16694.Contentdm.oclc.org*, cdm16694.contentdm.oclc.org/digital/collection/p16694coll20/id/820/. Accessed Jan. 2023.
- [6] Automations Inc, Haas. “History.” *Www.haascnc.com*, www.haascnc.com/about/history.html#:~:text=Gene%20Haas%20founded%20Haas%20Automation. Accessed Jan. 2023.
- [7] “Close Tolerance Machining.” *JW Machine*, 24 May 2018, jwmachinecorp.com/close-tolerance-machining/#:~:text=Close%20tolerance%20machining%20is%20a. Accessed Jan. 2023.

- [8] Automations Inc, Haas. "VF1." *Www.haascnc.com*, www.haascnc.com/about/very_first/VF.html. Accessed Jan. 2023.
- [9] SPW. *CNC LATHE OPERATIONS | Winn Machine*. 16 Mar. 2021, winncnc.com/2021/03/16/cnc-lathe-operations/. Accessed Jan. 2023.
- [10] *Quelch Engineering | CNC Machining Specialists*. 15 Apr. 2021, www.quelcheng.co.uk/capabilities/cnc-milling/. Accessed Jan. 2023.
- [11] Automations Inc, Haas. "VF-2SS." *Www.haascnc.com*, www.haascnc.com/pt/machines/vertical-mills/vf-series/models/small/vf-2ss.html. Accessed Jan. 2023.
- [12] Breaz, Radu. "Fig. 1. (A) 3-Axes CNC Milling Machine; (B) 5-Axes CNC Milling Machine." *ResearchGate*, www.researchgate.net/figure/a-3-axes-CNC-milling-machine-b-5-axes-CNC-milling-machine_fig4_305954209. Accessed Jan. 2023.
- [13] "What Is a CNC Spindle - CNC Machine Tool Spindle Definition, Types and Uses | CNCLATHING." *Www.cnclathing.com*, www.cnclathing.com/guide/what-is-a-cnc-spindle-cnc-machine-tool-spindle-definition-types-and-uses-cnclathing. Accessed Jan. 2023.
- [14] "CNC Spindle: What Is a CNC Spindle and How Does It Function?" *Superior Spindle Service*, 4 Mar. 2019, www.superiorspindle.com/2019/03/04/what-is-a-cnc-spindle-and-how-does-it-function/. Accessed Jan. 2023.
- [15] Algomtl. "KE600A Series Closed Loop Vector Control VFD Import Export." *Algomtl*, www.algomtl.com/ke600a-series-closed-loop-vector-1086105.html. Accessed Jan. 2023.
- [16] Automations Inc, Haas. "20-Pocket Carousel Tool Changer." *Www.haascnc.com*, www.haascnc.com/productivity/tool-changer/tc-20.html. Accessed Jan. 2023.

- [17] “Brushless DC Motor vs. AC Motor vs. Brushed Motor.” *Oriental Motor U.S.A. Corp.*, www.orientalmotor.com/brushless-dc-motors-gear-motors/technology/AC-brushless-brushed-motors.html#:~:text=Brushed%20DC%20motors%20depend%20on. Accessed Jan. 2023.
- [18] “Difference between CRT and LCD.” *Www.tutorialspoint.com*, www.tutorialspoint.com/difference-between-crt-and-lcd#:~:text=CRT%20and%20LCD%20are%20both. Accessed Jan. 2023.
- [19] “3-Axis vs. 5-Axis CNC Machining: What You Need to Know.” *Fast Radius*, www.fastradius.com/resources/3-axis-vs-5-axis-cnc-machining/#:~:text=The%20main%20difference%20between%203. Accessed Jan. 2023.
- [20] Warfield, Bob. “Beginner’s Guide to CNC Machine Setup [2019...” *CNCCookbook: Be a Better CNC’er*, CNCCookbook: Be A Better CNC’er, 12 May 2019, www.cnccookbook.com/cnc-machine-setup-setting-procedure-lathe-milling/. Accessed Jan. 2023.
- [21] Automations Inc, Haas. “Probing.” *Www.haascnc.com*, www.haascnc.com/productivity/probe-system.html. Accessed Jan. 2023.
- [22] MSCDirect. *RAPTOR WORKHOLDING Self-Centering Vise: 4” Jaw Width*. www.mscdirect.com/product/details/30859995. Accessed Jan. 2023.
- [23] “What Are Jigs and Fixtures.” *Www.reidsupply.com*, www.reidsupply.com/en-us/industry-news/what-are-jigs-and-fixtures. Accessed Jan. 2023.

- [24] B.V, DamenCNC. "Single ER 11 Collet 6.00mm Swiss Quality." *Www.damencnc.com*, www.damencnc.com/en/single-er-11-collet-6-00mm-swiss-quality/a2705. Accessed Jan. 2023.
- [25] MSCDirect. *ATLAS WORKHOLDING 3 Jaw 8" Diam A2-6 Hydraulic Lathe Chuck*. www.mscdirect.com/product/details/04428801. Accessed Jan. 2023.
- [26] "STARRETT Edge Finder: 1 Pieces, Single End, Cylindrical, 0.2 in Tip Dia, 3/8 in Shank Dia." *Grainger*, 2023, www.grainger.com/product/STARRETT-Edge-Finder-1-Pieces-2ZVK7. Accessed Jan. 2023.
- [27] *INTRODUÇÃO À FRESAGEM – Moldes*. formacao.training.pt/?page_id=2747. Accessed Jan. 2023.
- [28] "EngArc - L - Peripheral Milling." *Www.engineeringarchives.com*, www.engineeringarchives.com/les_manuf_peripheral milling.html. Accessed 16 Jan. 2023.
- [29] *INTRODUÇÃO AO TORNEAMENTO – Moldes*. formacao.training.pt/?page_id=2654. Accessed Jan. 2023.
- [30] Automations Inc, Haas. "5 - Mill - Control Display." *Www.haascnc.com*, www.haascnc.com/service/online-operator-s-manuals/mill-operator-s-manual/mill---control-display.html. Accessed Jan. 2023.
- [31] Toolingu. "Manual Mill Operation 251." *Learn.toolingu.com*, learn.toolingu.com/classes/manual-mill-operation-251/. Accessed Jan. 2023.
- [32] "Haas Automation Inc. - CNC Machine Tools." *Haascnc.com*, 2016, www.haascnc.com/index.html. Accessed Jan. 2023.

- [33] Dejan. “G-Code Explained | List of Most Important G-Code Commands.” *HowToMechatronics*, 6 May 2020, howtomechatronics.com/tutorials/g-code-explained-list-of-most-important-g-code-commands/. Accessed Jan. 2023.
- [34] “Lista de Comandos CNC.” *Lista de Comandos CNC - Tecmecanico*, tecmecanico.blogspot.com/2011/09/lista-de-comandos-cnc.html. Accessed Jan. 2023.
- [35] Automations Inc, Haas. “VF-1 | vf Series Small | 40-Taper Mill | Vertical Mills – Haas CNC Machines.” *Www.haascnc.com*, www.haascnc.com/machines/vertical-mills/vf-series/models/small/vf-1.html. Accessed Jan. 2023.
- [36] Automations Inc, Haas. “UMC-750 | 5-Axis Mill | 40-Taper | Vertical Mills – Haas CNC Machines.” *Www.haascnc.com*, www.haascnc.com/machines/vertical-mills/universal-machine/models/umc-750.html?gclid=Cj0KCQiAtvSdBhD0ARIsAPf8oNkSW3utpuNOgtQbwBUcef-g1juS3bRdlkZOkYni1fPdQlpx5x_HaXAaAhXYEALw_wcB. Accessed Jan. 2023.
- [37] Songmene, V., et al. *Global Machinability of Al-Mg-Si Extrusions*. *Www.intechopen.com*, IntechOpen, 5 Dec. 2012, www.intechopen.com/chapters/41281. Accessed Jan. 2023.
- [38] “Metric 6060 Aluminum Flat Bar.” *Metric Metal*, www.metricmetal.com/product/aluminum/flat-bar/aluminum-flat-bar-rectangular-bar-6060/. Accessed Jan. 2023.
- [39] “Kurt MaxLock™ 5-Axis Vise - PF440.” *Kurt Workholding*, www.kurtworkholding.com/product/kurt-pf440-maxlock-5-axis-vise/. Accessed Jan. 2023.

- [40] Automations Inc, Haas. *Mill Operator's Manual - next Generation Control*. Oxnard, CA, U.S.A, Haas Automation Inc., Dec. 2021,
www.haascnc.com/content/dam/haascnc/en/service/manual/operator/english---mill-ngc---operator's-manual---2021.pdf. Accessed Jan. 2023.