

Carlos Alberto do
Rosário Fortes

**Metodologias para a Redução
do Tempo de Fabrico de
Componentes por Fresagem Multi-
-Eixo**

Dissertação de Mestrado em Engenharia de
Produção

Fevereiro de 2012

A vida é algo de belo, que comparo a um grande livro.

Compete-nos a nós escrevê-lo da melhor forma, dando ênfase a todos os capítulos vividos. Capítulos compostos por páginas que retratam pessoas que fazem parte da nossa vida ou que passaram por ela deixando alegrias ou tristezas.

Apesar de sermos autores e podermos escrever os nossos capítulos, não somos capazes de evitar que o destino escreva algumas páginas deixando-nos sem meios para evitar dissabores. Mas grande parte deste livro pode ser escrito por nós, quando escolhemos as pessoas que queremos que façam parte das nossas páginas ou capítulos, bem como todos os desafios e ambições na vida pessoal ou profissional. Quero agradecer a todos aqueles que fazem parte do meu livro da vida e que me deram sempre força para atingir objectivos e ultrapassar obstáculos ao longo deste percurso.

Agradecimentos

Esta tese é mais um capítulo que estou a fechar e quero agradecer a um conjunto de pessoas que me apoiaram e com as quais foi mais fácil consolidar esta fase da minha vida.

Quero agradecer ao Professor Orientador Doutor José Filipe Castanheira Pereira Antunes Simões pelo apoio e perseverança prestado, igualmente ao Prof. Doutor Fernando Manuel Martins Cruz e ao Eng.º Nuno Resende, e a toda a sua equipa da empresa MPSA, pelo apoio prestado e pelo tema de dissertação.

Quero agradecer à Escola Superior de Tecnologia de Setúbal, do Instituto Politécnico de Setúbal, pela disponibilidade dos equipamentos e consumíveis. Um especial agradecimento ao Professor Doutor João Francisco dos Santos Fernandes pelo apoio prestado.

Não podia deixar de agradecer à minha família, inclusive à Patrícia pela paciência e dedicação. Ao meu monitor Tiago Raposo pelo apoio no laboratório de Tecnologias Avançadas de Produção.

Por último, mas não menos importante, quero agradecer a uma pessoa que foi essencial para a minha evolução pessoal e profissional, o mentor desta etapa da minha vida, o Professor e amigo Eduardo Matos da Rocha.

Resumo

Na indústria atual, ainda é grande a percentagem de empresas metalomecânicas que recorre a multi-apertos no fabrico de peças de grande complexidade geométrica. Embora grande parte destas empresas já possua máquinas CNC (Controlo Numérico Computadorizado) com 4 eixos, ainda são poucas as que realmente exploram as potencialidades que estas máquinas podem oferecer, recorrendo somente aos 3,5 eixos (eixo rotativo indexado em torno do eixo X ou do eixo Y) no fabrico de peças. Embora não esteja disponível bibliograficamente, o contacto com várias empresas permitiu-nos concluir que a elevada taxa de utilização dos 3,5 eixos, na maior parte das vezes, é devida à falta de um pós-processador que estabeleça a comunicação entre o CAM (Maquinação Assistida por Computador) e o CNC. A presente dissertação defende o recurso à maquinação multi-eixo (com um 4º eixo), através da alteração de um pós-processador Acramatic e na utilização de técnicas de fixação rápida, e de formas diversificadas dos brutos de maquinação. Com esta inovação, pretende demonstrar-se que é possível viabilizar o uso da maquinação multi-eixo, comparando-a com as atuais máquinas de PR (Prototipagem Rápida). A partir deste conjunto de técnicas, juntamente com a empresa MPSA (Moldes Plásticos SA), foi desenvolvido um estudo com a finalidade de avaliar a redução do número de operações e dos tempos improdutivos, nomeadamente de preparação do equipamento de maquinação.

Palavras-chave: CAD, CAM, CNC, ISO6893, Prototipagem Rápida, STEP-NC (ISO14649)

Abstract

Nowadays in the industry, a large percentage of metalomechanical companies still use multi-setups to manufacture parts with high geometric complexity. Even though most of these companies already have CNC machines with four axis's controllers, there are only a few that really explore the potential that these machines can offer, using only 3 or 3,5 axes (indexed rotary axis) machining strategies. In spite of not being available in the literature, contact with several companies allowed to conclude that the high rate of use of 3,5 axes, in most cases is due to the lack of a post-processor which establishes the communication between the CAM software and the CNC machine. This paper advocates the use of multi-axis machining with a 4° continuous rotation axis, by changing an Acramatic post-processor (based on ISO 6983) and the use of rapid clamping techniques and different rough block forms. The experimental work aims to demonstrate that it is possible to enable the use of such machines to create prototypes in a subtractive form, comparing them with current RP (Rapid Prototyping) machines. From this set of techniques, along with the MPSA (Moldes Plásticos, SA) company a research study was developed in order to analyse the reduction in the number of operations and unproductive time, including preparation of machining equipment.

Key-words: CAD, CAM, CNC, ISO 6893, Rapid Prototyping, STEP-NC

Índice

Agradecimentos	III
Resumo	IV
Abstract	V
Índice	VI
Lista de Figuras	VIII
Lista de Tabelas	X
Lista de Siglas e Acrónimos	XI
Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1. Disposição de capítulos	2
Capítulo 2	4
Revisão Bibliográfica	4
Capítulo 3	17
Linguagem Máquina	17
3.1. Norma DIN66025/ISO6983	17
3.2. Processamento do CAD/CAM para o CNC	21
3.3. Formato STEP	22
3.4. Formato STEP-NC	23
3.5. Limitações do STEP-NC	24
Capítulo 4	25
Trabalho Experimental	25
4.1. Introdução	25
4.2. Primeira Fase – Desenvolvimento do Pós- -processador	26
4.2.1 - <i>Programação CAM</i>	28
4.2.2 - <i>Operações CAM necessárias</i>	28
4.2.3 - <i>Debugger MP/EMP</i>	31
4.2.4 - <i>Pós-Processamento</i>	33
4.2.5 - <i>Output (ficheiro NC) com o Pós-processador MPFAN</i>	34
4.2.6 - <i>Análise de resultados do Pós-processador original</i>	35
4.2.7 - <i>Programa ISO com o Pós-processador alterado</i>	35

4.2.8 -	<i>Análise de resultados do Pós-processador alterado</i>	37
4.2.9 -	<i>Melhorias no processo de Frank Matthew com recurso ao eixo contínuo e ao Pós-processador alterado</i>	38
4.2.10 -	<i>Método segundo Frank Matthew (Rotação Indexada)</i>	38
4.2.11 -	<i>Método Rotação com movimento contínuo</i>	41
4.2.12 -	<i>Análise do estudo</i>	42
4.3.	Segunda Fase – Caso de estudo “Empresa MPSA”	43
4.3.1 -	Modelo de Estudo.....	43
4.3.2 -	Equipamento utilizado	45
4.3.3 -	Metodologia	47
4.3.4 -	Preparação dos brutos de maquinação.....	49
4.3.5 -	Características do material.....	50
4.3.6 -	Ferramentas utilizadas	52
4.3.7 -	Pós-processamento	53
4.3.8 -	Construção do protótipo	54
4.3.9 -	Conclusão do caso de estudo	57
Capítulo 5		58
Análise de resultados		58
5.1. Dificuldades encontradas		58
5.2. Resultados obtidos		60
Capítulo 6		65
Conclusões e trabalhos futuros		65
6.1. Sugestão para trabalhos futuros		66
Referências Bibliográficas		68
Bibliografia		69
Anexo I		A.1.1
Programa MPFAN Original		A.1.1
Anexo II		A.2.1
Alterações Pós-processador		A.2.1
Anexo III		A.3.1
Programa corrigido		A.3.1
Anexo IV		A.4.1
Pós-processador alterado “Acramatic2100_4x”		A.4.1

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Máquina a Vapor de James Watt (extraído de: http://pt.wikipedia.org/wiki/James_Watt)	4
Figura 2.2 - Fita perfurada (extraído de: http://pcworld.uol.com.br)	5
Figura 2.3 – Esquema de representação de uma CMH (1) e uma CMV (2)	7
Figura 2.4 – a) HMC -Horizontal Machine Center (extraído de: http://www.jyoti.co.in)	8
Figura 2.5 – a) VMC –Vertical Machine Center (extraído de: http://www.jyoti.co.in)	8
Figura 2.6 - Máquina 5 eixos (extraído de: http://www.jyoti.co.in)	9
Figura 2.7 - Máquina Multi-processo CTX beta 1250 TC (extraído de http://br.dmg.com)	10
Figura 2.8 - Evolução Tecnológica do CNC (extraído de: www.cenfim.pt).....	11
Figura 2.9 - Método de fixação utilizado por Matthew C. Frank (extraído de: <i>Jornal of Manufacturing Systems</i> Vol. 23 Nº3).....	11
Figura 2.10 - Sequência de maquinação de Frank Mattew(extraído de: KAMRANI e NASR, 2006).....	13
Figura 2.11 – Sistemas de aperto para brutos de maquinação.....	14
Figura 2.12 - Tipos de Buchas	15
Figura 3.1 - Exemplo de coordenadas Absolutas e Incrementais	18
Figura 3.2 - Actual forma de comunicação de dados	21
Figura 3.3 - Relação actual do formato STEP com o CAD/CAM.....	22
Figura 3.4 - Comparação entre a situação actual e o STEP-NC.....	23
Figura 3.5 - Vantagem do formato STEP	24
Figura 4.1 - Modelo 3D	27
Figura 4.2 - Dimensões geométricas da peça (mm)	27
Figura 4.3 - Esquema de Operações	29
Figura 4.4 - Eixos Cartesianos da CNC	29
Figura 4.5 - Rotações nos eixos.....	30
Figura 4.6 - Plataforma MP/EMP Debugger.....	31
Figura 4.7 - Software MasterCam	32
Figura 4.8 - Pós – Processamento.....	33

Figura 4.9 – Esquema das etapas da maquinação	40
Figura 4.10 – Raio de concordância	40
Figura 4.11 – Ferramenta perpendicular a superfície	41
Figura 4.12 - Fresa de ponta esférica e topo raso	41
Figura 4.13 - Maquinação com fresa esférica	42
Figura 4.14 - Maquinação com fresa topo raso.....	42
Figura 4.15 - Modelo de estudo	43
Figura 4.16 – Representação 2D e respectivas dimensões	44
Figura 4.17 - Cincinatti Arrow 750.....	45
Figura 4.18 - 4º eixo rotativo (contínuo)	46
Figura 4.19 - Ponto do eixo rotativo	46
Figura 4.20 - Sequência de trabalho	49
Figura 4.21 - Brutos de maquinação (Poliuretano, Alumínio).....	49
Figura 4.22 - Dimensões do bruto de maquinação e zero peça.....	49
Figura 4.23 - Maquinação da posição 0º.....	55
Figura 4.24 - Maquinação da posição 180º.....	55
Figura 4.25 - Maquinação da posição 90º.....	55
Figura 4.26- Maquinação da posição 270º.....	56
Figura 4.27 - Corte dos topos.....	56
Figura 5.1 - Protótipo final em PU (Poliuretano).....	58
Figura 5.2 - Preparação dos suportes circulares.....	59
Figura 5.3 - Esmagamento do PU (Poliuretano) nos topos do bloco	59
Figura 5.4 - Desalinhamento devido ao esmagamento	60
Figura 5.5 - Gráfico de operações.....	61
Figura 5.6 - Gráfico do tempo de Setup	62
Figura 5.7 - Gráfico do tempo total de maquinação	63
Figura 5.8 - Tempo total para realização da peça.....	64
Figura 6.1 - Bucha concêntrica de grampos pares.....	66

Lista de Tabelas

Tabela 2.1- Sistemas de fixação para 4 ^o eixo	15
Tabela 3.1- Exemplos de Funções Preparatórias (G) (extraído de : www.ctec.se).....	19
Tabela 3.2- Exemplos de Funções Auxiliares (M) (extraído de : www.ctec.se).....	20
Tabela 4.1 - Propriedades do Poliuretano.....	50
Tabela 4.2 - Propriedades do Alumínio.....	51
Tabela 4.3 - Lista de ferramentas utilizadas	52
Tabela 5.1 - Tabela de operações	60
Tabela 5.2 - Quadro de tempos	61

Lista de Siglas e Acrónimos

3D	Três Dimensões
AP	Protocolo de Aplicação
CAD	Desenho Assistido por Computador
CAE	Engenharia Assistida por Computador
CAM	Maquinação Assistida por Computador
CNC	Controlo Numérico Computadorizado
IGES	Initial Graphics Exchange Specification
IPS	Instituto Politécnico de Setúbal
ISO	Organização Internacional de Normalização
LOM	Fabricação de Objectos por Camadas
NC	Controlo Numérico
SLA	Estereolitografia
SLS	Sinterização Seletiva por Laser
SRP	Prototipagem Rápida Subtrativa
STEP	STandard for the Exchange of Product Model Data
STEP-NC	STandard for the Exchange of Product Model Data - Numerical Control

Capítulo 1

Introdução

A concorrência industrial tem vindo ao longo dos anos a tornar os métodos produtivos mais flexíveis através da utilização das novas tecnologias, garantindo deste modo uma posição aceitável num mercado onde a concorrência tenta de várias formas chegar mais longe.

Procura-se aumentar a qualidade e reduzir o prazo de entrega, satisfazendo assim as exigências do cliente.

No sector da metalomecânica, surgiu o CNC (Controlo Numérico Computadorizado) que tem sido o coração desta indústria. Alguns anos depois, apareceram os computadores que vieram reduzir grande parte dos problemas de produção, encurtando o ciclo do produto nas fases de projecto, desenvolvimento e produção.

O aparecimento de softwares específicos para diferentes áreas do projecto, como o CAD (Computer Aided Design) / CAM (Computer Aided Manufacturing), vieram tornar a interpretação da peça mais fácil, associando determinadas funções para cada tipo de superfície a maquinar. Contudo, outros factores como a fixação de blocos, a criação de zeros de referência, as mudanças de ferramentas e outros mais, continuam a afectar grande parte da produção.

Com o evoluir dos tempos surgiram tecnologias mais avançadas, como as máquinas CNC com mais de 3 eixos para lidar com formas mais complexas, contudo ainda com fraca implantação, devido ao alto custo de investimento que tem retraído grande parte das metalomecânicas.

Mediante estas razões, por um lado o tempo despendido na preparação de trabalho nas máquinas de 3 eixos e, por outro, o elevado custo das máquinas multi-eixo (5 eixos), Frank C. Matthew apresenta a ideia de utilização dos centros de maquinação CNC, como alternativa às máquinas PR (Prototipagem Rápida), na criação de

protótipos. É proposto, por este autor um inovador sistema de fixação com recurso a um 4º eixo (eixo “A”, rotação em torno do eixo linear “X”), onde a preparação de trabalho consistem num único aperto e num único ponto de referência, evitando elevados tempos de setup (Petrzelka & Frank, 2010)

Nesta dissertação, pretende demonstrar-se que é possível a criação de protótipos recorrendo a maquinação multi-eixo, competindo com as avançadas máquinas de prototipagem. Embora esta tese já tenha sido anteriormente defendida (Cavaleiro, 2010), utilizando o posicionamento indexado, a novidade deste estudo consiste na maquinação de superfícies convexas e côncavas, em que a ferramenta utilizada encontra-se perpendicular à superfície de trabalho.

Pretende-se, como caso de estudo, e aproveitando o desenvolvimento de um pós-processador, enunciar algumas vantagens da maquinação multi-eixo através da maquinação de um componente fornecido por uma empresa industrial, ligada ao fabrico de moldes e de ferramentas, cunhos e cortantes.

Esta dissertação serve para demonstrar que é possível a sincronização dos 4 eixos (X, Y, Z e A) do Centro de Maquinação Vertical CNC, reduzindo desta forma os tempos não produtivos e os tempos de maquinação. Por conseguinte, neste estudo não serão abordadas questões como, o desgaste das ferramentas ou o estado de superfície dos materiais maquinados.

1.1. Disposição de capítulos

No Capítulo 2 é descrita a revisão bibliográfica, desde o aparecimento da primeira máquina CN (Controlo Numérico) em 1949, descrevendo a evolução da maquinação CNC ao longo destas 6 décadas até ao aparecimento das mais sofisticadas máquinas multi-eixo.

O Capítulo 3 é referente à linguagem máquina, onde é abordado o modo de comunicação entre softwares e as máquinas de CNC, com recurso ao pós-processamento, sendo feita uma breve abordagem ao novo método de transmissão de dados STEP-NC.

O Capítulo 4 é referente ao trabalho experimental, estando este dividido em duas

fases. Na primeira fase, é abordada a alteração de um pós-processador recorrendo a softwares adequados para a sua parametrização e, numa segunda fase, a otimização do fabrico de um componente fornecido pela empresa MPSA, utilizando um único aperto com recurso ao eixo rotativo.

O Capítulo 5 é dedicado à análise de dados obtidos.

No Capítulo 6 sumarizam-se as conclusões desta dissertação e enunciam-se sugestões de temas para trabalhos de investigação a desenvolver no futuro, no âmbito da maquinação multi-eixo.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

Desde as antigas civilizações que o homem procura racionalizar e automatizar os processos produtivos, de modo a reduzir os esforços físicos e mentais. Desde então, várias máquinas e ferramentas têm sido construídas ao longo dos tempos, porém com uma capacidade de resposta bastante lenta. Embora a máquina a vapor (Fig 2.1) tenha sido concebida em 1766 por James Watt (Luiz, 2008), só mais tarde é que se conseguiu construir uma máquina válida para fins industriais. Entretanto, John Wilkinson, em 1776 construiu a primeira mandriladora (Relvas, 2002), tecnicamente mais avançada e de grande precisão, mas accionada por uma roda hidráulica como as suas antecessoras. Porém, esta nova máquina, mais precisa, resultou num desenvolvimento industrial, que deu início à produção em massa de novas máquinas com preços mais acessíveis.



Figura 2.1- Máquina a Vapor de James Watt (extraído de:
http://pt.wikipedia.org/wiki/James_Watt)

Entretanto, a necessidade de evoluir para novos equipamentos, aliada ao desenvolvimento dos computadores, resultou no aparecimento do CN (Controlo Numérico) por volta de 1947, quando John Parsons teve a ideia de comandar uma fresadora a partir de um computador, para resolver problemas de maquinação de superfícies complexas na indústria aeronáutica. Já em 1949 a empresa Parsons Corporation Traverse City, juntamente com o M.I.T (Massachusetts Institute of Technology) e a Força Aérea Norte Americana (U.S. Air Force), acoplaram um sistema de leitura de dados, a partir de uma cassete de fita perfurada (Fig 2.2), numa fresadora da Cincinnati (Hydrotel) (Luiz, 2008). A fita era portadora de um conjunto de instruções em código binário, que comandavam os eixos da máquina, definindo a trajectória que a ferramenta teria de efectuar, em pequenos deslocamentos (Relvas, 2002).

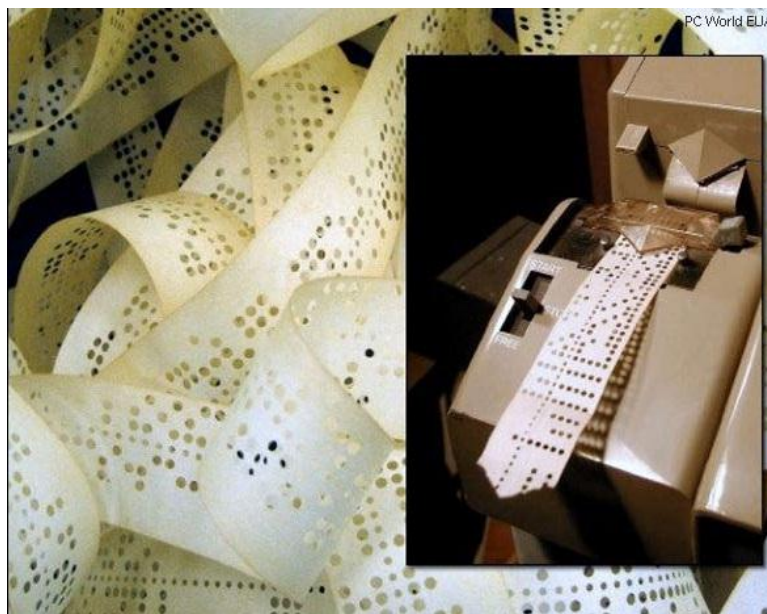


Figura 2.2 - Fita perfurada (extraído de: <http://pcworld.uol.com.br>)

Durante muitos anos, este tipo de comunicação foi usado na indústria metalomecânica, até o M.I.T ter desenvolvido uma linguagem de modo de programação manual baseada em funções G e M. Algum tempo depois, essa linguagem foi adotada por outros construtores de máquinas-ferramentas, levando a uma variedade de linguagens, visto que todas elas se empenharam no desenvolvimento das suas próprias versões. Após esta situação, não tardou muito para que certos problemas começassem a

surgir, fazendo sentir-se mais nas empresas que dispunham de várias máquinas de construtores diferentes, uma vez que a contratação de assistência técnica tinha de ser direcionada para os diferentes tipos de máquinas, resultando em custos bastante elevados. Para resolver esta questão de dispersão de linguagens, o M.I.T em 1980 normaliza esta linguagem, ficando então conhecida, na versão americana, por Norma RS274D (X.W. Xu, 2004).

Associada a uma dada máquina, esta linguagem tinha algumas diferenças, visto que cada fornecedor poderia usar uma descrição diferente, mas tendo sempre como base a Norma DIN66025/ISO6983.

Após todas estas evoluções, e com o nível de concorrência a aumentar, foi necessário arranjar uma solução que combatesse o crescimento da complexidade de novos componentes. Então, em 1965, surge o CADAM, o primeiro *software* comercial de CAD/CAM disponível comercialmente, desenvolvido pela Lockhea (Luiz, 2008).

Com este tipo de avanço tecnológico, as empresas deram um salto na produção, reduzindo o tempo de fabrico dos componentes, devido à facilidade de criação de modelos 3D (3 dimensões) e à criação automática de trajetórias de maquinação. Contudo, tal como se tinha passado anteriormente, com a linguagem das máquinas-ferramentas, o mesmo aconteceu no fabrico de *softwares*, onde surgiram dezenas de softwares de CAD/CAM. Esta situação levou à falta de comunicação entre *softwares*, mas com a vantagem de todos possuírem pós-processadores, capazes de converter toda a informação para os diferentes tipos de máquinas CNC.

Com o passar dos tempos, maiores desafios foram surgindo, devido a projetos resultantes de novas ideias de mercado. A necessidade de responder à concorrência exigiu que os tempos de entrega fossem mais curtos e os níveis de qualidade ainda mais elevados. As exigências do cliente definem o futuro da empresa e a obrigatoriedade de evoluir tecnologicamente passou a ser um factor intrínseco, o que obriga os construtores de equipamentos CNC (fresadoras, ferramentas, dispositivos de fixação) e as empresas de desenvolvimento de *software* a manter o mesmo ritmo. Desta forma, surgiram os mais variados modelos de fresadoras de CNC, estando elas divididas em três categorias (Smid, 2008):

- Pelo número de eixos – 2, 3 ou mais eixos;
- Pela presença ou ausência de um trocador de ferramentas;
- Pela orientação dos eixos:

- CMH (Centros Maquinação Horizontais) (HMC-Horizontal Machining Center) (Fig 2.3)
- CMV (Centros de Maquinação Verticais) (VMC-Vertical Machining Center) (Fig 2.3)
- Centros de Maquinação Multi-eixo (5 eixos)

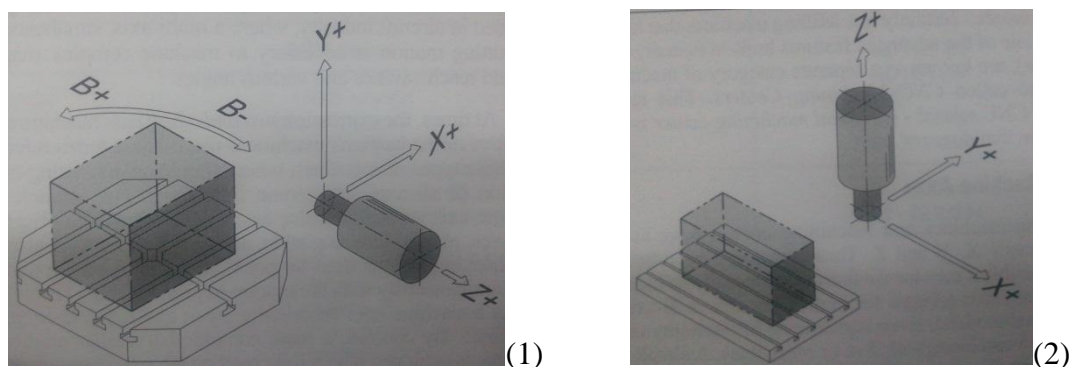


Figura 2.3– Esquema de representação de um CMH (1) e um CMV (2)

Nos CMH, o eixo do cabeçote móvel está disposto no sentido horizontal (Fig 2.4). A principal vantagem desta estrutura é a remoção das aparas pela própria força de gravidade, pois desta forma não existem aparas de material a obstruir a zona de trabalho. Em contrapartida, uma vez que a fixação do bruto de maquinação é efectuada na mesa da máquina, esta pode exigir um esforço maior, dependendo das dimensões e do peso do material bruto. Consequentemente, os CMH são utilizados com grande sucesso em determinadas aplicações na indústria aeronáutica, na indústria automóvel, na maquinação de acabamento de blocos injetados e na maquinação de peças de pequeno porte e outros materiais leves, evitando assim grandes esforços da máquina. Relativamente aos CMV (Fig 2.5), o eixo do cabeçote móvel encontra-se disposto na vertical, o que não favorece a remoção das rebarbas. Contudo, permite a maquinação de peças de todas as dimensões, sendo a mais utilizada na indústria.

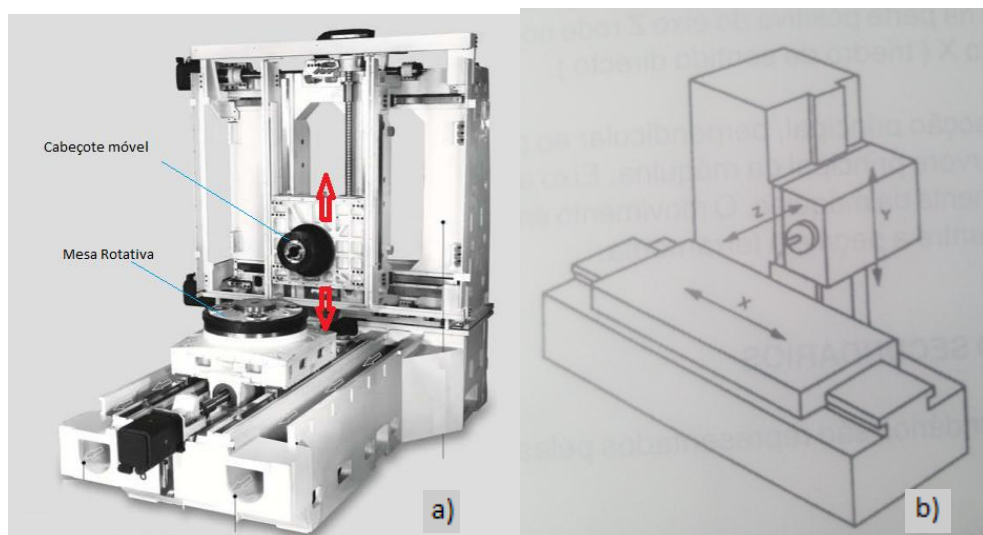


Figura 2.4 – a) HMC -Horizontal Machine Center (extraído de: <http://www.jyoti.co.in>)
b) Sistema de eixos de uma CMH (extraído de: Controlo Numérico Computorizado)

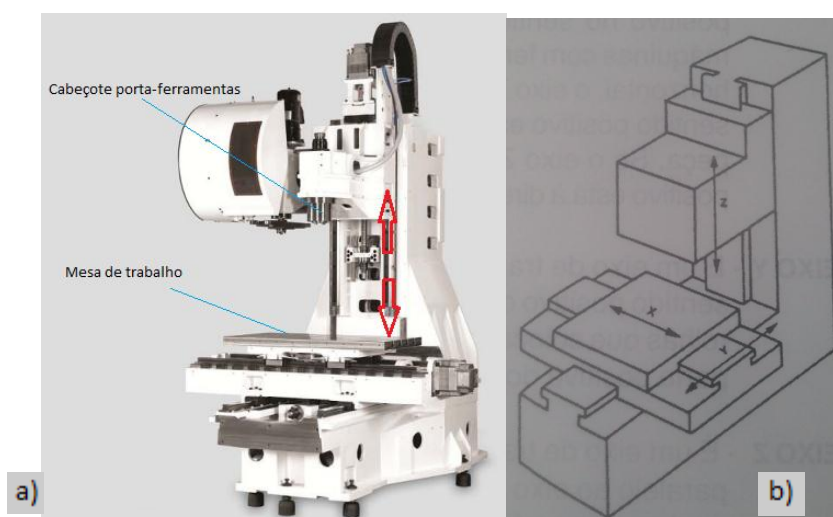


Figura 2.5 – a) VMC –Vertical Machine Center (extraído de: <http://www.jyoti.co.in>)
b) Sistema de eixos CMV (extraído de: Controlo Numérico Computorizado)

Apesar de, tecnologicamente, todas estas empresas terem evoluído em aspetos como o “tempo de setup”, continua a ser uma área onde a taxa de tempo não produtivo é exageradamente elevada. A preparação de trabalho de peças de geometria complexa exige demasiados modos de fixação na maquinaria das diferentes faces. Na maior parte das vezes, exige a construção de gabaritos de fabricação para dar continuidade ao projecto. Mediante anecessidade de reduzir este desperdício, surge, mais tarde, a

máquina de CNC multi-eixos, com 5 eixos (Fig 2.6), que, para além dos 3 eixos lineares, dispõe de mais 2 rotativos, por exemplo, A e C, em torno do eixo X e do eixo Z, respectivamente.

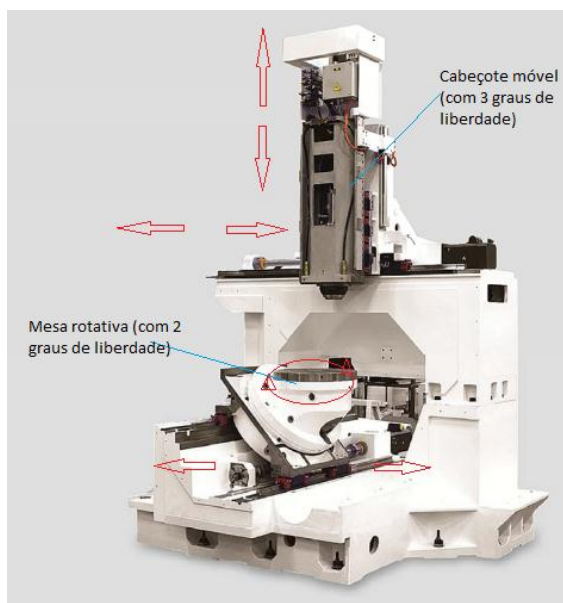


Figura 2.6 - Máquina 5 eixos (extraído de: <http://www.jyoti.co.in>)

Outra evolução é o desenvolvimento das HSM (High Speed Machining – Maquinação de Alta Velocidade), que tal como o nome indica, reside na maquinação rápida de componentes onde o principal objectivo além da redução do tempo de corte de material consiste no aumento do tempo de vida das ferramentas. Algumas das vantagens da maquinação HSM são:

- O aumento considerável de volume de material removido consequentemente a redução nos tempos de processo;
- Redução das forças de maquinação;
- Aumento da qualidade superficial
- e a maquinação de materiais com um nível de dureza elevado.

Outra melhoria na evolução das máquinas-ferramentas são as máquinas-multiprocesso. Neste tipo de máquinas existe a possibilidade de conjugar mutiprocessos de forma a reduzir o número de máquinas no fabrico de componentes. A empresa DMG (Deckel Maho Gildemeister) é uma das construtoras que tem vindo a

preocupar-se com o desenvolvimento de máquinas-multiprocesso e como tal, desenvolve tornos-fresadores que permitem a criação de peças de revolução com a possibilidade de realizar simultaneamente operações de fresagem (Fig 2.7). A eliminação de operações como, mudanças de máquinas e criação de zeros de referência são factores que reduzem significadamente o tempo de fabrico de um componente.



Figura 2.7- Máquina Multi-processo CTX beta 1250 TC (extraído de: <http://br.dmg.com>)

Com este tipo de máquinas foi mais fácil reduzir o problema do número de apertos, repetibilidade, precisão e conseqüentemente melhorar a qualidade, levando a uma grande evolução tecnológica (Fig 2.8), nas características da máquina. A utilização da tecnologia de CNC não se limita só às máquinas por arranque da apar. A sua aplicação estende-se ao longo de um conjunto de várias máquinas-ferramentas, tais como, máquinas de corte por laser, eletroerosão, puncionagem, máquinas de montagens, quinadoras, prensas, etc (Completo, Festas, & Davim, 2009).

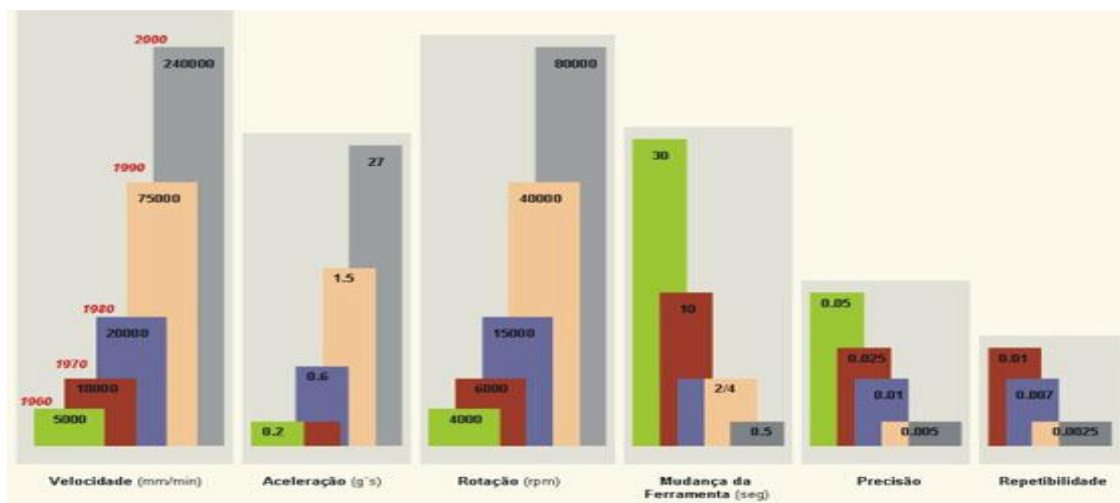


Figura 2.8 - Evolução Tecnológica do CNC (extraído de: www.cenfim.pt)

As máquinas de 5 eixos são uma solução para o fabrico de peças complexas, mas não foi uma solução que a maior parte das empresas adotasse, visto o elevado investimento na aquisição de equipamento e *softwares*.

Como forma de solucionar o problema de redução de “tempo de setup”, sem grandes investimentos, e aproveitando o investimento já efectuado, Frank Matthew propôs o recurso a um 4.º eixo rotativo, indexado (Fig 2.9) nas máquinas já existentes (Petrzelka & Frank, 2010), criando, assim, um sistema de fixação único que iria permitir a rotação do bruto de maquinação, reduzindo desta forma o número de apertos na peça.

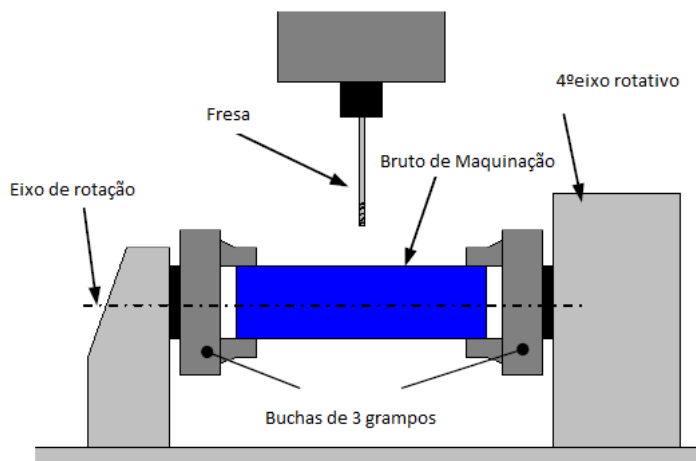


Figura 2.9 - Método de fixação utilizado por Matthew C. Frank (extraído de: *Jornal of Manufacturing Systems* Vol. 23 N°3)

Este método apresentado por Frank Matthew apresenta duas buchas concêntricas de 3 grampos, sendo uma delas fixa ao 4.º eixo rotativo, enquanto a outra bucha está

fixa num ponto que vai permitir o apoio do bruto de maquinação. Ao desenvolver esta técnica, Frank Matthew garantia que uma peça poderia ser trabalhada em 360°, em torno do eixo X, sem a necessidade de criar multi-apertos e com apenas um único ponto de referência (zero peça). Mas para que tal acontecesse, seria necessária a preparação dos topos dos brutos de maquinação, e que estes teriam que ser circulares uma vez que as buchas eram concêntricas de 3 grampos. Desta forma, Frank Matthew conseguia uma redução de tempo nas mudanças de aperto das peças complexas, sem recurso de máquinas de 5 eixos.

A necessidade de criar protótipos com o fim de reduzir erros de projetos, tem sido outra estratégia adotada pelos fabricantes de componentes, para solucionar os vários problemas na indústria metalomecânica. Esta necessidade levou à procura de alguns tipos de máquinas de PR (Prototipagem Rápida). A grande desvantagem na aquisição destas máquinas residem no grande investimento que é necessário fazer, uma vez que têm um preço bastante elevado.

Para Frank Matthew, aproveitando as máquinas CNC de 3 eixos e aplicando um 4.º eixo rotativo indexado, seria possível fixar a peça num único ponto e maquinar outra face do bloco sempre que se rodasse +/- 90°.

Com esta técnica, ele conseguiu justificar que uma máquina de 3 eixos, com recurso a um eixo rotativo, pode ser considerada uma máquina de PR do tipo subtrativo.

O seu estudo baseou-se na construção de um componente de bicicleta, a partir de um bloco cilíndrico, fixo pelas duas extremidades.

A sequência adotada consistiu no seguinte:

No ponto 1) a peça encontra-se fixa nas 2 extremidades na posição 0°, sendo maquinada toda essa face até metade do cilindro.

No ponto 2) o eixo é rodado 90° e maquinado novamente até meio do cilindro. Posteriormente, o eixo vai sendo rodado mais 2 vezes até perfazer um total de 360°, correspondente às duas faces restantes 3) e 4). Após a maquinação das 4 faces, são então removidos os suportes de fixação (5) e (6) até a peça cair por gravidade (Fig 2.10).

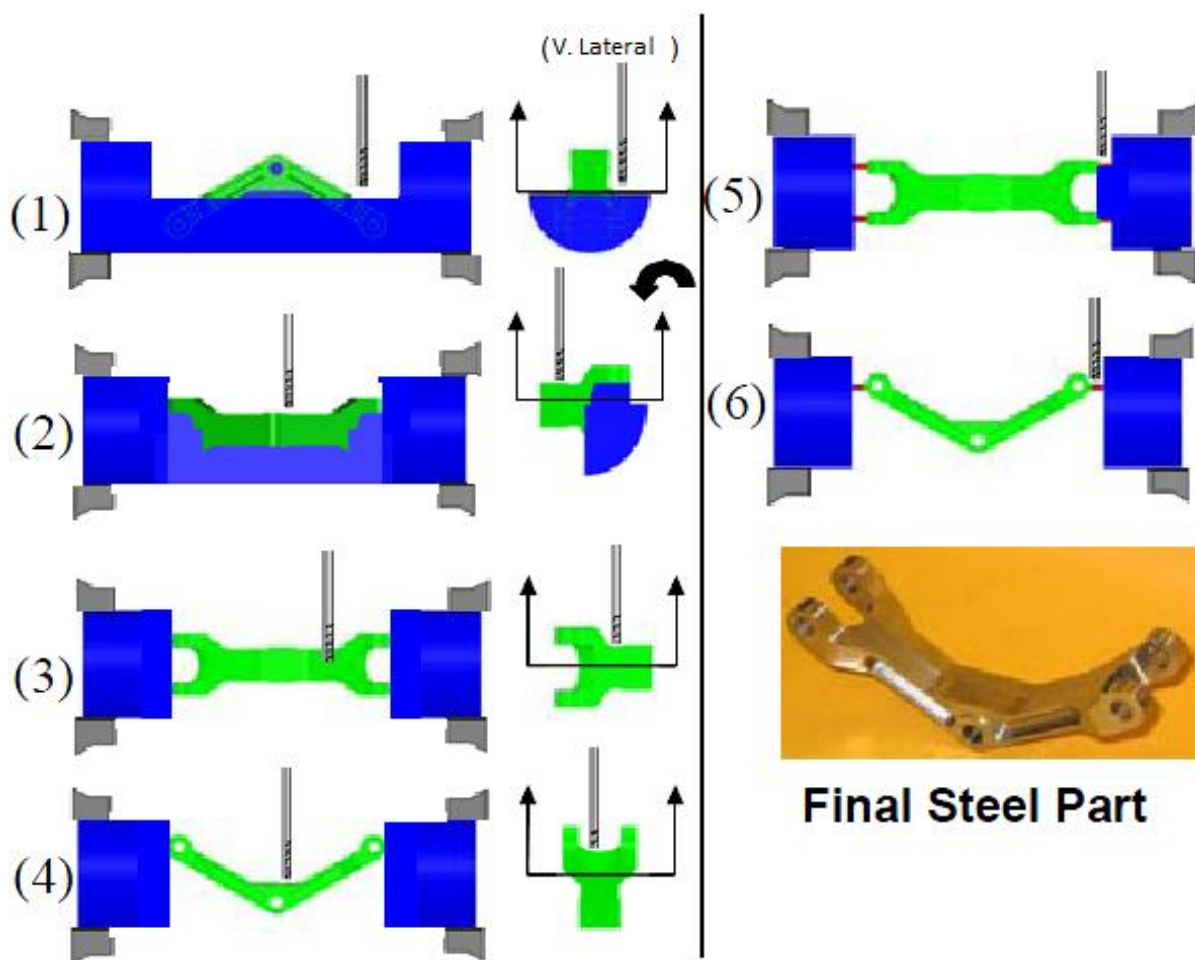


Figura 2.10 - Sequência de maquinação de Frank Matthew(extraído de: KAMRANI e NASR, 2006)

Após este estudo, Frank Matthew demonstrou que é viável o uso das máquinas CNC como potenciais máquinas de Prototipagem Rápida.

Conjugando a Tecnologia FBM (Feature Based Machining- Maquinação baseada no reconhecimento de formas) com o método de Frank Matthew reforça-se a comparação com os actuais processos de Prototipagem Rápida. Isto porque alguns softwares CAM dispõem actualmente de sistemas de reconhecimento de geometrias podendo reconhecer chanfros, cavidades, contornos, furos, boleados entre outras formas, obtendo-se posteriormente a geração automática de trajectórias.

Embora Frank Matthew tenha conseguido demonstrar que é possível reduzir o número de apertos na maquinação de uma peça, através do acoplamento de um eixo rotativo nos actuais CM (Centros de Maquinação) de 3 eixos, são ainda inúmeros os

obstáculos presentes na indústria, que de certa forma têm contribuído para o aumento do “tempo de setup”. Estes obstáculos resultam de um conjunto de etapas necessárias, que antecedem a maquinação dos componentes, tais como: a difícil programação de peças muito complexas, a preparação de brutos de maquinação, geometrias nas quais um 4.º eixo indexado não resolve a situação, bem como a necessidade de novos dispositivos de fixação, que muitas vezes justificam a construção de gabaritos.

O estudo apresentado por Frank Matthew mostra que o método de fixação utilizado consiste em 2 buchas, tal como se encontra representado na Figura 2.9. Embora o método de Frank Matthew apresente bons resultados, outras soluções (Fig 2.11) foram surgindo de forma a encurtar o tempo de fixação do bruto de maquinação, sendo que algumas apresentam vantagens e desvantagens face ao proposto por Frank Matthew.

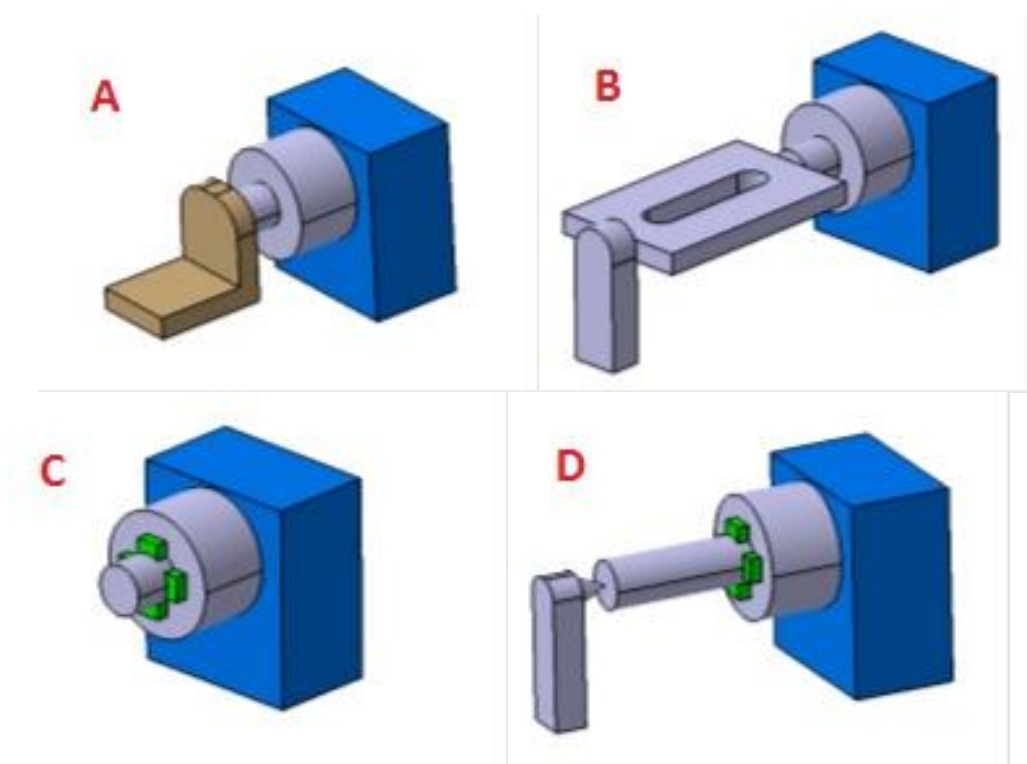


Figura 2.11 – Sistemas de aperto para brutos de maquinação

(A – Sistema em forma de berço, B – Sistema em forma de mesa, C – Sistema de fixação direta bucha, D - Sistema com contra-ponto)

De forma a entender as vantagens e limitações dos sistemas anteriormente

apresentados, é apresentada na tabela 2.1 uma comparação de todos os sistemas.

Tabela 2.1- Sistemas de fixação para 4º eixo

Sistema	Vantagens	Desvantagens
A	-Além do aperto principal permite rotação de forma a trabalhar o lado frontal e o lado posterior;	-Não permite maquinar a zona da base da peça; -Necessidade de calcular novos zeros no caso de uma nova peça; -Permite maquinar somente peças de pequena e média dimensão devido à flexão originada por peças pesadas;
B	-Além do aperto principal permite rotação de forma a trabalhar o lado frontal e o lado posterior; -Permite várias dimensões;	-Não permite maquinar a zona da base da peça; -Necessidade de calcular novos zeros no caso de uma nova peça;
C	-Permite trabalhar em todas as faces em torno do eixo X; -Não existe necessidade de se calcular novos zeros no plano YZ;	-Permite maquinar somente peças de pequena e média dimensão devido à flexão originada por peças pesadas;
D	-Permite trabalhar em todas as faces em torno do eixo X; -Não existe necessidade de se calcular novos zeros no plano YZ; -Permite pequenas e médias dimensões;	- Só permite maquinar peças que não sejam muito esbeltas devido à flexão originada na maquinagem

No método de fixação de Frank Matthew, foram utilizadas buchas concêntricas de 3 grampos (Fig 2.12 A). Embora este método seja de fácil utilização, implica alterações no bruto de maquinação, uma vez que este tipo de bucha só permite fixação de secções circulares. Na figura seguinte é possível ver os tipos de buchas existentes no mercado (Fig 2.12).

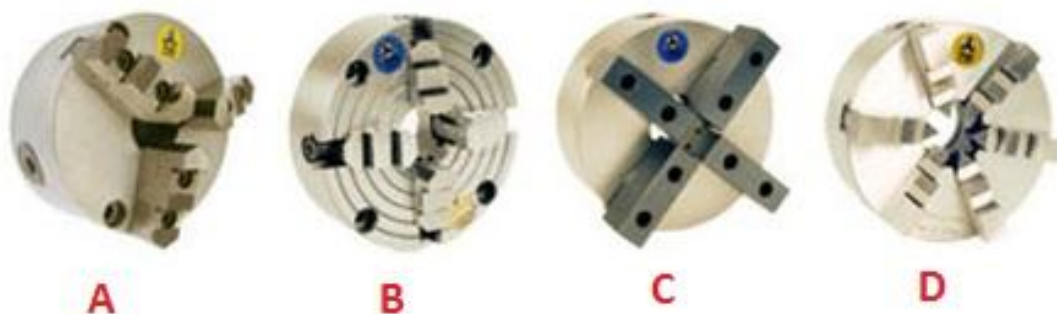


Figura 2.12 - Tipos de Buchas

A – Bucha concêntrica de 3 Grampos, B – Bucha de 4 grampos independentes,
C – Bucha concêntrica de 4 grampos, D - Bucha concêntrica de 6 grampos

A bucha A apresenta 3 grampos concêntricos e permite a fixação de secções circulares ou triângulares. A bucha B apresenta 4 grampos independentes e permite fixar secções quadradas, rectangulares e circulares, mas com a desvantagem de necessitar de algum tempo para centrar os blocos. A bucha C de 4 grampos concêntricos já permite a fixação centrada de blocos mas limitada apenas a secções circulares e quadradas, impossibilitando o uso de secções rectangulares. A bucha D de 6 grampos concêntricos permite a fixação de secções hexagonais e circulares.

Entretanto novos obstáculos foram surgindo, como a aquisição de bons pós-processadores com capacidade para resolver problemas de processamento.

Em muitos casos alguns *softwares*, permitem a alteração do pós-processador, sendo possível modificar certas rotinas. Esta modificação é necessária para que o output seja o mais adequado à peça que se quer maquinar. Mas nem todas as empresas dispõem de técnicos qualificados com conhecimentos de linguagem de programação, recorrendo desta forma a empresas especialistas em alterações de pós-processadores.

Capítulo 3

Linguagem Máquina

3.1. Norma DIN66025/ISO6983

A norma DIN66025/ISO6983, igualmente conhecida por linguagem ISO, é baseada em Funções G (conhecidas também por Funções Preparatórias) e por Funções M (denominadas de Funções Auxiliares), que juntamente com outros caracteres definem estados da máquina e movimentos da ferramenta, tais como movimentos lineares, movimentos circulares, ciclos de furação, etc (tabela 3.1 e 3.2). Esta linguagem é baseada num conjunto de cotas (X, Y, Z) que, juntamente com as funções preparatórias e as auxiliares, dão instruções de deslocação da ferramenta de um ponto para outro de coordenada diferente, definindo assim um tipo de trajetória.

A definição dessas coordenadas pode ser representada de duas formas, sendo elas as coordenadas absolutas e as incrementais (Fig. 3.1).

Nas coordenadas absolutas, as operações realizadas em torno da peça estão referenciadas a um único ponto, sendo esse ponto a origem de coordenadas, tal como se pode ver no exemplo da Figura 3.1, onde os 6 pontos identificados (X, Y) são referentes ao ponto zero. Já nas coordenadas incrementais (ou relativas), as coordenadas vão tendo como referência o último ponto ocupado pela ferramenta.

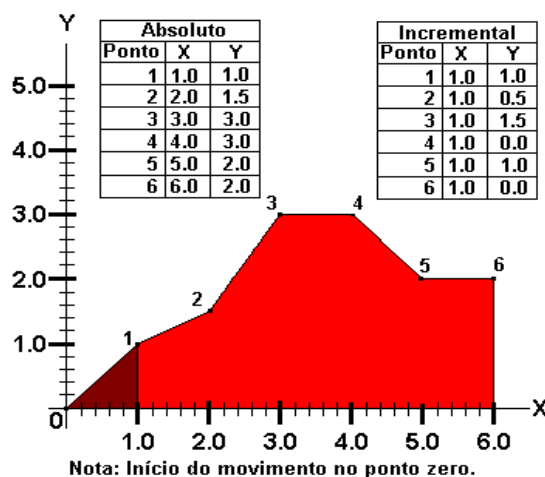


Figura 3.1- Exemplo de coordenadas Absolutas e Incrementais

(extraído de: <http://www.mundocnc.com.br/>)

A lista de funções preparatórias é extensa e cada representante tem a sua própria lista. Mesmo dentro deste tipo de linguagem existem variações no modo como é definido o bloco de comando, existindo assim um vasto conjunto de funções preparatórias. Na tabela 3.1 é apresentada, como exemplo, a lista de algumas funções preparatórias da linguagem Acramatic, que é uma das muitas linguagens baseadas na norma DIN66025/ISO6983.

Tabela 3.1– Exemplos de Funções Preparatórias (G) (extraído de : www.ctec.se)

Função	Significado
G00	Posicionamento Rápido
G01	Interpolação Linear
G02	Interpolação Circular no sentido horário
G03	Interpolação Circular no sentido anti-horário
G40	Cancelamento da compensação
G41	Compensação da ferramenta à esquerda
G42	Compensação da ferramenta à direita
G70	Cotação da peça em milímetros
G71	Cotação da Eça em polegadas
G90	Programação em coordenadas Absolutas
G91	Programação em coordenadas Incrementais

Relativamente as funções auxiliares (M), estas definem estados da máquina, tais como ligar/desligar a rotação do fuso (eixo C), ligar/desligar o líquido refrigerante, etc (Stenerson & Curran, 2007). Na tabela 3.2 são descritas algumas das funções auxiliares utilizadas igualmente pelo representante da Acramatic.

Tabela3.2.– Exemplos de Funções Auxiliares (M) (extraído de : www.ctec.se)

Função	Significado
M02	Final de programa
M03	Inicia a rotação da árvore no sentido horário
M04	Inicia a rotação da árvore no sentido anti-horário
M05	Pára a rotação da árvore
M06	Faz a troca da ferramenta
M07	Liga a refrigeração a ar
M08	Liga a refrigeração líquida
M09	Desliga a refrigeração
M30	Final do programa com regresso ao início do programa

Todos estes conjuntos de instruções baseavam-se em códigos que tiveram início a partir do método da fita perfurada, passando posteriormente para linguagem ISO (funções G e M), que inicialmente era programado pelo método manual.

Com o avançar dos tempos a necessidade de automatizar este modo de programação manual levou ao aparecimento dos primeiros *softwares* CAD que surgiram na perspectiva de simplificar a modelação de peças com geometria complexa e reduzir o tempo de desenho. A modelação tornou-se bastante mais rápida e um novo conceito de trabalho surgiu, na perspectiva de eliminar a máquina convencional com o aparecimento do CAM.

Com o CAM a definição de trajetórias já não é programado pelo operador da máquina com o auxílio de manivelas, onde eram definidos os deslocamentos em X, Y e Z na maquinação de componentes, mas sim no próprio *software* CAD/CAM, onde o técnico programador define as trajetórias por onde pretende que a ferramenta corte, bem como todas as outras parametrizações necessárias para o fabrico da peça.

3.2. Processamento do CAD/CAM para o CNC

Atualmente, a forma de comunicação utilizada pelas empresas não difere muito da utilizada anteriormente (Fig 3.2). O projecto de uma peça pressupõe a modelação em CAD e, posteriormente, o desenvolvimento CAM, onde são definidas as trajetórias das operações necessárias, bem como a definição de ferramentas e de parâmetros de maquinagem. Após o CAD/CAM, e para que todo esse trabalho seja interpretado pela máquina de CNC, é necessário pós-processar toda essa informação através de um pós-processador compatível com o equipamento. A figura seguinte representa a sequência de todo este processo.

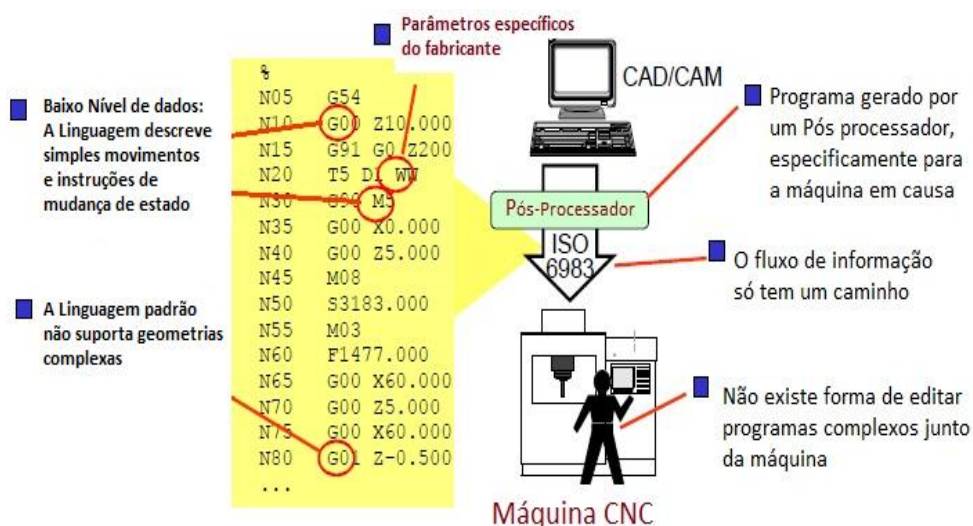


Figura 3.2 - Actual forma de comunicação de dados
(extraído de: Martin Hardwick, et al. STEP Tools, Inc.)

Contudo, esta forma de transmissão acarreta algumas desvantagens no que diz respeito a correções necessárias no programa ou na peça, uma vez que esta modificação implica um novo pós-processamento do programa ou mesmo uma alteração das definições das trajetórias. Com isto, uma empresa denominada por STEP Tools, Inc (Stools, 2006) desenvolveu o STEP-NC. Mas antes de abordar o formato STEP-NC é necessário fazer uma breve síntese sobre o formato STEP, que ao longo de vários anos tem facilitado a comunicação entre *softwares* de CAD.

3.3. Formato STEP

Foram várias as propostas apresentadas para uniformizar a troca de dados geométricos entre *softwares* de CAD (Fig 3.3). Algumas das soluções de sucesso foram: o SET em França, o VDAFS na Alemanha e o IGES (Inicial Graphics Exchange Specification) nos EUA. Mais tarde, a ISO (International Standards Organization) criou o formato STEP (Standard for Product Model Data), para criar um suporte que permitisse uma ligação com os vários *softwares* de CAD no mercado.

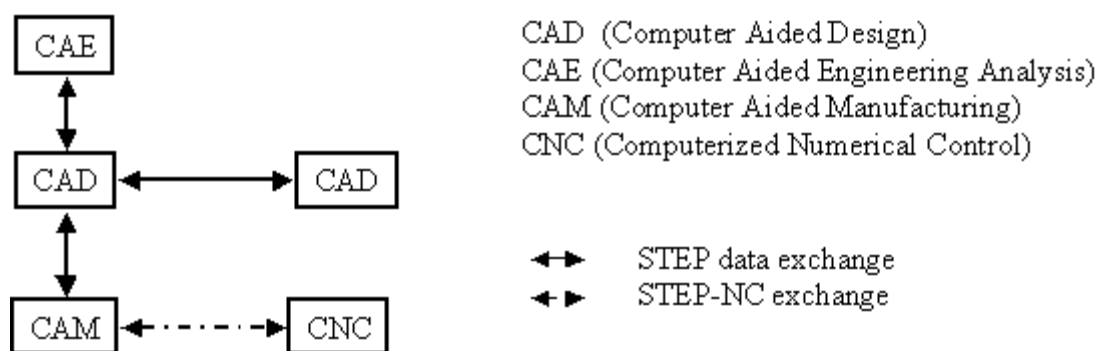


Figura 3.3 - Relação actual do formato STEP com o CAD/CAM

(extraído de: STEP Tools, Inc.)

Atualmente, são vários os *softwares* de CAD/CAM que contêm um módulo para ler e gravar dados, definido por um dos protocolos de aplicação (AP) da STEP Tools. Nos EUA, o protocolo mais utilizado é chamado de AP-203. Este protocolo é usado para troca de dados com modelos sólidos e desenhos conjuntos. Na Europa, é usado o AP-214 que desempenha a mesma função.

Além de uniformizar a comunicação no CAD através do formato STEP, a STEP TOOLS quis ir mais longe e estabelecer uma comunicação directa entre os *softwares* de CAD/CAM e as máquinas de CNC. Assim, substituiu o antigo modo de comunicação através da norma RS274D (ISO 6983), que tem sido utilizada há mais de 50 anos, sem sofrer qualquer alteração, na comunicação CAM/CNC, eliminando a fase de pós-processamento, onde ainda hoje são utilizados os antigos códigos G e M.

3.4. Formato STEP-NC

Há cerca de 10 anos, a STEP TOOLS criou o STEP-NC, que veio permitir à máquina de CNC interpretar os programas de CAM sem que estes fossem pós-processados. O *software* da máquina reconhece as operações efectuadas no programa CAM tais como: caixas, furos, contornos, facejamentos, entre muitas outras operações, permitindo que as comunicações sejam efectuadas nos dois sentidos, do CAM para o CNC e vice-versa. A Figura 3.4 permite visualizar as direcções de comunicação possíveis, em ambos os processos.

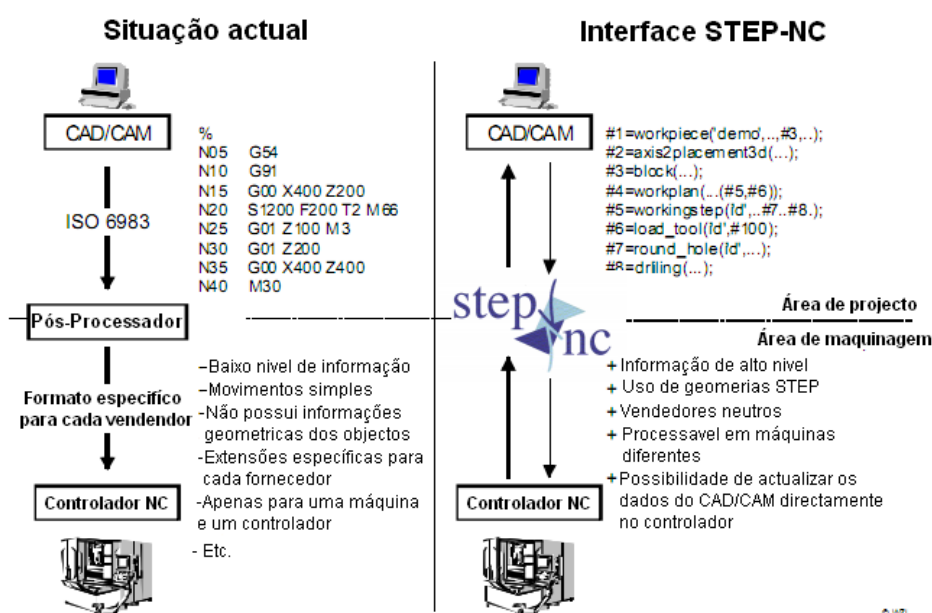


Figura 3.4 - Comparação entre a situação actual e o STEP-NC
(extraído de: Rui Cavaleiro, 2010)

São inúmeras as vantagens que se podem encontrar neste modo de transmissão e através da Figura 3.5 são demonstrados, em valores percentuais, os benefícios que os formatos STEP-NC causam na ligação CAD/CAM/CNC.

Benefícios do STEP-NC:

- Redução de 35% no tempo de planeamento CAM;
- Redução de 75% no número de desenhos enviados do CAD para o CAM;
- Redução de 50% no tempo de maquinagem;
- Eliminação dos pós-processadores existentes.

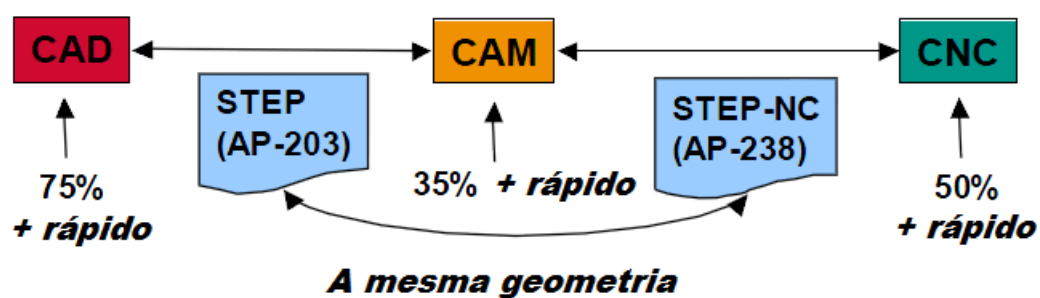


Figura 3.5 - Vantagem do formato STEP

3.5. Limitações do STEP-NC

O STEP-NC tem como principal limitação a dificuldade de inserção num mercado onde a indústria está dependente do método antigo, o que acarreta elevados custos na aquisição de tecnologia, formação técnica e, por outro lado, o impacto psicológico numa mentalidade conformada com o uso da linguagem ISO.

Capítulo 4

Trabalho Experimental

4.1. Introdução

Hoje em dia, são várias as escolhas existente num mercado, que tem vindo a evoluir com a criação de novas e inúmeras soluções na redução de tempo nas fases de desenvolvimento de projeto, programação e fabrico.

O aparecimento de novos *softwares* CAD/CAM e novas máquinas ferramentas CNC contribuiu para reduzir o esforço físico e psicológico. Porém, a área mais problemática da indústria metalomecânica continua sem grande resposta dos fornecedores de equipamentos. Esta área é referente ao “tempo de setup” (tempos improdutivos), onde tudo se tem feito para reduzir, devido à elevada percentagem de tempos mortos. São vários os minutos que se perdem para se fazer o arranque da máquina CNC, pois é necessário fixar o bloco de material, localizar zeros de referência e voltar a fixar o bruto de maquinação em todos os planos de trabalho. No final, o tempo despendido, muitas vezes, é próximo do tempo de maquinação, chegando outras mesmo a ultrapassá-lo. Isto, não tendo em conta situações em que é necessário o uso de gabaritos para peças bastante complexas. Como resposta a este problema, neste capítulo será abordado o método de trabalho com recurso à maquinação multi-eixo (4 eixos), utilizando um único aperto com a finalidade de reduzir esse tempo não produtivo. No entanto, este capítulo é composto por duas fases, sendo que na primeira será desenvolvido exaustivamente o estudo e desenvolvimento de um pós-processador a aplicar numa programação CAM, a fim de confirmar a sua funcionalidade.

Na segunda fase deste capítulo, será tomada como exemplo a maquinação de um componente fornecido pela empresa metalomecânica MPSA Lda., que anteriormente

maquinou o mesmo modelo recorrendo a uma metodologia de 5 apertos.

Pretende-se com isto justificar o recurso a esta metodologia de trabalho, reduzindo o tempo de Setup.

A maquinação para este caso de estudo foi executada na Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Setúbal, mais precisamente no Laboratório de Tecnologias Avançadas de Produção, das Oficinas de Tecnologia Mecânica, do Departamento de Engenharia Mecânica.

4.2. Primeira Fase – Desenvolvimento do Pós-processador

No presente capítulo, tomaremos como exemplo um pós-processador (MPFAN), o qual será sujeito a testes, de modo a que o output gerado na conversão CAM esteja de acordo com o centro de maquinação CNC em questão. Para tal serão utilizados os seguintes recursos:

- Modelo de estudo (peça 3D)
- Pós-processador MPFAN
- *Software* MasterCam X3, Catia V5
- *Software* de análise (EM/EMP Debugger MasterCam)

O *software* utilizado para modelação foi o Catia V5, justificando o autor como sendo um software mais intuitivo para modelação do que o MasterCam.

O modelo de estudo será uma peça geometricamente simples, mas que englobe um número de operações diversificadas. Para tal, o modelo onde vai incidir este estudo terá a seguinte configuração (Fig 4.1):

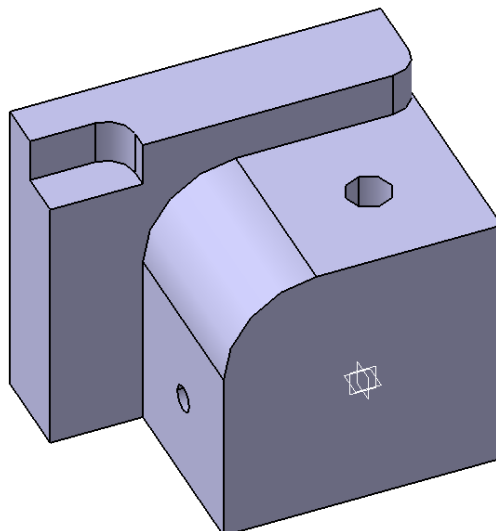


Figura 4.1- Modelo 3D

As dimensões referentes ao modelo estão descritas na Figura 4.2, com as respectivas cotas em milímetros (mm).

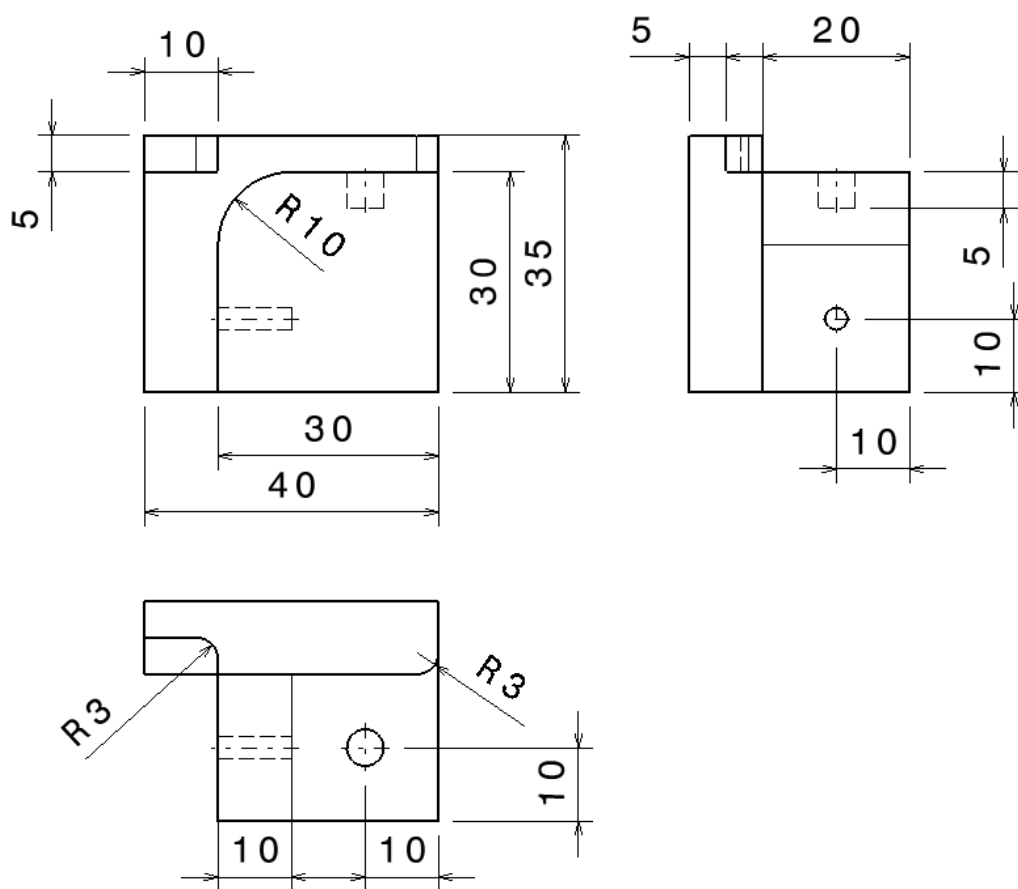


Figura 4.2 - Dimensões geométricas da peça (mm)

4.2.1 - Programação CAM

Para programar o modelo anteriormente apresentado, utilizar-se-á o *software* MasterCam X3, que é um *software* de CAD/CAM onde as operações CAM são bastante intuitivas. Através dele é possível definir trajetórias de uma forma bastante fácil, sendo esta uma das razões da escolha do autor. A segunda razão, e a mais importante de todas, pelo qual sem ela não poderíamos dar continuidade a este estudo, é a possibilidade de se poder modificar o pós-processador, de modo a apresentar um output pretendido.

Mas antes de dar continuidade a este estudo, serão abordadas as operações necessárias para realização da peça em questão.

4.2.2 - Operações CAM necessárias

Para a realização da peça em questão (Fig 4.3) será necessário proceder às seguintes operações:

1. Contorno multi-eixo;
2. Furação simples;
3. Furação profunda;
4. Contorno circular horário;
5. Contorno circular anti-horário;
6. Contorno linear.

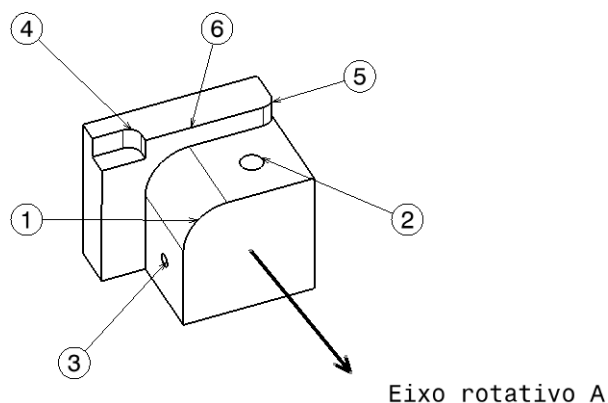


Figura 4.3 - Esquema de Operações

A operação de contorno multi-eixo permitirá observar como se conjugam os eixos cartesianos (Fig 4.4) com o eixo rotativo, em torno de X (Fig 4.5). Esta é a operação principal deste estudo, uma vez que o que se pretende é a maquinação com um eixo rotativo contínuo, visto que estudos anteriores se basearam no posicionamento indexado. Todas as outras são operações comuns na programação CAM e o que se pretende é alterar alguns dados de “Output” visto se tratar de um pós-processador semelhante à linguagem Acramatic2100, mas com algumas falhas no resultado de saída. Para melhor interpretação iremos recorrer ao Software de análise (EM/EMP Debugger MasterCam).

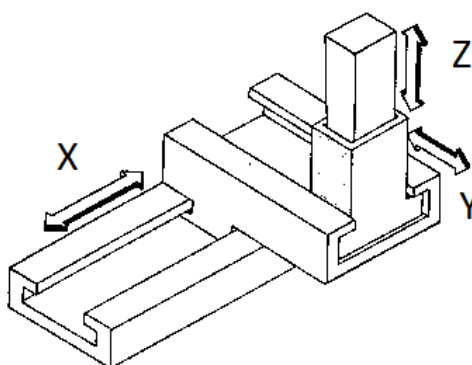


Figura 4.4 - Eixos Cartesianos da CNC

(extraído de: <http://blogdoprofessorcarlao.blogspot.com/>)

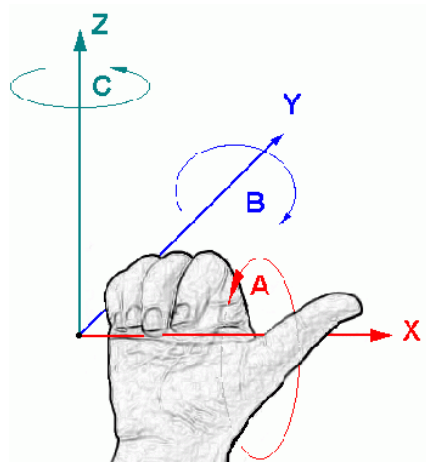


Figura 4.5 - Rotações nos eixos
(extraído de: <http://www.mundocnc.com.br/>)

4.2.3 - Debugger MP/EMP

O MP/EMP Post Debugger é um aplicativo do *software* MasterCam que permite encontrar e corrigir erros em pós-processadores, enquanto o programa é processado para gerar o código NC.

A análise do “Output” pode ser feita linha a linha de uma forma simples (Fig 4.6).

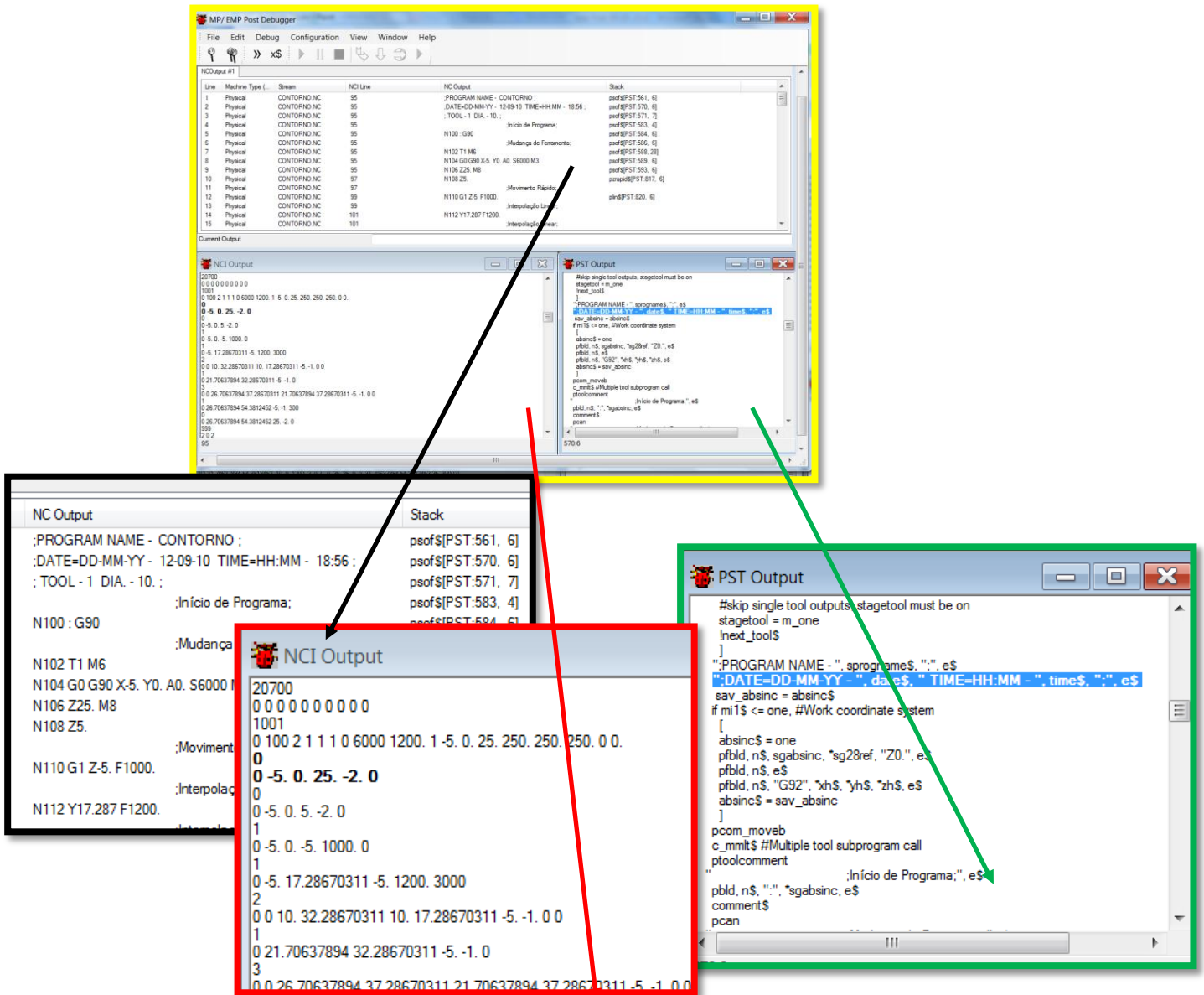


Figura 4.6 - Plataforma MP/EMP Debugger

(extraído de: MasterCAMX3_PostDebugger)

Este aplicativo é constituído por vários campos de análise. A janela principal, a partir da qual podemos correr passo a passo a informação, é constituída por outras janelas mais pequenas com as seguintes funções:

- NC Output – mostra o programa ISO;
- PST Output – mostra a linguagem de programação;
- NCI Output – mostra o código NCI;
- Etc.

Após a definição da trajetória CAM (Fig 4.7), com as operações de maquinação e parametrização de velocidades, incrementos e escolhas de ferramentas é necessário fazer o “Debug” do programa para análise do “Output”.

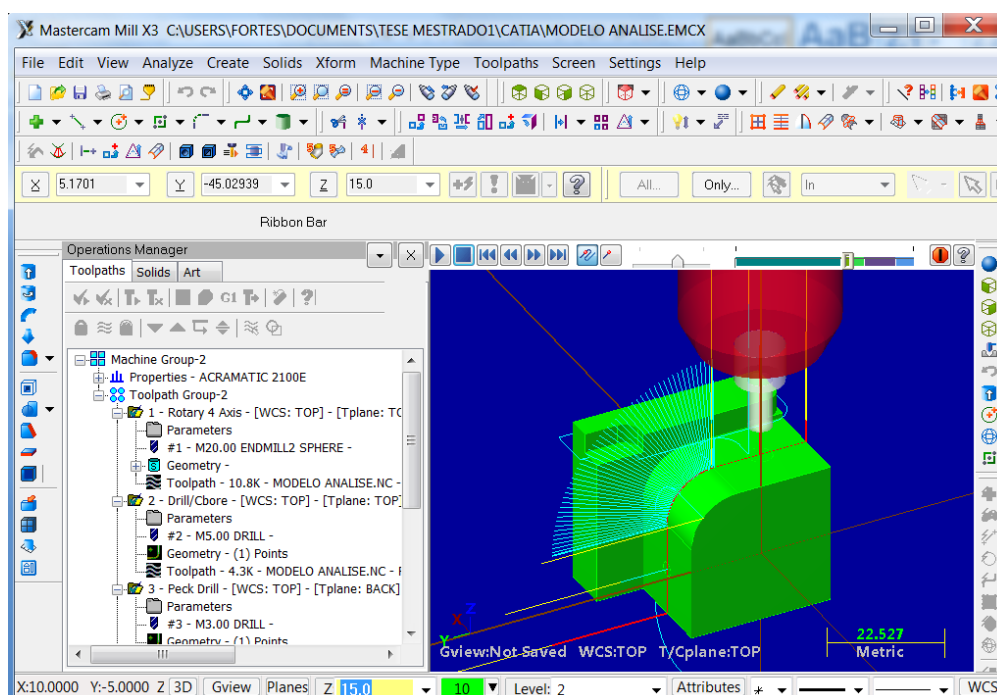


Figura 4.7 - Software MasterCam

4.2.4 - Pós-Processamento

O Pós-processamento em MasterCam, como qualquer outro *software* CAM, é feito através da seleção do comandoem questão e da escolha do pós-processador referente à máquina CNC.

Neste caso o *software* MasterCam, tem a vantagem de ter o MP/EMP Post Debugger como aplicativo de análise, podendo ser activado na altura do pós-processamento (Fig 4.8).

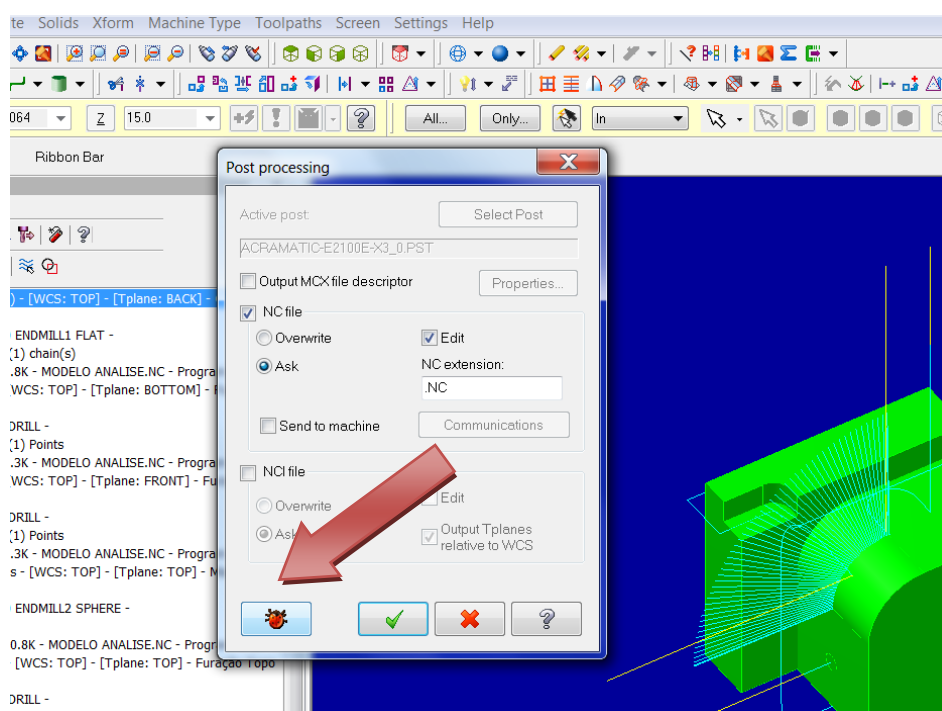


Figura 4.8 - Pós – Processamento

Após a definição de trajetórias e outras parametrizações CAM é necessário que toda essa informação seja convertida para linguagem máquina. Tal como foi mencionado em capítulos anteriores, esta linguagem é baseada em funções G e M (ISO 6983) e o resultado desse pós-processamento resulta num conjunto de indicações que vão permitir à máquina executar determinadas ações.

Numa primeira fase, foi utilizado o Pós-processador MPFAN (Pós-processador FANUC), devido à semelhança de funções com a linguagem ACRAMATIC2100. Apesar de muitas funções serem da mesma natureza, esta linguagem apresenta alguns erros nas instruções que gera para a máquina em estudo.

Esta linguagem, após algumas alterações, pode ser utilizada como uma solução

na transmissão de informação para a máquina, mas a ideia é ter um programa de linguagem ISO que permita obter um *Output* sem recurso a modificações.

4.2.5 - *Output (ficheiro NC) com o Pós-processador MPFAN*

Ao utilizar-se o pós-processador MPFAN sem qualquer alteração, este irá fornecer um *Output* referente à programação das trajetórias definidas. Aparentemente, parece ser um programa normal de linguagem ISO, mas incompatível com a máquina utilizada.

Seguidamente, são apresentados alguns desses campos que necessitam de modificações. Neste pequeno exemplo, é possível observar algumas das inconformidades descritas no programa. Algumas são de carácter informativo que não oferecem qualquer tipo de problema de execução, e outras de carácter de programa que já afetam a execução do programa.

Programa MPFAN Original

```
%  
O0000  
(PROGRAM NAME - MODELO ANÁLISE)  
(DATE=DD-MM-YY - 17-09-10 TIME=HH:MM - 23:00 )  
N100 G21  
N110 G0 G17 G40 G49 G80 G90  
( TOOL - 5 DIA. OFF. - 0 LEN. - 0 DIA. - 10. )  
(...)
```

O resto do programa pode ser visto na íntegra no Anexo 1


```
;MSG, NOME DO PROGRAMA = MODELO ANALISE ;
;MSG, DATA=DD-MM-AA - 17-09-10 HORA=HH:MM - 21:21 ;
;MSG, FERRAMENTA Nº 5 DIÂMETRO [mm]. - 10.;

;MSG, CONTORNO LATERAL;
N10 : G90G71A0
N20 T5M6
N30 G0G90X5.Y-25.S6000M3
N40 Z65.M8

N50 Z45.

Linear;
N60 G1Z21.F1000.

Linear;
...

```

;Movimento Rápido;

;Interpolação

;Interpolação

Este programa pode ser visto na íntegra no Anexo 3

4.2.8 - *Análise de resultados do Pós-processador alterado*

São vários os programas de CAD/CAM que facilitam o trabalho de definição de trajetórias, parametrização de ferramentas e velocidades. Mas, para que essa informação chegue ao recetor (Máquina CNC), é necessário que exista um Pós-processador que permita processar toda a informação necessária, para que o trabalho seja executado tal como foi programado.

Neste estudo foi utilizado um processador (MPFAN) com um output semelhante à linguagem utilizada, mas com alguns campos a serem alterados. Num primeiro processamento, foram vários os defeitos encontrados, mas com a utilização do MP/EMP Debugger foi fácil a localização dos defeitos no pós-processador, para que se alterassem os mesmos.

Após as modificações necessárias no Pós-processador MPFAN, ficaram corrigidas as incompatibilidades do pós-processador com a máquina de CNC e para facilitar melhor a compreensão dos utilizadores acrescentaram-se no pós-processador alguns extras, tais como:

- a) Alteração de conteúdo informativo para língua portuguesa;
- b) Identificação de algumas operações de maior destaque (denominação das funções G e M utilizadas).

Com o novo pós-processador não será necessário proceder a nenhuma modificação em trabalhos futuros, sendo o resultado final do processamento a informação necessária para que a máquina execute o que foi programado no *software* CAD/CAM.

Este Pós-processador será denominado de ACRAMATIC_4X.

4.2.9 - Melhorias no processo de Frank Matthew com recurso ao eixo contínuo e ao Pós-processador alterado

O método de Frank Matthew, apesar do sucesso que apresentou em termos de redução de número de apertos e, conseqüentemente do tempo de setup, pode ser melhorado em vários aspetos e neste capítulo pretende mostrar-se algumas das opções tomadas na melhoria deste processo. O método que será abordado contempla um eixo contínuo, onde é possível sincronizar o eixo rotativo (A) com os 3 eixos principais (X,Y,Z), sendo desta forma possível obter melhorias no método de Frank Matthew.

4.2.10 - Método segundo Frank Matthew (Rotação Indexada)

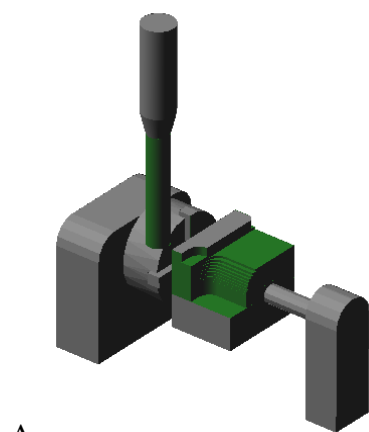
Muitas vezes utiliza-se o 4.º eixo contínuo como se de um 4.º eixo indexado se tratasse. Tal acontece devido à falta de um pós-processador que permita sincronizar os 4 eixos (X,Y,Z,A), mas a ausência do mesmo obriga ao método da indexação ou seja, uma pré-rotação para a posição desejada, para que os eixos principais possam executar o trabalho pretendido, até todas as faces estarem trabalhadas.

Para comparar estes dois métodos de utilização do 4.º eixo, utilizar-se-á o modelo apresentado no início deste capítulo (Fig 4.1).

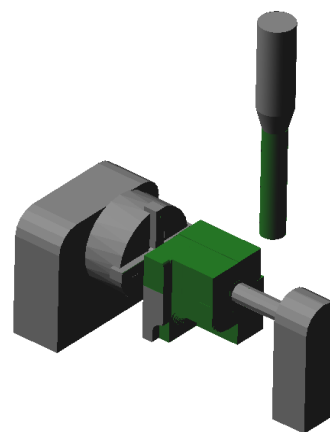
Considerando que o “zero peça” se encontra no centro do bloco, mais precisamente no centro da face do paralelepípedo, e com base no método de Frank Matthew, o modelo em questão, terá a seguinte sequência (Fig 4.9):

- Na posição A, que corresponde a uma rotação 0º, será maquinado todo o material até ao plano da cota z=0.
- Uma vez terminada essa face o eixo rotativo é posicionado a 90º (posição B) e mais uma vez maquinado até à cota z=0.
- Esta operação será realizada mais 2 vezes para as respetivas posições C e D correspondentes a 180º e 270º.

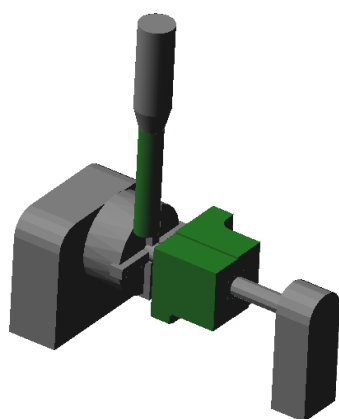
- Nas posições E e F são cortados os suportes, caindo a peça por gravidade.



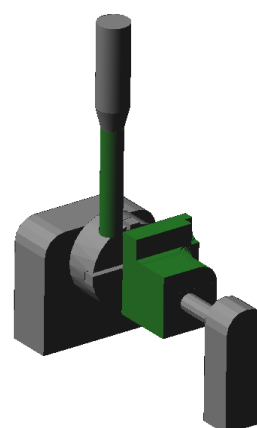
A



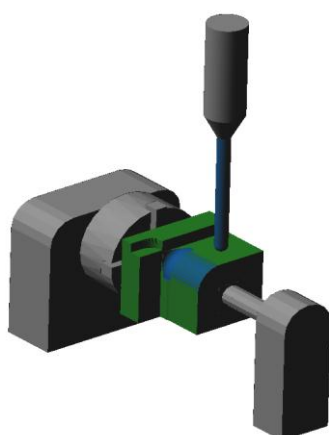
B



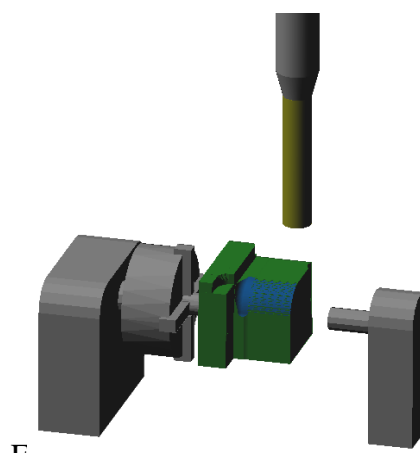
C



D



E



F

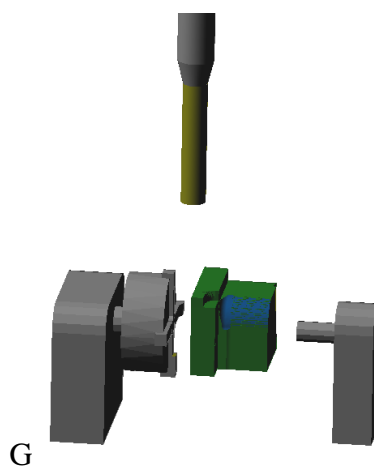


Figura 4.9 – Esquema das etapas da maquinação

No final, o protótipo apresentava as mesmas dimensões que o modelo inicial, excepto um raio de concordância, que devido ao raio da ferramenta, não pôde ser eliminado (Fig 4.10).

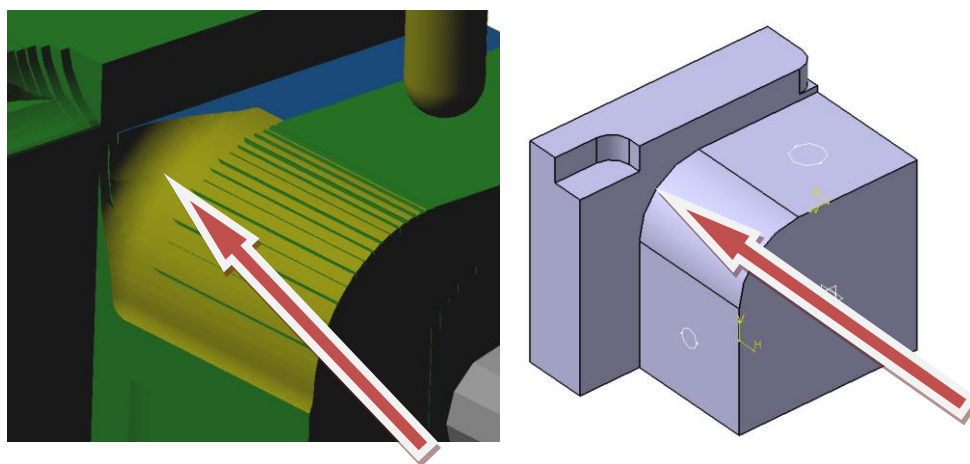


Figura 4.10 – Raio de concordância

De forma a resolver a questão do raio de concordância, recorreu-se ao método do eixo contínuo, aplicando as mesmas operações.

4.2.11 - Método Rotação com movimento contínuo

As operações utilizadas na utilização do eixo rotativo contínuo foram as mesmas utilizadas no eixo indexado. A única diferença foi na maquinação da superfície arredondada, que através da interação dos 4 eixos permitiu trabalhar com a ferramenta perpendicular à superfície (Fig 4.11).

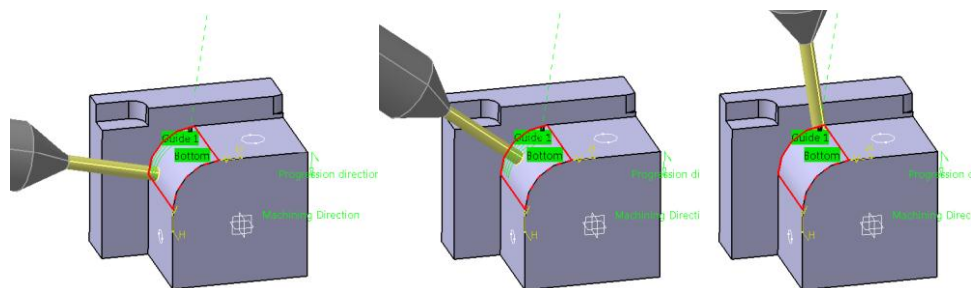


Figura 4.11 – Ferramenta perpendicular a superfície

Deste modo, o uso de uma ferramenta de ponta esférica não foi um requisito obrigatório, podendo ter sido utilizada uma ferramenta de topo raso com corte ao centro (Fig 4.12).



Figura 4.12 - Fresa de topo raso e de ponta esférica

(extraído de: www.lojaodotorneiro.com.br)

A opção na escolha da fresa de topo raso, em vez da fresa de ponta esférica reside na necessidade de eliminar o raio de concordância deixado pela fresa esférica (Fig 4.13). Optando pela fresa de topo raso, o material existente no vértice da superfície arredondada com a superfície vertical (Fig 4.14) será eliminado.

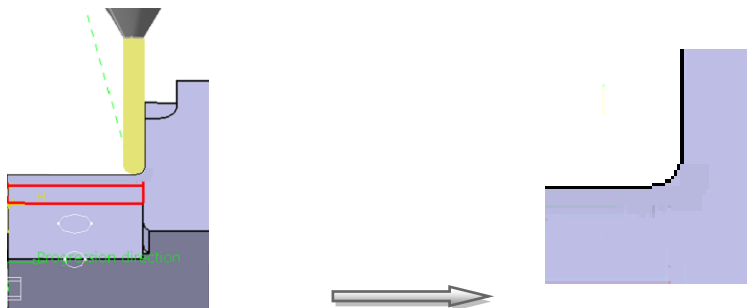


Figura 4.13 - Maquinação com fresa esférica

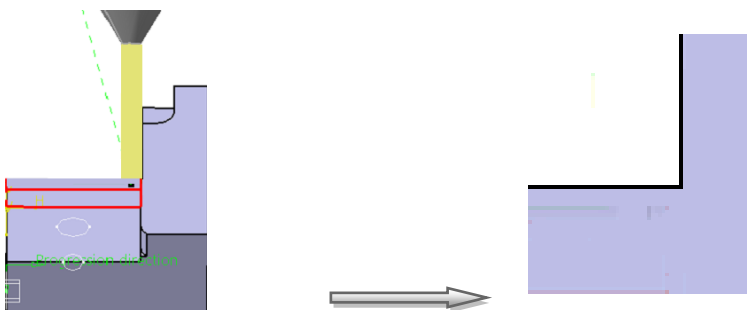


Figura 4.14 - Maquinação com fresa topo raso

4.2.12 - Análise do estudo

Para complementar o estudo de Frank Matthew pode afirmar-se que, com o uso de um 4.º eixo contínuo já é possível eliminar raios de concordância, levando a que o protótipo esteja mais próximo das tolerâncias geométricas definidas no modelo 3D. Este processo permite também uma redução no tempo total de maquinação.

Mas essa justificação será demonstrada na segunda fase deste capítulo, dedicado a um caso de estudo de um modelo fornecido pela empresa MPSA Lda.

4.3. Segunda Fase – Caso de estudo “Empresa MPSA”

Aplicando as técnicas e resultados do capítulo anterior, proceder-se-á ao estudo de uma peça fornecida pela empresa MPSA de forma a validar os resultados obtidos.

4.3.1 - Modelo de Estudo

O modelo de estudo (Fig 4.15 e 4.16) utilizado foi fornecido pela empresa MPSA no formato Mc9 (MasterCam) com as seguintes dimensões:

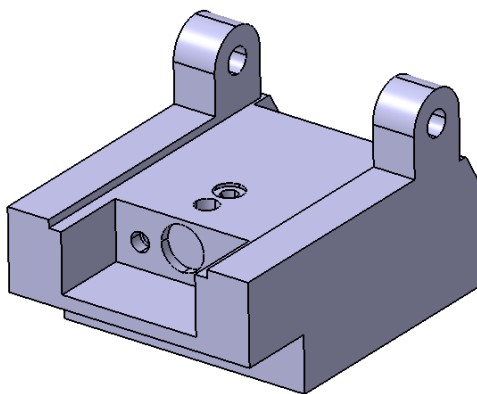


Figura 4.15 - Modelo de estudo

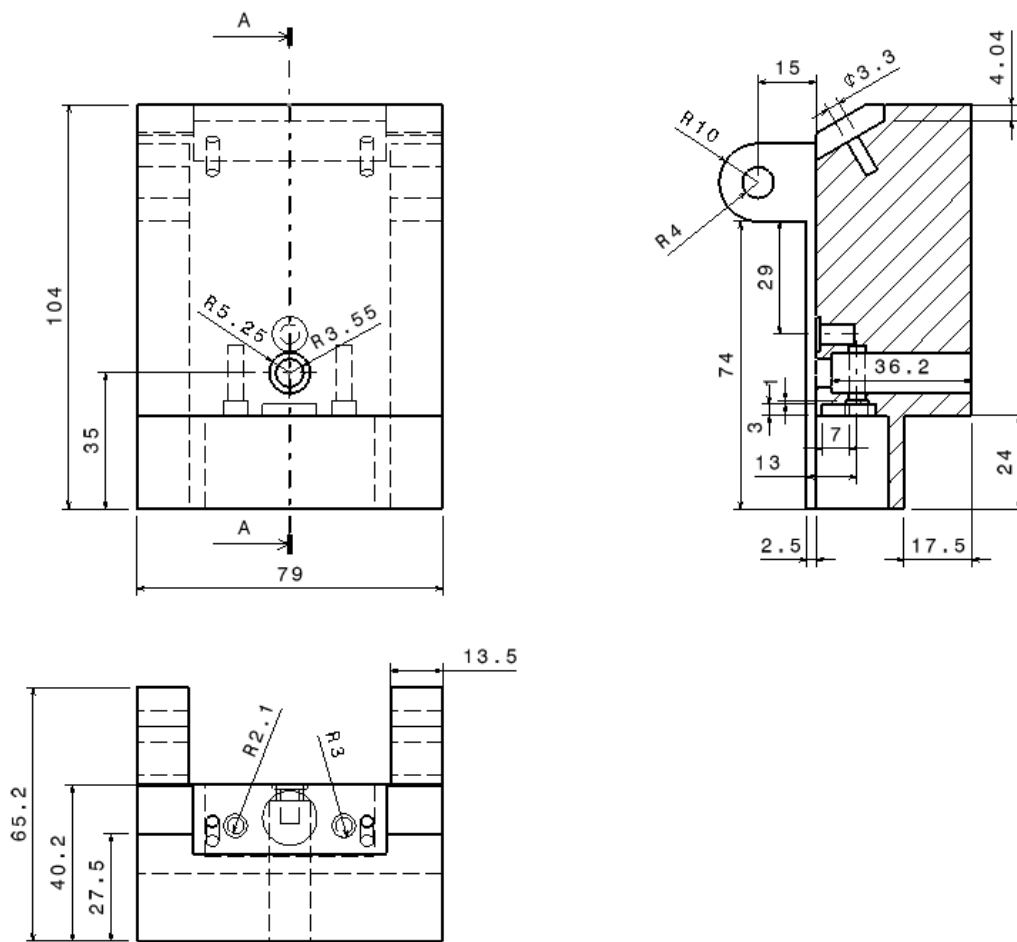


Figura 4.16 – Representação 2D e respectivas dimensões

4.3.2 - Equipamento utilizado

O caso de estudo foi efectuado no Laboratório de Tecnologias Avançadas de Produção da Escola Superior de Tecnologia de Setúbal, recorrendo ao centro de maquinação vertical Cincinnati Arrow 750 (Fig 4.17). Este equipamento é constituído por 4 eixos contínuos, contudo, até a data, só foram explorados os 3 eixos devido à falta de recursos e equipamento auxiliar.

Recursos que dependem de:

- Um pós-processador adequado (editado na primeira fase deste capítulo);
- Uma bucha para fixação do bruto de maquinação (Fig 4.18);
- Um ponto para minimizar a flexão na outra extremidade do mesmo (Fig 4.19).



Figura 4.17 - Cincinnati Arrow 750

A bucha de aperto é do tipo 3 garras concêntricas para fixação de objectos de revolução, que, para o caso, é a forma mais fácil de fixar o bruto de maquinação, independentemente de este apresentar o formato de um paralelepípedo.



Figura 4.18 - 4º eixo rotativo (contínuo)



Figura 4.19 - Ponto do eixo rotativo

Após a aquisição de alguns componentes, como um centrador para a bucha, um guiador para o ponto e alguns parafusos para fixação na base da máquina CNC, ficaram reunidas as condições para dar início ao estudo do caso prático.

4.3.3 - Metodologia

A metodologia aplicada tem uma sequência comum (Fig 4.20), em que o projeto CAD é feito a partir de um *software* específico, neste caso o MasterCam, através do qual são dadas todas as dimensões da peça, volumes, furos, chanfros, raios de concordância, etc. Segue-se o CAM, onde é feita a escolha de ferramentas, a definição de trajetórias e a atribuição de velocidades de corte e avanços da ferramenta.

Após o CAM estar dentro dos requisitos pretendidos, segue-se o pós-processamento onde é feita a conversão para linguagem máquina (linguagem ISO).

Realizados estes 3 passos, toda a informação necessária para execução da peça é enviada para o controlador da máquina. Esta transmissão de dados pode ser feita de duas formas distintas, sendo elas através de disquete, no caso de pequenos programas, ou por cabo de rede em situações de maior volume de informação.

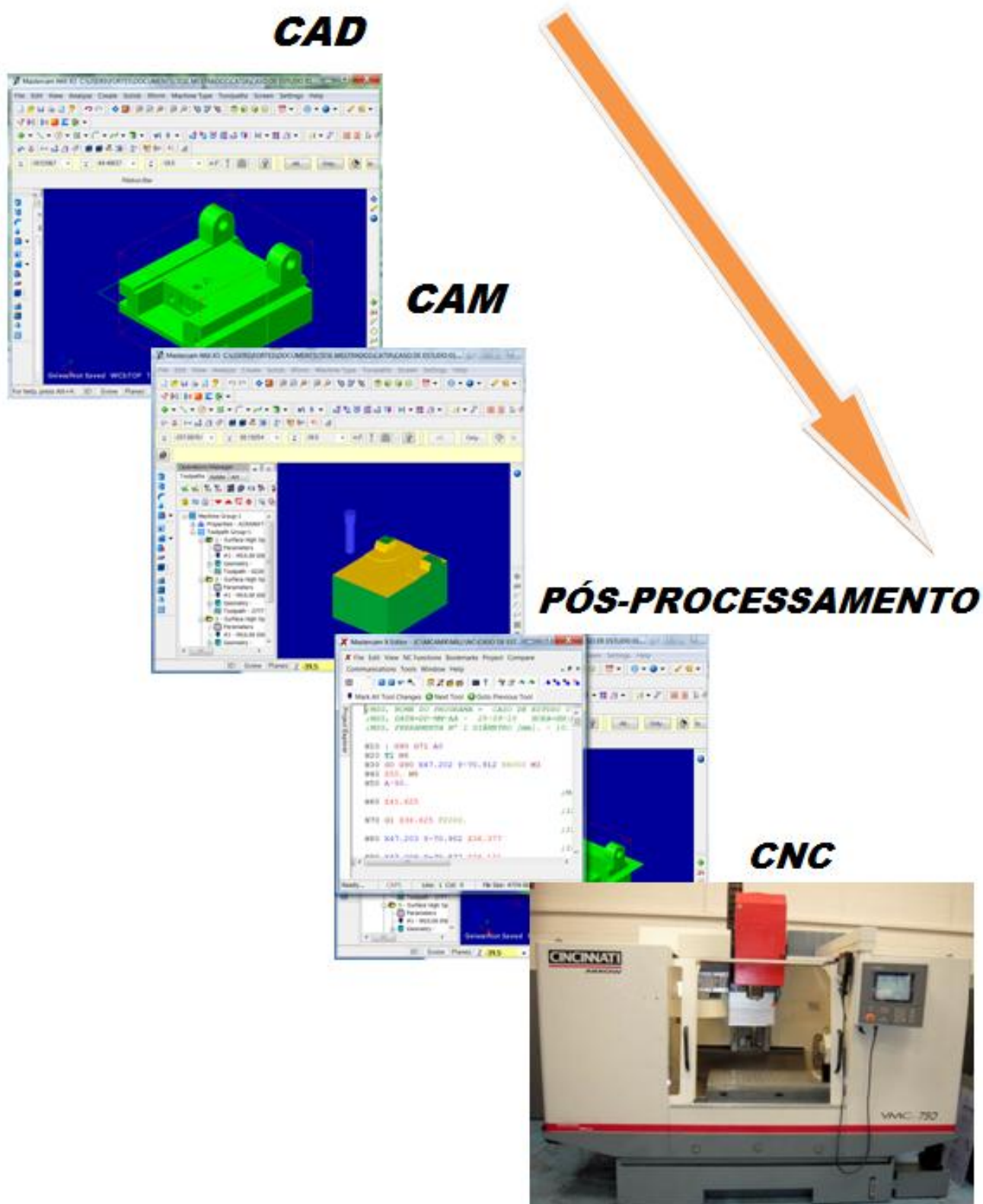


Figura 4.20 - Sequência de trabalho

4.3.4 - Preparação dos brutos de maquinação

O trabalho será efectuado a partir de blocos paralelepípedicos com pequenos cilindros nas faces (Fig 4.21 e 4.22), para rápida fixação na bucha do 4º eixo. Os materiais utilizados são de dois tipos, sendo eles: o AL (Alumínio) e o PU (Poliuretano), para análises de desempenho do material e tempos de fabrico.



Figura 4.21 - Brutos de maquinação (Poliuretano, Alumínio)

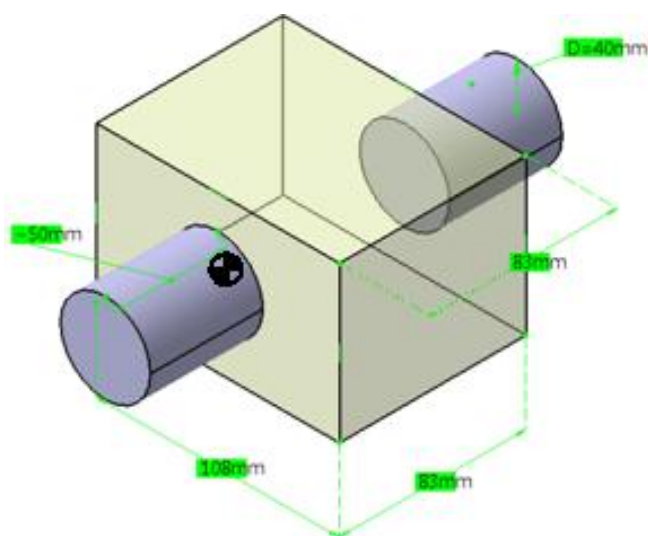


Figura 4.22 - Dimensões do bruto de maquinação e zero peça

4.3.5 - Características do material

Poliuretano

Foi escolhida uma placa de poliuretano maquinável, com uma excelente estabilidade dimensional e acabamento de superfície. O poliuretano pode ser facilmente maquinado, através da utilização de fresas, obtendo-se excelentes resultados na construção de protótipos (Rebelco, 2011). Na tabela 4.1 são apresentadas algumas propriedades do poliuretano.

Tabela4.1 - Propriedades do Poliuretano

Cor:	Castanho	
Densidade:	0,70	(ISO 845)
Dureza Shore D:	66	(ISO 868)
Resistência a flexão:	26 MPa	(ISO 178)
Modulo de flexão:	1000Mpa	(ISO 604)
Resistência a compressão:	25 MPa	(ISO 178)
Resistência ao impacto:	7 KJ/m ²	(ISO 179 Ue)
Temperatura de deformação sob carga:	90 °C	(ISO 75 B)
Coeficiente de dilatação térmica linear:	55 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹	(DIN 53 752)

Alumínio

O outro material escolhido foi o alumínio, porque tem boas propriedades mecânicas(Norsk Hydro ASA, 2011) (tabela 4.2), sendo desta forma possível a obtenção de modelos funcionais com boas características:

- Leve e com baixa densidade;
- Boa resistência;
- Elasticidade;
- Plasticidade;
- Fácil maquinação;
- Soldável;
- Resistente à corrosão;
- Não tóxico.

Tabela4.2 - Propriedades do Alumínio

Resistência/Tensão de rotura [MPa]	250
Ductibilidade/Alongamento [%]	15
Elasticidade/Módulo de Young [MPa]	70.000
Densidade [kg/m ³]	2.700
Ponto de fusão [°C]	660
Amplitude da temperatura de trabalho [°C]	-250150
Conductividade eléctrica [m/Ohm-mm ²]	29
Conductividade térmica [W/m C]	200
Coefficiente de expansão linear [x10 ⁻⁶ / °C]	24

4.3.6 - Ferramentas utilizadas

Na tabela 4.3 são apresentadas as ferramentas a utilizar, bem como suas principais características.

Tabela4.3- Lista de ferramentas utilizadas

Item	Tipo de Ferramenta	Ø [mm]	L1 [mm]	L2 [mm]	Rc
1	Fresa pastilhas	16	100	10	0,8
2	Fresa de topo	10	70	40	0
3	Broca de pontos	2	30	15	-
4	Broca	10,5	60	40	-
5	Broca	7,1	60	40	-
6	Broca	6	60	40	-
7	Broca	4,2	60	40	-
8	Broca	3,3	60	40	-

4.3.7 - Pós-processamento

Após o pós-processamento obteve-se o seguinte programa de maquinação:

```

N10 : G90G71A0
N20 T1M6
N30 G0G90X47.202Y-70.912S6000M3
N40 Z50.M8
N50 A-90.

      ;Movimento Rápido;
N60 Z41.625
N70 G1Z36.625F2000.
N80 X47.203Y-70.902Z36.377
N90 X47.206Y-70.872Z36.131
N100 X47.212Y-70.821Z35.889
N110 X47.219Y-70.751Z35.651
N120 X47.228Y-70.661Z35.42
N130 X47.239Y-70.553Z35.197
N140 X47.252Y-70.426Z34.984
N150 X47.267Y-70.283Z34.782

(...)
N940 Y46.141Z4.013
N950 Y46.019Z4.223
N960 Y45.914Z4.442
N970 Y45.827Z4.669
N980 Y45.759Z4.903
N990 Y45.71Z5.141
N1000 Y45.681Z5.382
N1010 Y45.671Z5.625

```

```
N1020 Z6.625 ;Interpolação Linear;  
N1030 G0Z150. ;Movimento Rápido;  
N1040 M2
```

4.3.8 - Construção do protótipo

A construção do protótipo, tal como foi dito anteriormente, terá uma sequência de rotações no eixo A para que sejam maquinadas todas as faces do modelo. É importante relembrar que este estudo pressupõe a utilização de um único aperto de forma a reduzir o número de operações na preparação de trabalho. De seguida, são descritas as várias fases de trabalho, bem como o ângulo de rotação do trabalho.

Na Figura 4.23 é apresentado todo o desbaste do bruto de maquinação com uma fresa de 17 mm de diâmetro, deixando 1 mm de espessura para o acabamento. Nas figuras seguintes (Fig 4.24, 4.25 e 4.26) a mesma operação é repetida em todas as faces, nomeadamente para as posições: 90°, 180°, 270°. Após o desbaste utilizou-se uma fresa de 10 mm para fazer os acabamentos necessários e, posteriormente, as brocas, representadas na tabela 4.3, para as diversas furações. Na superfície boleada, foi utilizada uma fresa de topo raso com a utilização do 4º eixo rotativo, em movimento contínuo.

No final utilizou-se uma fresa de 3mm para cortar as extremidades que fixavam o bloco ao 4º eixo (Fig 4.27), e a peça acaba por cair por gravidade.

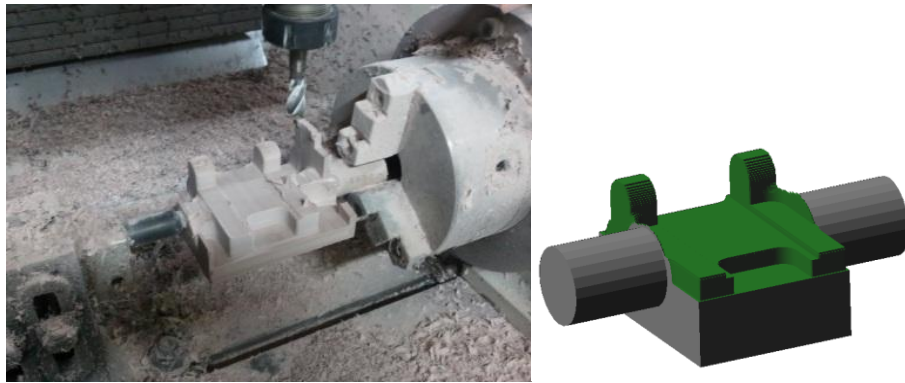


Figura 4.23 - Maquinação da posição 0°

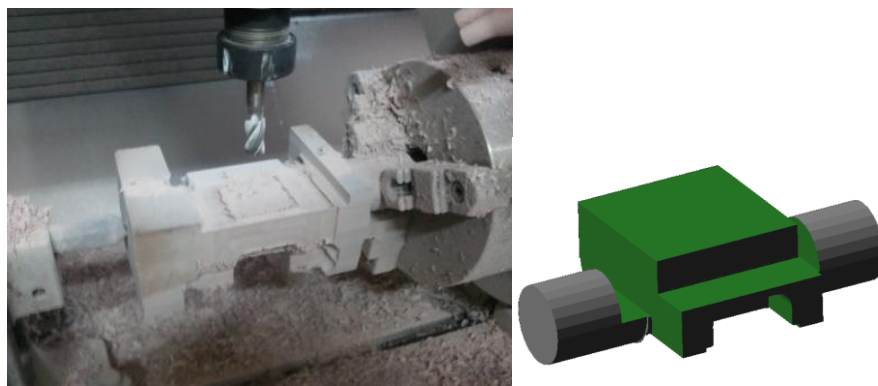


Figura 4.24 - Maquinação da posição 180°

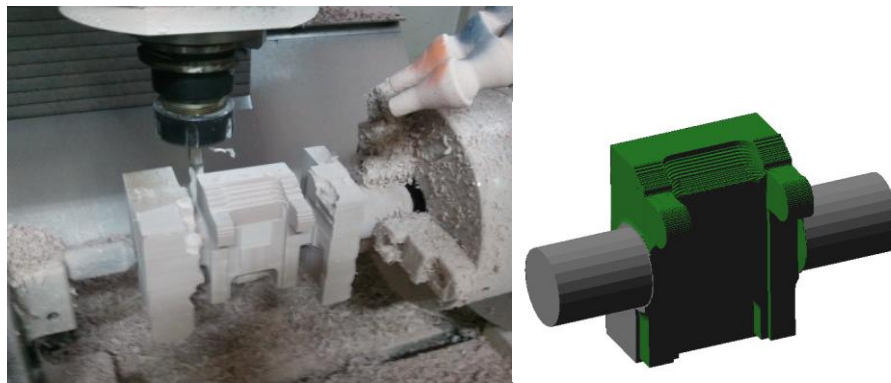


Figura 4.25 - Maquinação da posição 90°

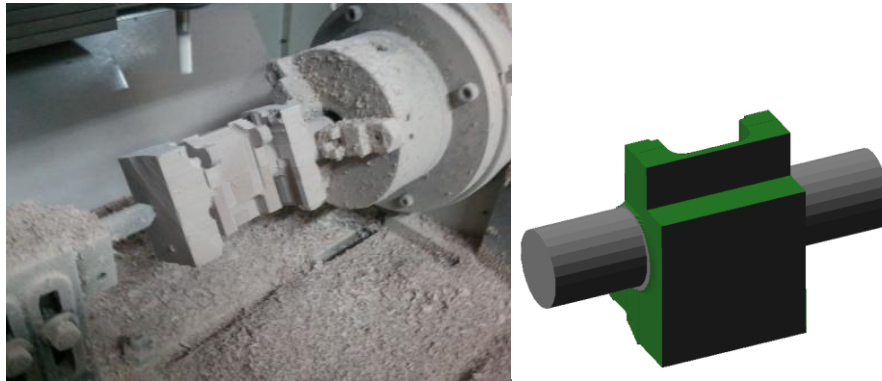


Figura 4.26- Maquinação da posição 270°



Figura 4.27 - Corte dos topos

4.3.9 - Conclusão do caso de estudo

Após a maquinação deste modelo concluiu-se, uma vez mais, a utilidade do uso de um 4º eixo na redução do número de apertos. Foi possível realizar, neste exemplo, todas as operações necessárias, escolhendo para isso a fixação mais favorável, o que permitiu a maquinação integral de todas as suas complexidades, uma vez que não existiria outro modo de fixação no 4º eixo que tornasse possível a realização desta peça. Este estudo de caso é inovador pelo facto de se tratar de uma maquinação com recurso a um 4º eixo contínuo, o que permite algumas vantagens em relação ao modo indexado. Porém, no capítulo de análise de resultados serão referidas todas as melhorias face a outros estudos realizados.

Capítulo 5

Análise de resultados

Este capítulo é dedicado à análise de resultados, sendo apresentados os valores dos vários testes efetuados nos diferentes materiais utilizados. Estes valores serão comparados com os valores fornecidos pela empresa MPSA e estudados graficamente, de forma a elucidar possíveis soluções de melhoria na redução de tempo.

A Figura 5.1 representa o protótipo de poliuretano, após a maquinação final.



Figura 5.1- Protótipo final em PU (Poliuretano)

5.1. Dificuldades encontradas

Algumas das dificuldades encontradas prenderam-se com a preparação dos blocos de material, devido à necessidade de criar suportes circulares que permitissem a fixação dos blocos nas buchas concêntricas (Fig 5.2). Para a realização desta operação foi despendido bastante tempo, comprometendo um dos objetivos principais (redução de “tempo de setup”).



Figura 5.2 - Preparação dos suportes circulares

Em relação ao aperto do bloco na bucha centrante, o Al não apresenta qualquer problema, já o PU, devido à sua constituição, sofreu um esmagamento nos topos de apoio (Fig 5.3), criando um desalinhamento entre o 4.º eixo e o ponto. Esta situação deveu-se ao facto do ponto não ser colinear com o eixo da bucha. Com isto, entendeu-se que se existe esmagamento do material, o eixo do mesmo deixará de estar alinhado, ficando o apoio do ponto alinhado com a direção da extremidade do bloco resultante do esmagamento. Na Figura 5.4 é demonstrada, de uma forma exagerada, esta situação.

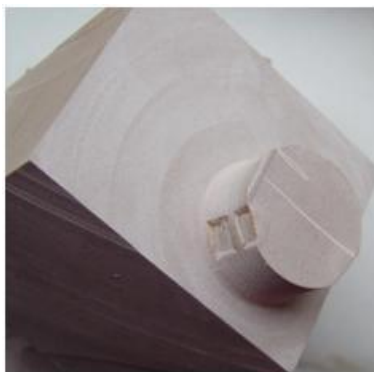


Figura 5.3 - Esmagamento do PU (Poliuretano) nos topos do bloco
(Adaptado de R, Cavaleiro 2010)

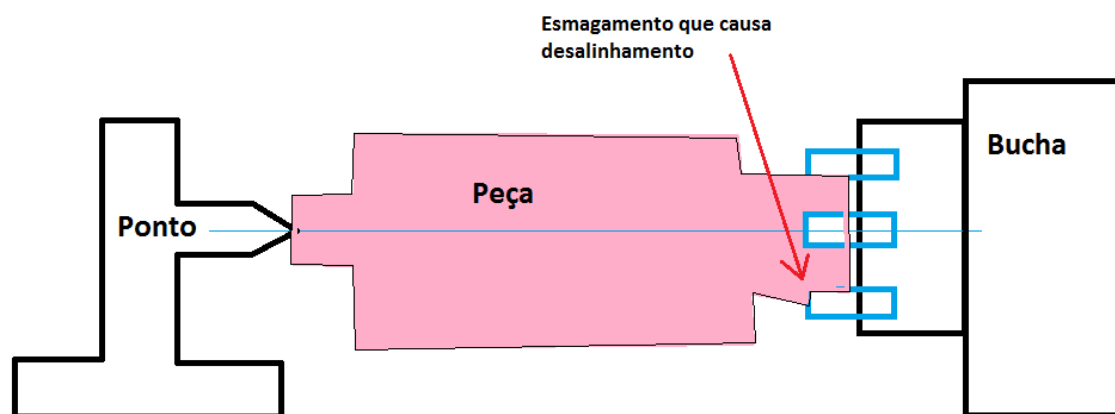


Figura 5.4 - Desalinhamento devido ao esmagamento

5.2. Resultados obtidos

Numa primeira análise serão referidas as técnicas de trabalho adotadas pela MPSA, bem como as técnicas adotadas durante esta dissertação. Serão tomados em consideração vários factores, tais como: o número de apertos, o número de ferramentas e as operações utilizadas.

Por se tratar de um eixo rotativo, a inovação do método proposto mostra logo à partida uma redução de 80% no número de apertos, uma vez que para realizar a peça pretendida seriam necessários 5 apertos (tabela 5.1).

Tabela5.1 – Tabela de operações

	MPSA	Protótipo
Nº Apertos	5	1
Nº Ferramentas	8	8
Nº Operações	28	22

Através do gráfico de operações é visível uma redução substancial do número de operações, contudo o número de ferramentas não sofreu qualquer alteração (Fig 5.5).

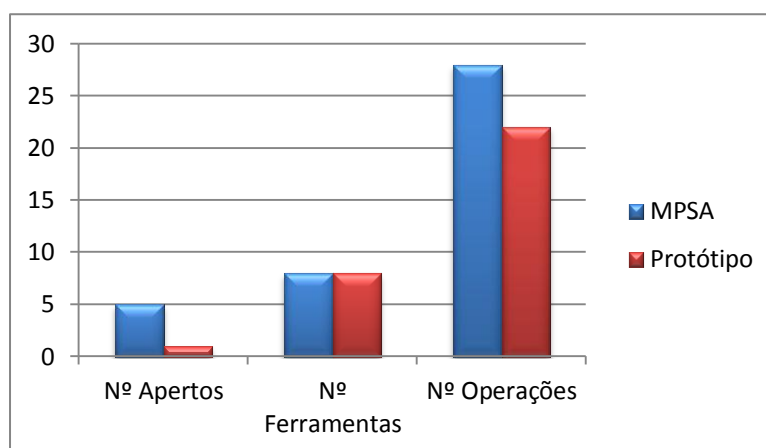


Figura 5.5 - Gráfico de operações

A análise mais importante deste estudo é referente ao quadro de tempos (tabela 5.2), onde são descritos os tempos de todas operações auxiliares.

Para que o estudo tenha mais conteúdo de análise, procedeu-se ao estudo em dois materiais distintos: Alumínio e o Poliuretano (tabela 5.2).

Tabela5.2 – Quadro de tempos

		MPSA	Prot. (PU)	Pro t. (Al)
Tempos [min]	Zero peça	10	2	2
	Mudança ferramenta	2	1	1
	Fixação do bloco	25	5	5
	Preparação do bloco	3	10	20
	Maquinação/Acabamento	172	30	100
	Tempo total	212	48	128

Analisando linha a linha a tabela 5.2, onde todos os valores descritos são apresentados em minutos, pode afirmar-se que o tempo despendido para a definição do ponto de referência (zero peça) reduziu cerca de 80% em relação ao despendido pela MPSA. Esta situação deve-se ao facto de existir somente um ponto de referência “zero” associado ao eixo rotativo, ao contrário do método realizado pela empresa, que devido ao número de apertos, toma valores mais elevados, uma vez que cada aperto tem a duração de 2 minutos.

No que se refere à mudança de ferramenta, pode observar-se que a variação não

é assim tão significativa. Para a empresa foram necessários 2 minutos para realizar todas as mudanças de ferramentas, sendo este valor o dobro do tempo utilizado nos protótipos. Esta diferença resulta do número de operações utilizadas em ambos os processos.

A fixação do bruto de material foi a operação onde se verificou uma redução mais drástica em termos de tempo despendido. Uma vez mais, a causa deste resultado é devido ao 4º eixo, onde é utilizado apenas um aperto. Tendo em conta que a mesma técnica de fixação é utilizada em ambos os processos, será fácil perceber que a diferença resulta da multiplicação do número de apertos pelo tempo despendido na fixação do bloco.

A preparação do bruto de material é a operação onde este processo acaba por despendar mais tempo, pois a necessidade de preparar o bloco para a fixação numa bucha concêntrica leva a um aumento de tempo considerável. Pode então observar-se no gráfico da Figura 5.6 que o protótipo de PU apresenta um valor de 10 minutos e o protótipo de AL um valor de 20 minutos. Esta diferença de tempos resulta da melhor maquinabilidade que o PU apresenta sobre o AL.

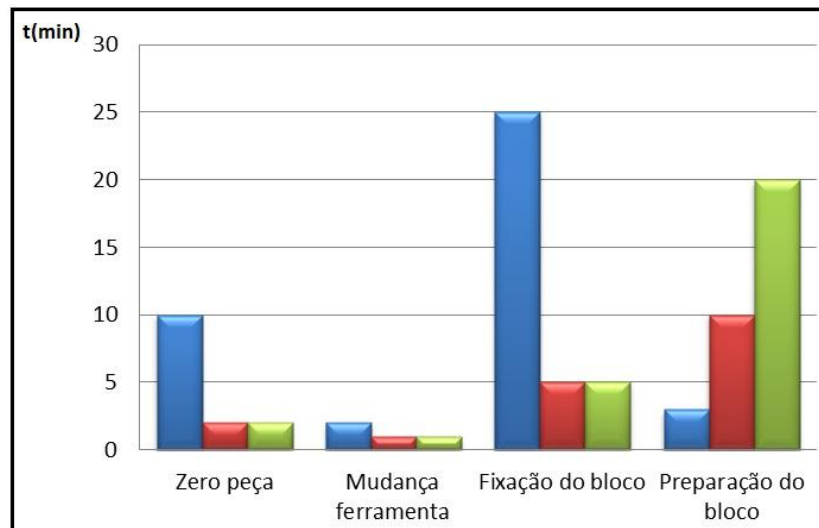


Figura 5.6 - Gráfico do tempo de Setup

■ MPSA **■ PU** **■ AL**

Analisando os valores de tempo nas operações de maquinação, é visível no

gráfico da Figura 5.7, que a MPSA precisou de 170 minutos para a realização do modelo em estudo. Já nesta dissertação foram obtidos dois resultados diferentes na realização dos protótipos: 100 minutos para realização do modelo em AL e 30 minutos para o PU, mas ambos inferiores ao praticado pela empresa.

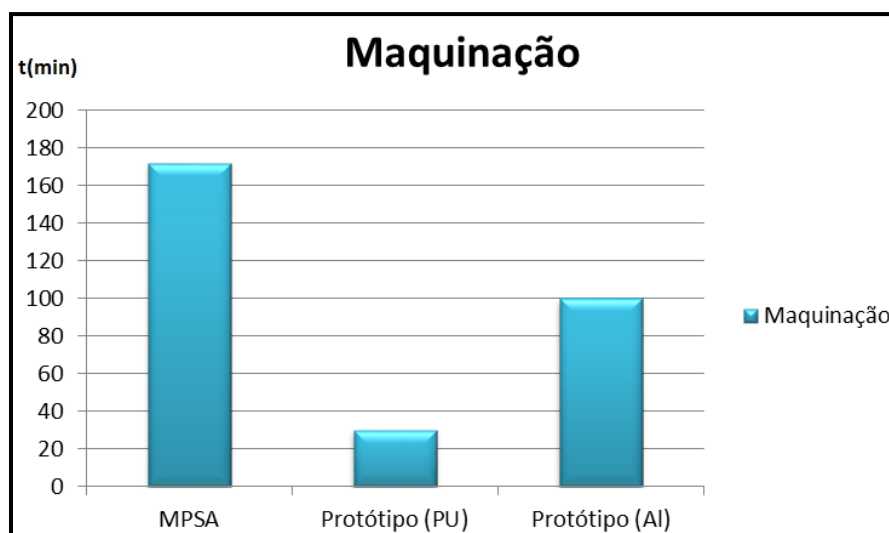


Figura 5.7 - Gráfico do tempo total de maquinação

Numa avaliação global, e recorrendo ao gráfico da Figura 5.8, podemos concluir que o tempo despendido para a realização dos modelos é diversificado. Verifica-se que a MPSA necessitou de um total de 212 minutos para realização da peça, incluindo tempos de setup, maquinação e acabamento. Já os protótipos apresentam, no caso do AL, um total de 128 minutos e no caso do PU 48 minutos, mostrando claramente uma redução de cerca 25% a 75%, respectivamente.

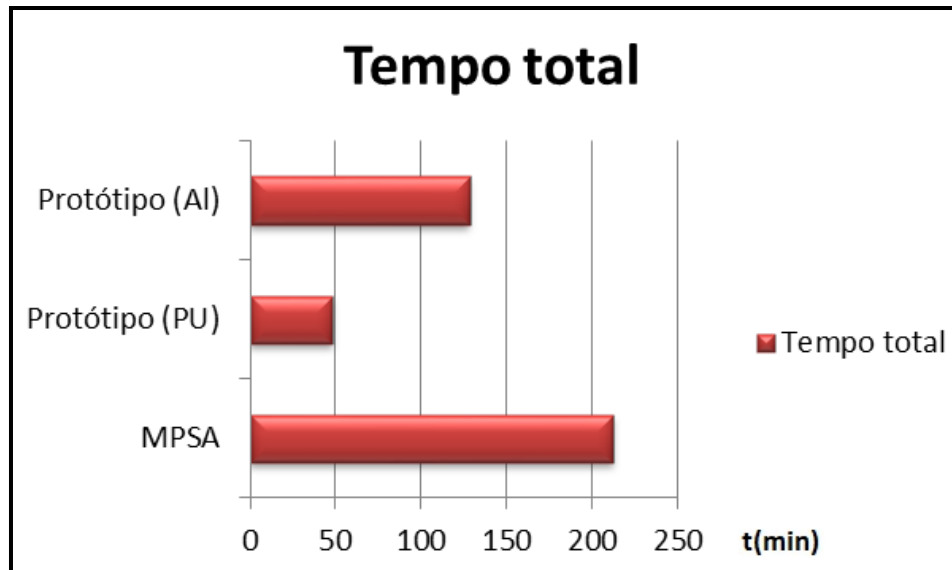


Figura 5.8 - Tempo total para realização da peça

Capítulo 6

Conclusões e trabalhos futuros

Esta dissertação foi realizada com o intuito demonstrar as potencialidades da maquinação multi-eixo (com mais de 3 eixos), recorrendo a um 4º eixo rotativo contínuo. Apesar de parte desta tese já ter sido defendida por outros dois autores, nomeadamente Frank Matthew em 2005 (Petrzelka & Frank, 2010) e, posteriormente, por Rui Cavaleiro em 2010 (Cavaleiro, 2010), com o mesmo 4º eixo, mas de uma forma indexada, o autor desta dissertação defende que, utilizando o mesmo 4º eixo, mas de uma forma contínua, será possível reduzir o tempo de maquinação e realizar operações impossíveis de concretizar com o recurso ao eixo indexado.

Embora já existisse um pós-processador que permitia a sincronização de movimentos dos 4 eixos (X,Y,Z e A), foi necessário proceder à correção de um pós-processador Fanuc que apresentava uma grande semelhança ao nível de Output, mas com uma necessidade considerável na reprogramação. Utilizando os recursos necessários, chegou-se ao pós-processador pretendido, o que permitiu a realização deste estudo.

Frank Matthew (Petrzelka & Frank, 2010) e Rui Cavaleiro (Cavaleiro, 2010) justificaram que é possível realizar peças com o auxílio de um 4º eixo, reduzindo o número de apertos e, por conseguinte, o tempo de setup. Mas, o uso de um eixo indexado limita a utilização de certas ferramentas na realização de determinados componentes, nomeadamente em situações como a que é apresentada na Figura 4.10.

Com o eixo contínuo, foi possível proceder à realização de superfícies côncavas e convexas limitadas por cantos vivos, através do auxílio de fresas de topo raso perpendiculares à face de trabalho. Deste modo, o raio de concordância deixado pela ferramenta de ponta esférica foi eliminado.

Concluiu-se também que, através de um 4º eixo rotativo, é possível obter protótipos recorrendo ao método da prototipagem rápida subtrativa, agora com a

possibilidade de trabalhar superfícies convexas com fresas de topo, orientadas perpendicularmente à superfície de trabalho. Esta possibilidade permite produzir componentes que apresentam geometrias muito complexas.

No caso prático da peça fornecida pela MPSA, é demonstrado em termos de valores de tempo, a aplicação do método de Frank Matthew (Petrzelka & Frank, 2010), justificando uma redução de “tempo de setup” e uma redução do número de operações de maquinação. A utilização de dois tipos de material permitiu obter dois valores de percentagem na redução de tempo, verificando-se 25%, no caso do AL, e 75% no caso do PU. Este último obteve valores superiores devido à possibilidade de se poder trabalhar com valores de velocidades mais elevadas. Contudo, a aplicação deste material será adequado somente para a realização de protótipos visuais, uma vez que a sua resistência mecânica não permite resistir a tensões elevadas.

Uma desvantagem encontrada neste estudo prende-se com a preparação dos brutos de maquinação que, devido à realização de apoios para fixação, vem aumentar o tempo de produção, o que se reflete no tempo total. Outra desvantagem observada refere-se à impossibilidade da maquinação da face paralela à face do 4.º eixo, onde não é permitida qualquer operação além do contorno lateral, uma vez que a orientação da ferramenta nunca é perpendicular a essa face.

Como conclusão final, pode afirmar-se que através da maquinação multi-eixo é possível reduzir o “tempo de setup”, através de um único aperto, permitindo assim às máquinas de CNC aproximarem-se do desempenho de funções de máquinas de prototipagem rápida, na realização de protótipos.

6.1. Sugestão para trabalhos futuros

Apresentam-se seguidamente diferentes propostas de desenvolvimento do tema iniciado com esta dissertação.

1ª proposta) A maquinação com recurso a um eixo rotativo num único aperto é limitada à maquinação das faces que estão em torno do eixo A. Uma vez que existem acessórios que permitem

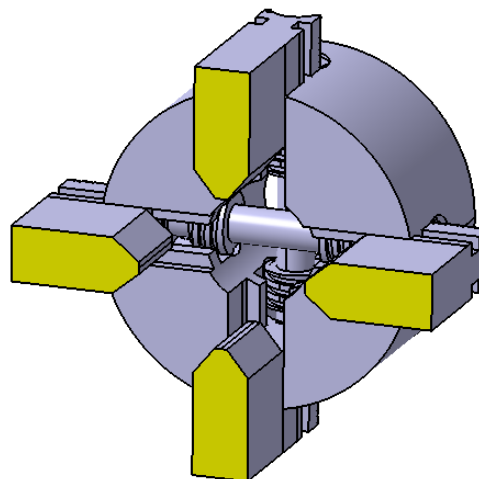


Figura 6.1- Bucha concêntrica de grampos pares

trabalhar com turbinas movidas a ar comprimido, anulando a rotação do eixo C do porta-ferramentas, uma sugestão seria criar na mesma metodologia de ar comprimido um dispositivo que permitisse realizar operações perpendiculares à face paralela ao eixo de rotação.

2ª proposta) A criação de uma bucha concêntrica de grampos pares (Fig 6.1) seria uma mais valia para a fixação rápida de blocos de secção retangular, uma vez que a criação desta bucha levaria à eliminação da fase de preparação dos topos redondos para fixação no 4.º eixo e, desta forma, seria reduzido em cerca de 95% o “tempo de setup”.

3ª proposta) Seria pertinente um estudo referente ao desgaste das ferramentas e ao estado de superfície dos materiais maquinados, uma vez que nesta dissertação foram usados novos métodos de trabalho nomeadamente o uso de fresas de topo raso em superfícies pouco convencionais como as superfícies convexas. Neste tipo de maquinação onde a ferramenta se encontra perpendicular a superfície, a zona de contacto incide particularmente na zona central do topo da ferramenta, originando supostamente um maior desgaste na zona afetada.

4ª proposta) No âmbito da proposta anterior, seria também muito interessante fazer uma análise dos resultados se fosse possível controlar o ângulo de inclinação do eixo da ferramenta, relativamente à direcção normal das superfícies maquinadas, controlando também a zona de contacto da aresta de corte da ferramenta com o material a cortar.

5ª proposta) Para a realização deste trabalho foi abordado o novo método de transmissão, o STEP-NC. Apesar de ser uma área onde se verificaram grandes evoluções tecnológicas, este método não foi analisado exhaustivamente, pelo que um estudo aprofundado sobre este processo seria uma mais-valia.

Referências Bibliográficas

Cavaleiro, R. A. (2010). Metodologia para a selecção de funções de maquinaria em sistemas CAD/CAM, para operações de fresagem multi-eixos. Lisboa: INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA - Departamento de Engenharia Mecânica. (Tese de Mestrado)

Completo, A., Festas, A., & Davim, J. P. (2009). Tecnologias de Fabrico. Porto: Publindústria.

Luiz, A. (2008). Mundo CNC. Obtido em 22 de 10 de 2010, de www.mundocnc.com.br: <http://www.mundocnc.com.br/historico.php>

Norsk Hydro ASA. (2011). Obtido em 24 de Julho de 2011, de <http://www.hydro.com/en/>

Petrzelka, J. E., & Frank, M. C. (2010). Advanced process planning for subtractive rapid prototyping. 16(Rapid Prototyping Journal).

Rebelco. (2011). Rebelco Lda. Obtido em 24 de Julho de 2011, de <http://www.rebelco.pt/index.html>

Relvas, C. (2002). Controlo Numérico Computorizado. Porto: Publindústria, Produção de Comunicação, Lda.

Smid, P. (2008). CNC Programming Handbook. New York: Industrial Press Inc.

Stenerson, J., & Curran, K. (2007). Computer Numerical Control. New Jersey: Pearson Prentice Hall.

Stools, S. (Agosto de 2006). Step NC. Obtido em 15 de Novembro de 2010, de Step Tools: <http://www.steptools.com/library/stepnc/>

X.W. Xu, Q. H. (2004). Striving for a total integration of CAD, CAPP, CAM and CNC. New Zealand: Elsevier Ltd.

Bibliografia

AZEVEDO, Américo Luiz - Os Primórdios do controle numérico [online] Disponível em <http://www.mundocnc.com.br/historico.php> (Acesso: 15-06-2010).

CHEN, Y.H., LEE, Y.S. e FANG, S.C. - Optimal cutter selection and machining plan determination for process planning and NC machining of complex surfaces, *Journal of Manufacturing Systems*. p. 371-388, 1998.

FRANK, Matthew C. - Subtractive Rapid Prototyping: Creating a Completely Automated Process for Rapid Machining, *Rapid Prototyping: Theory and Practice*. Springer, 2005. ISBN: 0-387-23290-7

International Manufacturing Conference – IMC-19. Queen’s University Belfast – N. Ireland. 2002.

KANG, Jae-Kwan e SUH, Suk-Hwan - Machinability and Set-up Orientation for Five-axis Numerically Controlled Machining of Free Surfaces. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol. 13, p.311-325. 1997

MARCIANO, João Paulo P. Introdução ao Controle Numérico. 09/19/2007 [online] Disponível em <http://www.ebah.com.br/cnc-pdf-a559.html>. (Acesso em: 08-09-2010)

RAUCH, Matthieu; LAGUIONIE, Raphael e HASCOET, Jean-Yves - Achieving a STEP-NC Enabled Advanced NC Programming Environment - *Advanced Design and Manufacturing Based on STEP*, p. 197-214, 2009

RELVAS, Carlos Controlo Numérico Computadorizado – Conceitos fundamentais. *Publindústria* 2002. ISBN: 972-95794-6-6.

SAASKI, Juha; SALONEN, Tapio & PARO, Jukka - Integration of CAD, CAM and NC with Step-NC. *Riskien hallinta verkottuneessa tuotannossa*. Junho 2005 ISBN 951-38-6580-0

SUH, S. H.; LEE, B. E.; CHUNG, D. H. & CHEON, S. U. 2003. Architecture and implementation of a shop-floor programming system for STEP-compliant CNC. *Computer-Aided Design*. Vol. 35, p. 1069-1083.

SUH, S.-H.; LEE, J.-J. e KIM S.-K. - Multiaxis Machining with Additional-Axis NC System: Theory and Development. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol.14 p. 865-875. 1998

XU, X.; KLEMM, P.; PROCTOR F. e SUH, S. H. - STEP-compliant process planning and manufacturing. International Journal of Computer Integrated Manufacturing. Vol. 19, Nº. 6, p. 491 – 494. Setembro 2006

YE, X.; LIU, H.; CHEN, L.; CHEN, Z.; PAN, X. e ZHANG S. Reverse innovative design - an integrated product design methodology .CAD Computer Aided Design, p. 812-827. 2008;

Anexo I

Programa MPFAN Original

Este anexo contém o pós-processamento inicial e a sublinhado os campos incompatíveis com o tipo de linguagem aceite pela máquina em estudo.

```
%  
O0000  
(PROGRAM NAME - MODELO ANÁLISE )  
(DATE=DD-MM-YY - 17-09-10 TIME=HH:MM - 23:00 )  
N100 G21  
N110 G0 G17 G40 G49 G80 G90  
( TOOL - 5 DIA. OFF. - 0 LEN. - 0 DIA. - 10. )  
( CONTORNO LATERAL )  
N120 T5 M6  
N130 G0 G90 G54 X5. Y-25. A0. S6000 M3  
N140 G43 H0 Z65. M8  
N150 Z45.  
N160 G1 Z21. F1000.  
N170 X-5. F1500.  
N180 G2 X-15. Y-15. R10.  
N190 G1 Y16.  
N200 G2 X-5. Y26. R10.  
N210 G1 X5.  
N220 G0 Z65.  
N230 M5  
N240 G91 G28 Z0. M9  
N250 G28 X0. Y0. A0.  
N260 M01  
( TOOL - 3 DIA. OFF. - 3 LEN. - 3 DIA. - 3. )  
( FURAÇÃO BOTTON )  
N270 T3 M6  
N280 G0 G90 G55 X-22.543 Y-6.972 A-180. S1000 M3  
N290 G43 H3 Z100. M8  
N300 G98 G83 Z10. R20. Q2. F300.  
N310 G80  
N320 M5  
N330 G91 G28 Z0. M9  
N340 G28 X0. Y0. A0.  
N350 M01  
( TOOL - 2 DIA. OFF. - 2 LEN. - 2 DIA. - 5. )  
( FURAÇÃO FRONT )  
N360 T2 M6
```

N370 G0 G90 G56 X13.834 Y.052 A90. S1500 M3
N380 G43 H2 Z100. M8
N390 G98 G83 Z10. R20. Q2. F300.
N400 G80
N410 M5
N420 G91 G28 Z0. M9
N430 G28 X0. Y0. A0.
N440 M01
(TOOL - 1 DIA. OFF. - 1 LEN. - 1 DIA. - 20.)
(MAQUINAÇÃO MULTI-EIXO COM 4º EIXO CONTÍNUO)
N450 T1 M6
N460 G0 G90 G57 X10. Y-15. A0. S6000 M3
N470 G43 H1 Z40. M8
N480 Z20.
N490 G1 Z15. F1000.
N500 Y4.593 Z15.078 A-.93 F57.
N510 Y4.637 Z15.097 A-1.154 F2000.
N520 Y4.722 Z15.161 A-1.884
N530 Y4.698 Z15.271 A-3.196
N540 Y4.569 Z15.397 A-4.75
N550 Y4.415 Z15.524 A-6.368
N560 Y4.256 Z15.647 A-8.001
N570 Y4.092 Z15.767 A-9.65
N580 Y3.923 Z15.884 A-11.315
N590 Y3.749 Z15.996 A-12.994
N600 Y3.57 Z16.104 A-14.688
N610 Y3.387 Z16.208 A-16.395
N620 Y3.199 Z16.307 A-18.116
N630 Y3.007 Z16.401 A-19.849
N640 Y2.811 Z16.489 A-21.594
N650 Y2.61 Z16.572 A-23.35
N660 Y2.407 Z16.65 A-25.116
N670 Y2.199 Z16.721 A-26.892
N680 Y1.987 Z16.786 A-28.68
N690 Y1.772 Z16.845 A-30.476
N700 Y1.556 Z16.898 A-32.277
N710 Y1.338 Z16.943 A-34.082
N720 Y1.118 Z16.982 A-35.894
N730 Y.897 Z17.014 A-37.709
N740 Y.674 Z17.039 A-39.529
N750 Y.45 Z17.057 A-41.351
N760 Y.225 Z17.068 A-43.175
N770 Y0. Z17.071 A-45.
N780 Y-.225 Z17.068 A-46.825
N790 Y-.45 Z17.057 A-48.649
N800 Y-.674 Z17.039 A-50.471
N810 Y-.897 Z17.014 A-52.291
N820 Y-1.118 Z16.982 A-54.106
N830 Y-1.338 Z16.943 A-55.918
N840 Y-1.556 Z16.898 A-57.723
N850 Y-1.772 Z16.845 A-59.524
N860 Y-1.987 Z16.786 A-61.32
N870 Y-2.199 Z16.721 A-63.108

N880 Y-2.407 Z16.65 A-64.884
N890 Y-2.61 Z16.572 A-66.65
N900 Y-2.811 Z16.489 A-68.406
N910 Y-3.007 Z16.401 A-70.151
N920 Y-3.199 Z16.307 A-71.884
N930 Y-3.387 Z16.208 A-73.605
N940 Y-3.57 Z16.104 A-75.312
N950 Y-3.749 Z15.996 A-77.006
N960 Y-3.923 Z15.884 A-78.685
N970 Y-4.092 Z15.767 A-80.35
N980 Y-4.256 Z15.647 A-81.999
N990 Y-4.415 Z15.524 A-83.632
N1000 Y-4.569 Z15.397 A-85.25
N1010 Y-4.699 Z15.271 A-86.806
N1020 Y-4.723 Z15.161 A-88.118
N1030 Y-4.636 Z15.096 A-88.859
N1040 Y-4.623 Z15.091 A-88.923
N1050 Y-4.594 Z15.078 A-89.071
N1060 Y15. Z15. A-90. F56.9
N1070 Z40. F4000.
N1080 M5
N1090 G91 G0 G28 Z0. M9
N1100 G28 X0. Y0. A0.
N1110 M01
(TOOL - 2 DIA. OFF. - 2 LEN. - 2 DIA. - 5.)
(FURAÇÃO TOPO)
N1120 T2 M6
N1130 G0 G90 G57 X9.135 Y-7.511 A0. S650 M3
N1140 G43 H2 Z100. M8
N1150 G98 G81 Z10. R20. F300.
N1160 G80
N1170 M5
N1180 G91 G28 Z0. M9
N1190 G28 X0. Y0. A0.
N1200 M01
(TOOL - 3 DIA. OFF. - 3 LEN. - 3 DIA. - 3.)
(FURAÇÃO BACK)
N1210 T3 M6
N1220 G0 G90 G54 X-10.374 Y-6.344 A0. S1500 M3
N1230 G43 H3 Z100. M8
N1240 G98 G83 Z10. R20. Q2. F300.
N1250 G80
N1260 M5
N1270 G91 G28 Z0. M9
N1280 G28 X0. Y0. A0.
N1290 M01
(TOOL - 4 DIA. OFF. - 4 LEN. - 4 DIA. - 4.)
(CONTORNO DO TOPO COM RECURSO ÀS FUNÇÕES G02 E G03)
N1300 T4 M6
N1310 G0 G90 G57 X10. Y-2.5 A0. S2000 M3
N1320 G43 H4 Z70. M8
N1330 Z50.
N1340 G1 Z16. F1000.

N1350 X14. F1200.
N1360 G3 X18. Y1.5 R4.
N1370 G1 Y17.
N1380 X22.
N1390 G3 X23. Y18. R1.
N1400 G1 Y27.
N1410 X32.
N1420 Y-17.
N1430 X23.
N1440 G2 X18. Y-12. R5.
N1450 G1 Y1.5
N1460 G3 X14. Y5.5 R4.
N1470 G1 X10.
N1480 G0 Z70.
N1490 M5
N1500 G91 G28 Z0. M9
N1510 G28 X0. Y0. A0.
N1520 M30

Anexo II

Alterações Pós-processador

Neste anexo estão identificadas todas as alterações que foram efectuadas no pós-processador original de forma a que este estivesse dentro dos parâmetros aceites pela máquina em estudo.

```

"(PROGRAM NAME - ", sprogrname$, ")", e$ <<<<<<< MUDANÇA DO TEXTO
  "(DATE=DD-MM-YY - ", date$, " TIME=HH:MM - ", time$, ")", e$
  pbld, n$, *smetric, e$
  pbld, n$, *sgcode, *sgplane, "G40", "G49", "G80", *sgabsinc, e$
  sav_absinc = absinc$
  if mi1$ <= one, #Work coordinate system
  [
    absinc$ = one
    pfbld, n$, sgabsinc, *sg28ref, "Z0.", e$
    pfbld, n$, *sg28ref, "X0.", "Y0.", e$
    pfbld, n$, "G92", *xh$, *yh$, *zh$, e$
    absinc$ = sav_absinc
  ]
  pcom_moveb
  c_mmlt$ #Multiple tool subprogram call
  ptoolcomment
  comment$
  pcan
  if stagetool >= zero, pbld, n$, *t$, "M6", e$
  pindex
  if mi1$ > one, absinc$ = zero
  pcan1, pbld, n$, *sgcode, *sgabsinc, pwcs, pfxout, pfyout,
  pfcout, *speed, *spindle, pgear, strcantext, e$
  pbld, n$, "G43", *tlngno$, pfzout, scoolant, next_tool$, e$
  absinc$ = sav_absinc
  pcom_movea
  toolchng = zero
  c_msng$ #Single tool subprogram call

```

<<<<<< RETIRAR AS 3 PRIMEIRAS LINHAS DO PROGRAMA

```

if mi1$ <= one, #Work coordinate system
[
  absinc$ = one
  pfbld, n$, sgabsinc, "G28", "Z0.", e$

```

```

pfbld, n$, "G28", "X0.", "Y0.", e$
pfbld, n$, "G92", *xh$, *yh$, *zh$, e$
absinc$ = sav_absinc
]

```

*sgdrhref, G99 **«««« ELIMINAR G99**

fmt Q 2 peck1\$ #First peck increment (positive) **««««ALTERAR Q > R**

fmt R 2 refht_a #Reference height **««««ALTERAR R >**

W

««««RETIRAR G99 DO CICLO G83

```

ppeck$            #Canned Peck Drill Cycle
pdrcommonb
pcan1, pblld, n$, »*sgdrhref,« *sgdrill, pxout, pyout, pzfout, pcout,
prdrout, *peck1$, *feed, strcantext, e$
pcom_movea

```

««««ACRESCENTAR J13 CICLO G83

```

prdrout, »"J13"«, *peck1$, *feed, strcantext, e$

```

««««ALTERAÇÃO DO CARATER DE INTRODUÇÃO DE COMENTÁRIOS

substituição de "(" **«««« ";" NAS SEUINTES EXPRESSÕES**

```

#Default paren strings
sopen_prn    "("
sclose_prn    ")"

```

```

"(PROGRAM NAME - ", sprogrname$, ")", e$
"(DATE=DD-MM-YY - ", date$, " TIME=HH:MM - ", time$, ")", e$
sav_absinc = absinc$
if mi1$ <= one, #Work coordinate system

```

««««ALTERAÇÃO DO CARACTER "R" PARA "P"

```

#Address string definitions
strm    "M"
strn    "N"
stro    "O"
strp    "P"
srad    "R"            »» "R"
srminus "R-"
sblank

```

«««« ATRIBUIÇÃO DE COMENTÁRIOS AS FUNÇÕES G

prapidout #Output to NC of linear movement - rapid
 pcan1, pblld, n\$, sgplane, `sgcode, sgabsinc, pccdia,
 pxout, pyout, pzout, pcout, strcantext, scoolant,

":MOVIMENTO RÁPIDO;"; E\$

plinout #Output to NC of linear movement - feed
 pcan1, pblld, n\$, sgfeed, sgplane, `sgcode, sgabsinc, pccdia,
 pxout, pyout, pzout, pcout, feed, strcantext, scoolant,

":INTERPOLAÇÃO LINEAR;"; E\$

pcirout #Output to NC of circular interpolation
 pcan1, pblld, n\$, `sgfeed, sgplane, sgcode, sgabsinc, pccdia,
 pxout, pyout, pzout, pcout, parc, feed, strcantext, scoolant,

":INTERPOLAÇÃO CIRCULAR;"; E\$

«««« ELIMINAR O CÓDIGO G43

pblld, n\$, "G43", *tlngno\$, pfzout, scoolant, next_tool\$, e\$

«««« INTRODUÇÃO DE COMENTÁRIO NA MUDANÇA DE FERRAMENTA E ELIMINAÇÃO DE PARAGEM TEMPORÁRIA

ptlchg\$ #Tool change
 pcuttype
 toolchng = one
 if mi1\$ = one, #Work coordinate system
 [
 pfbld, n\$, e\$
 pfbld, n\$, "G92", *xh\$, *yh\$, *zh\$, e\$
]
 pblld, n\$, "M01", e\$

«««« PARAGEM TEMPORÁRIA

(M1)

pcom_moveb
 c_mmlt\$ #Multiple tool subprogram call
 ptoolcomment
 comment\$
 pcan
 result = newfs(15, feed) #Reset the output format for 'feed'
 "
 pblld, n\$, *t\$, "M6", e\$
 pindex
 sav_absinc = absinc\$
 if mi1\$ > one, absinc\$ = zero
 pcan1, pblld, n\$, *sgcode, *sgabsinc, pwcs, pfxout, pfyout,
 pfcout, *speed, *spindle, pgear, strcantext, e\$
 pblld, n\$, pfzout, scoolant, next_tool\$, e\$
 absinc\$ = sav_absinc

;«««« MUDANÇA DE FERRAMENTA;"; E\$

```
pcom_movea
toolchng = zero
c_msng$ #Single tool subprogram call
```

«««« ADICIONAR A VARIÁVEL QUE REPRESENTA A SUPERFÍCIE DE TRABALHO NO CICLO DE FURACÃO

```
fmt K 2 peck1$ #First peck increment (positive)
fmt Q 2 shftdrl$ #Fine bore tool shift
fmt W 2 refht_a #Reference height
fmt R 2 refht_i #Reference height
fmt R 2 tosz$ #Top of Stock
```

««««1º

```
pdrllcommonb #Canned Drill Cycle common call, before
if sav_dgcode = 81,
[
result = newfs (two, zinc)
if drillcyc$ = three, drlgsel = fsg1(-ss$) + drillcyc$ * two
else, drlgsel = fsg2(dwell$) + drillcyc$ * two
if initht$ <> refht$, drillref = zero
else, drillref = one
prv_refht_a = c9k
prv_tosz = c9k
prv_refht_i = c9k
prv_dwell$ = zero
prv_shftdrl$ = zero
]
if cuttype = three, sav_dgcode = gcode$
else, z$ = depth$
if cuttype = one, prv_zia = initht$ + (rotdia$/two)
else, prv_zia = initht$
pcom_moveb
feed = fr_pos$
comment$
pcan
#5 axis must map the true Z, correct Z calculation here
if cuttype = three,
[
prv_zia = zabs + (-depth$) + initht$
zia = fmtrnd(zabs)
zinc = zia - prv_zia
]

```

««««2º

```
pdrill$ #Canned Drill Cycle
pdrllcommonb
pcan1, pblld, n$, *sgdrill, pxout, pyout, pfzout, pcout,
prdlout, *tosz$, *peck1$, *feed, strcantext, e$
```

«««« 3º ADICIONAR *TOSZ\$

«««« CRIAR UMA LINHA EM BRANCO

```
" ", e$ # Blank line
```

««« ACRESCENTAR N\$, PCOUT, E\$ (ATRIBUIO NUMERO da

linha e adiciona a rotação A se necessário)

pcan1, pblld, n\$, *sgdrill, pxout, pyout, pfzout, pcout, **««RETIRAR PCOUT**
(ROTAÇÃO DO A)

prdrout, *tosz\$, *feed, strcantext, e\$ **«««ACRESCENTAR *TOSZ\$**
(REFERÊNCIA DO TOPO)

```
pcom_movea
# Cincinnati 'Chip Breaking' parameters...
# J1 or J11 used to break chips
# J2 or J11 rapids the drill to 'just below' the work surface
# J3 or J13 rapids the drill to the 'clearance plane'
#
# J1,J2, J3 are 'variable peck depth' options
# Drill feeds by 3x the peck depth for the 1st plunge
# increment, then 2x for the 2nd increment, then by the
# peck depth for the remaining increments.
#
# J1 = variable peck depth, chip breaking
# J2 = variable peck depth, short retract chip clearance
# J3 = variable peck depth, retract to clearance plane
# J11 = fixed peck depth, chip breaking
# J12 = fixed peck depth, short retract chip clearance
# J13 = fixed peck depth, retract to clearance plane
```

Anexo III

Programa corrigido

No anexo III é possível visualizar que, após a alteração do pós-processador original com os parâmetros correctos, foi possível obter um programa compatível com o tipo de controlador usado pela máquina.

```

;MSG, NOME DO PROGRAMA = MODELO ANÁLISE ;
;MSG, DATA=DD-MM-AA - 17-09-10   HORA=HH:MM - 21:21 ;
;MSG, FERRAMENTA Nº 5 DIÂMETRO [mm]. - 10.;

;MSG, CONTORNO LATERAL;
N10 : G90 G71 A0
N20 T5 M6
N30 G0 G90 X5. Y-25. S6000 M3
N40 Z65. M8

;Movimento
Rápido;
N50 Z45.

;Interpolação
Linear;
N60 G1 Z21. F1000.

;Interpolação
Linear;
N70 X-5. F1500.

;Interpolação
Circular;
N80 G2 X-15. Y-15. P10.

;Interpolação
Linear;
N90 G1 Y16.

;Interpolação
Circular;
N100 G2 X-5. Y26. P10.

;Interpolação
Linear;
N110 G1 X5.

;Movimento
Rápido;
N120 G0 Z65.

```

```

;MSG, FERRAMENTA Nº 3 DIÂMETRO [mm]. - 3.;

;MSG, FURAÇÃO BOTTON;
N130 T3 M6 ;Mudança de
Ferramenta;
N140 G0 G90 X-22.543 Y-6.972 S1000 M3
N150 Z100.
N160 A90.
N170 G83 Z10. W20. R15. K2. J13 F300.
N180 G80

;MSG, FERRAMENTA Nº 2 DIÂMETRO [mm]. - 5.;

;MSG, FURAÇÃO FRONT;
N190 T2 M6 ;Mudança de
Ferramenta;
N200 G0 G90 X13.834 Y.052 S1500 M3
N210 Z100.
N220 A180.
N230 G83 Z10. W20. R15. K2. J13 F300.
N240 G80

;MSG, FERRAMENTA Nº 1 DIÂMETRO [mm]. - 20.;

;MSG, MAQUINAÇÃO MULTI-EIXO COM 4º EIXO CONTÍNUO;
N250 T1 M6 ;Mudança de
Ferramenta;
N260 G0 G90 X10. Y-15. S6000 M3
N270 Z40.

;Movimento
Rápido;
N280 Z20. A270.

;Interpolação
Linear;
N290 G1 Z15. F1000.

;Interpolação
Linear;
N300 Y4.593 Z15.078 A269.07 F57.

;Interpolação
Linear;
N310 Y4.637 Z15.097 A268.846 F2000.

;Interpolação
Linear;
N320 Y4.722 Z15.161 A268.116

;Interpolação
Linear;
N330 Y4.698 Z15.271 A266.804

;Interpolação
Linear;
N340 Y4.569 Z15.397 A265.25

```

```

;Interpolação
Linear;
N350 Y4.415 Z15.524 A263.632
;Interpolação
Linear;
N360 Y4.256 Z15.647 A261.999
;Interpolação
Linear;
N370 Y4.092 Z15.767 A260.35
;Interpolação
Linear;
N380 Y3.923 Z15.884 A258.685
;Interpolação
Linear;
N390 Y3.749 Z15.996 A257.006
;Interpolação
Linear;
N400 Y3.57 Z16.104 A255.312
;Interpolação
Linear;
N410 Y3.387 Z16.208 A253.605
;Interpolação
Linear;
N420 Y3.199 Z16.307 A251.884
;Interpolação
Linear;
N430 Y3.007 Z16.401 A250.151
;Interpolação
Linear;
N440 Y2.811 Z16.489 A248.406
;Interpolação
Linear;
N450 Y2.61 Z16.572 A246.65
;Interpolação
Linear;
N460 Y2.407 Z16.65 A244.884
;Interpolação
Linear;
N470 Y2.199 Z16.721 A243.108
;Interpolação
Linear;
N480 Y1.987 Z16.786 A241.32
;Interpolação
Linear;
N490 Y1.772 Z16.845 A239.524
;Interpolação
Linear;
N500 Y1.556 Z16.898 A237.723
;Interpolação
Linear;
N510 Y1.338 Z16.943 A235.918

```

```

;Interpolação
Linear;
N520 Y1.118 Z16.982 A234.106
;Interpolação
Linear;
N530 Y.897 Z17.014 A232.291
;Interpolação
Linear;
N540 Y.674 Z17.039 A230.471
;Interpolação
Linear;
N550 Y.45 Z17.057 A228.649
;Interpolação
Linear;
N560 Y.225 Z17.068 A226.825
;Interpolação
Linear;
N570 Y0. Z17.071 A225.
;Interpolação
Linear;
N580 Y-.225 Z17.068 A223.175
;Interpolação
Linear;
N590 Y-.45 Z17.057 A221.351
;Interpolação
Linear;
N600 Y-.674 Z17.039 A219.529
;Interpolação
Linear;
N610 Y-.897 Z17.014 A217.709
;Interpolação
Linear;
N620 Y-1.118 Z16.982 A215.894
;Interpolação
Linear;
N630 Y-1.338 Z16.943 A214.082
;Interpolação
Linear;
N640 Y-1.556 Z16.898 A212.277
;Interpolação
Linear;
N650 Y-1.772 Z16.845 A210.476
;Interpolação
Linear;
N660 Y-1.987 Z16.786 A208.68
;Interpolação
Linear;
N670 Y-2.199 Z16.721 A206.892
;Interpolação
Linear;
N680 Y-2.407 Z16.65 A205.116

```

```

;Interpolação
Linear;
N690 Y-2.61 Z16.572 A203.35
;Interpolação
Linear;
N700 Y-2.811 Z16.489 A201.594
;Interpolação
Linear;
N710 Y-3.007 Z16.401 A199.849
;Interpolação
Linear;
N720 Y-3.199 Z16.307 A198.116
;Interpolação
Linear;
N730 Y-3.387 Z16.208 A196.395
;Interpolação
Linear;
N740 Y-3.57 Z16.104 A194.688
;Interpolação
Linear;
N750 Y-3.749 Z15.996 A192.994
;Interpolação
Linear;
N760 Y-3.923 Z15.884 A191.315
;Interpolação
Linear;
N770 Y-4.092 Z15.767 A189.65
;Interpolação
Linear;
N780 Y-4.256 Z15.647 A188.001
;Interpolação
Linear;
N790 Y-4.415 Z15.524 A186.368
;Interpolação
Linear;
N800 Y-4.569 Z15.397 A184.75
;Interpolação
Linear;
N810 Y-4.699 Z15.271 A183.194
;Interpolação
Linear;
N820 Y-4.723 Z15.161 A181.882
;Interpolação
Linear;
N830 Y-4.636 Z15.096 A181.141
;Interpolação
Linear;
N840 Y-4.623 Z15.091 A181.077
;Interpolação
Linear;
N850 Y-4.594 Z15.078 A180.929

```

```

;Interpolação
Linear;
  N860 Y15. Z15. A180. F56.9
;Interpolação
Linear;
  N870 Z40. F4000.
;Movimento
Rápido;
  ;MSG, FERRAMENTA Nº 2 DIÂMETRO [mm]. - 5.;
  ;MSG, FURAÇÃO TOPO;
  N880 T2 M6 ;Mudança de
Ferramenta;
  N890 G0 G90 X9.135 Y-7.511 S650 M3
  N900 Z100.
  N910 A270.
  N920 G81 Z10. W20. R15. F300.
  N930 G80
  ;MSG, FERRAMENTA Nº 3 DIÂMETRO [mm]. - 3.;
  ;MSG, FURAÇÃO BACK;
  N940 T3 M6 ;Mudança de
Ferramenta;
  N950 G0 G90 X-10.374 Y-6.344 S1500 M3
  N960 Z100.
  N970 A360.
  N980 G83 Z10. W20. R15. K2. J13 F300.
  N990 G80
  ;MSG, FERRAMENTA Nº 4 DIÂMETRO [mm]. - 4.;
  ;MSG, CONTORNO DO TOPO COM RECURSO ÀS FUNÇÕES G02 E
G03;
  N1000 T4 M6 ;Mudança de
Ferramenta;
  N1010 G0 G90 X10. Y-2.5 S2000 M3
  N1020 Z70.
  N1030 A270.
;Movimento
Rápido;
  N1040 Z50.
;Interpolação
Linear;
  N1050 G1 Z16. F1000.
;Interpolação
Linear;
  N1060 X14. F1200.
;Interpolação
Circular;

```

```

N1070 G3 X18. Y1.5 P4.
;Interpolação
Linear;
N1080 G1 Y17.
;Interpolação
Linear;
N1090 X22.
;Interpolação
Circular;
N1100 G3 X23. Y18. P1.
;Interpolação
Linear;
N1110 G1 Y27.
;Interpolação
Linear;
N1120 X32.
;Interpolação
Linear;
N1130 Y-17.
;Interpolação
Linear;
N1140 X23.
;Interpolação
Circular;
N1150 G2 X18. Y-12. P5.
;Interpolação
Linear;
N1160 G1 Y1.5
;Interpolação
Circular;
N1170 G3 X14. Y5.5 P4.
;Interpolação
Linear;
N1180 G1 X10.
;Movimento
Rápido;
N1190 G0 Z70.

N1200 M5
;Fim de
Programa;
N1210 M02

```

Anexo IV

Pós-processador alterado “Acramatic2100_4x”

Após serem efectuadas todas as alterações necessárias no pós-processador original denominou-se este novo pós-processador por Acramatic2100_4X.

```
Pós-Processador ACRAMATIC2100_4x
[POST_VERSION] #DO NOT MOVE OR ALTER THIS LINE# V11.00 E1 P0 T1229656631
M11.00 I0 X0.00
# Post Name      : MPA2100E
# Product       : MILL
# Machine Name   : CINCINNATI SABRE/ARROW MILL
# Control Name   : ACRAMATIC 2100E
# Description    : CINCINNATI SABRE/ARROW MILL
# 4-axis/Axis subs. : YES
# 5-axis        : NO
# Subprograms    : YES
# Executable     : MP 9.13
#
# WARNING: THIS POST IS GENERIC AND IS INTENDED FOR MODIFICATION TO
# THE MACHINE TOOL REQUIREMENTS AND PERSONAL PREFERENCE.
#
# -----
# Revision log:
# -----
# Programmers Note:
# CNC 05/01/01 - Initial post update for V8.1
# CNC 01/09/02 - Initial post update for V9.0
# CNC 01/06/03 - Moved feed assignment below pcom_moveb to address bug w/feed in 4 axis
# CNC 02/04/03 - Initial post update for V9.1
# CNC 05/28/03 - Initial post update for V9.1SP1
```

```
#
# Carlos Fortes - 2010-09-13: up. X3
#
#
# -----
# Features:
# -----
# This post supports Generic Acramatic 2100E code output for 3 axis milling.
# It is designed to support the features of Mastercam Mill V8.
#
# Following Misc. Integers are used:
#
# mi1 - Work coordinate system
#   0 = Reference return is generated and G92 with the
#       X, Y and Z home positions at file head.
#   1 = Reference return is generated and G92 with the
#       X, Y and Z home positions at each tool.
#   2 = Fixture Offsets of H1, H2...H32 based on Mastercam settings.
#
# mi2 - Absolute or Incremental positioning at top level
#   0 = absolute
#   1 = incremental
#
# mi3 - Select for G28 reference point return at toolchange.
#   1 = G28 output requested.
#
#Canned text:
# Entering ccontext on a contour point from within Mastercam allows the
# following functions to enable/disable.
# Ccontext value:
# 1 = Stop = output the "M00" stop code
# 2 = Ostop = output the "M01" optional stop code
# 3 = bLd on = turn on block delete codes in NC lines
# 4 = bLd off = turn off block delete codes in NC lines
#
#Milling toolpaths (4 axis)
#Layout:
# The term "Reference View" refers to the coordinate system associated
# with the Top view (Alt-F9, the upper gnomon of the three displayed).
```

```
# Create the part drawing with the axis of rotation about the axis
# of the "Reference View" according to the setting you entered for
# 'vmc' (vertical or horizontal) and 'rot_on_x' (machine relative
# axis of rotation).
# vmc = 1 (vertical machine) uses the top toolplane as the base machine
# view.
# vmc = 0 (horizontal machine) uses the front toolplane as the base machine
# view.
# Relative to the machine matrix -
# Rotation zero position is on the Z axis for rotation on X axis.
# Rotation zero position is on the Z axis for rotation on Y axis.
# Rotation zero position is on the X axis for rotation on Z axis.
# The machine view rotated about the selected axis as a "single axis
# rotation" are the only legal views for 4 axis milling. Rotation
# direction around the part is positive in the CCW direction when
# viewed from the plus direction of the rotating axis. Set the variable
# 'rot_ccw_pos' to indicate the signed direction. Always set the work
# origin at the center of rotation.
#
#Toolplane Positioning:
# Create the Cplane and Tplane as the rotation of the machine view about
# the selected axis of rotation. The toolplane is used to calculate
# the position of the rotary axis. This is the default setting.
#
#3 Axis Rotary (Polar)
# Polar positioning is offered in Mastercam 3 axis toolpaths through the
# rotary axis options dialog. The selected toolpath is converted to angle
# and radius position. The axis of rotation is forced to zero.
#
#Axis substitution:
# Use the Rotary axis substitution by drawing the geometry flattened
# from the cylinder. The rotary axis button must be active for axis
# substitution information to be output to the NCI file. The radius of
# the rotary diameter is added to all the Z positions at output.
#
#Simultaneous 4 Axis (11 gcode):
# Full 4 axis toolpaths can be generated from various toolpaths under the
# 'multi-axis' selection (i.e. Rotary 4 axis). All 5 axis paths are
# converted to 4 axis paths where only the angle about the rotation axis
# is resolved.
```

```
#
#Drill:
# All drill methods are supported in the post. See Simultaneous 4 Axis.
#
#Additional Notes:
# 1) Disable 4 axis by setting the numbered question 164. to 'n'.
# 2) H fixture offset calls are generated where the work offset entry of
# 0 = H1, 1 = H2, etc.
# 3) Metric is applied from the NCI met_tool variable.
# 4) Incremental mode calculates motion from home position at toolchanges.
# The home position is used to define the last position of the tool
# for all toolchanges.
# 5) The variable 'absinc' is now pre-defined, set mi2 (Misc. Integer) for
# the 'top level' absolute/incremental program output. Subprograms are
# updated through the Mastercam dialog settings for sub-programs.
# 6) Always avoid machining to the center of rotation with rotary axis!
# 7) Transform subprograms are intended for use with H? fixture offsets.
#
# END_HEADERS$
#
#-----
#sextnc .ISO

#-----
# Debugging and Factory Set Program Switches
#-----

m_one    : -1 #Define constant
zero     : 0  #Define constant
one      : 1  #Define constant
two      : 2  #Define constant
three    : 3  #Define constant
four     : 4  #Define constant
five     : 5  #Define constant
c9k      : 9999 #Define constant

fastmode$ : yes$ #Enable Quick Post Processing, (set to no for debug)
bug1$     : 2   #0=No display, 1=Generic list box, 2=Editor
```

```

bug2$      : 40 #Append postline labels, non-zero is column position?
bug3$      : 0  #Append whatline number to each NC line?
bug4$      : 1  #Append NCI line number to each NC line?
whatno$    : yes$ #Do not perform whatline branches? (leave as yes)
linktolvar$ : 1 #Associate X tolerance variables to V9- variable?
linklvar$  : 1 #Associate X lathe specific variables to V9- variable?

skp_lead_flg$ : 1 #Do NOT use v9 style contour flags
get_1004$    : 1 #Find gcode 1004 with getnextop?
rpd_typ_v7$  : 0 #Use Version 7 style contour flags/processing?
strtool_v7$  : 2 #Use Version 7+ toolname?
tlchnng_aft$ : 2 #Delay call to toolchange until move line
cant_tlchnng$ : 1 #Ignore cantext entry on move with tlchnng_aft
newglobal$  : 1 #Error checking for global variables
getnextop$  : 0 #Build the next variable table

# -----
# General Output Settings
# -----
sub_level$  : 1 #Enable automatic subprogram support
breakarcs$ : 0 #Break arcs, 0 = no, 1 = quadrants, 2 = 180deg. max arcs
arcoutput$  : 2 #0 = IJK, 1 = R no sign, 2 = R signed neg. over 180
arctype$    : 1 #Arc center 1=abs, 2=St-Ctr, 3=Ctr-St, 4=unsigned inc.
do_full_arc$ : 0 #Allow full circle output? 0=no, 1=yes
helix_arc$  : 0 #Support helix arc output, 0=no, 1=all planes, 2=XY plane only
arccheck$   : 1 #Check for small arcs, convert to linear
atol$       : 0.01 #Angularity tolerance for arccheck
ltol$       : 0.002 #Length tolerance for arccheck
vtol$       : 0.0001 #System tolerance
spaces$     : 1 #Number of spaces to add between fields
maxfeedpm   : 500 #Limit for feed in inch/min
ltol_m      : 0.05 #Length tolerance for arccheck, metric
vtol_m      : 0.0025 #System tolerance, metric
maxfeedpm_m : 10000 #Limit for feed in mm/min
force_wcs   : no$ #Force 'H' fixture offset output at every toolchange?
tap_ipr     : yes$ #Do G84 tapping using IPR (G95) feed mode?
omitseq$    : no$ #Omit sequence numbers
seqmax$     : 999999 #Max. sequence number
stagetool   : 0 #0 = Do not pre-stage tools, 1 = Stage tools
use_gear    : 0 #Output gear selection code, 0=no, 1=yes

```

```

max_speed : 10000 #Maximum spindle speed
min_speed : 60 #Minimum spindle speed
nobrks$ : no$ #Omit breakup of x, y & z rapid moves
progname$ : 1 #Use uppercase for program name (sprogname)
tapping : no$ #Flags that we are IN a G84 tapping cycle
do_M01 : no$ #Output 'M01" (Optional STOP) at toolchanges ?

# -----
# Rotary Axis Settings
# -----
vmc : 1 #0 = Horizontal Machine, 1 = Vertical Mill
rot_on_x : 1 #Default Rotary Axis Orientation, See ques. 164.
          #0 = Off, 1 = About X, 2 = About Y, 3 = About Z
rot_ccw_pos : 1 #Axis signed dir, 0 = CW positive, 1 = CCW positive
index : 0 #Use index positioning, 0 = Full Rotary, 1 = Index only
ctable : 5 #Degrees for each index step with indexing spindle
use_frinv : 0 #Use Inverse Time Feedrates in 4 Axis, (0 = no, 1 = yes)
maxfrdeg : 2000 #Limit for feed in deg/min
maxfrinv : 999.99#Limit for feed inverse time
frc_cinit : 1 #Force C axis reset at toolchange
ctol : 225 #Tolerance in deg. before rev flag changes
ixtol : 0.01 #Tolerance in deg. for index error
frdegstp : 10 #Step limit for rotary feed in deg/min

# -----
# Enable Canned Drill Cycle Switches
# -----
usecandrift$ : yes$ #Use canned cycle for drill
usecanpeck$ : yes$ #Use canned cycle for Peck
usecanchip$ : yes$ #Use canned cycle for Chip Break
usecantap$ : yes$ #Use canned cycle for Tap
usecanbore1$ : yes$ #Use canned cycle for Bore1
usecanbore2$ : yes$ #Use canned cycle for Bore2
usecanmisc1$ : yes$ #Use canned cycle for Misc1
usecanmisc2$ : yes$ #Use canned cycle for Misc2

# -----
# Common User-defined Variable Initializations (not switches!)
# -----
xia : 0 #Formatted absolute value for X incremental calculations

```

```
via      : 0  #Formatted absolute value for Y incremental calculations
zia      : 0  #Formatted absolute value for Z incremental calculations
cia      : 0  #Formatted absolute value for C incremental calculations

cuttype  : 0  #Cut type flag
          #0 = Tool Plane, 1 = Axis Subs, 2 = Polar, 3 = 4/5 axis
bld      : 0  #Block delete active
result   : 0  #Return value for functions
sav_gcode : 0  #Gcode saved
sav_absinc : 0  #Absolute/Incremental Saved Value
sav_coolant : 0  #Coolant saved
sav_frc_wcs : 0  #Force work offset flag saved
sav_arcoutput : 0  #arcoutput format Save Value
toolchng : 1  #On a toolchange flag
g28ref   : 0  #Set via (mi3 = 1) means output G28 ref. returns blocks
spdir2   : 1  #Copy for safe spindle direction calculation

#Drill variables
drlgsel  : -1 #Drill Select Initialize
drillref  : 0  #Select drill reference
peckacel$ : 0  #Fractional percent to reduce peck2 when usecan.. : no
drlgcode  : 0  #Save Gcode in drill
sav_dgcode : 0  #Drill gcode saved

#Subprogram variables
mr_rt_actv : 0  #Flag to indicate if G51/G68 is active
          #0=Off, 1=Toolchange, 2=Subprogram call/start, G68
          #3=Absolute start, both
rt_csav   : 0  #C saved value
end_sub_mny : 0  #Many tool setting captured at transform sub end

#Rotary/Index variables
csav      : 0  #C saved value
prvcabs   : 0  #Saved cabs from pe_inc_calc,
          #Used for rotary feed and direction calculations
cdelta    : 0  #Calculation for angle change
rev       : 0  #Calculation for deg/min
sav_rev   : 0  #Saved revolution counter
indx_out  : c9k #Rotation direction calculation
fmt 16 indx_mc #Rotation direction calculation
```

```

#Vector Constants for Rotary Calculations
aaxisx  : 1  #A axis rotation vector constant
aaxisy  : 0  #A axis rotation vector constant
aaxisz  : 0  #A axis rotation vector constant
baxisx  : 0  #B axis rotation vector constant
baxisy  : 1  #B axis rotation vector constant
baxisz  : 0  #B axis rotation vector constant
caxisx  : 0  #C axis rotation vector constant
caxisy  : 0  #C axis rotation vector constant
caxisz  : 1  #C axis rotation vector constant

#Feedrate calculation variables
frdelta : 0  #Calculation for deg/min
frinv   : 0  #Feedrate inverse time
frdeg   : 0  #Feedrate deg/min actual
prvfrdeg : 0  #Feedrate deg/min actual
ldelta  : 0  #Calculation for deg/min, linear
cldelta : 0  #Calculation for deg/min, linear and rotary
circum  : 0  #Calculation for deg/min
ipr_type : 0  #Feedrate for Rotary, 0 = UPM, 1 = DPM, 2 = Inverse

# -----
# Format statements - n=nonmodal, l=leading, t=trailing, i=inc, d=delta
# -----
#Default english/metric position format statements
fs2 1  0.7 0.6  #Decimal, absolute, 7 place, default for initialize (:)
fs2 2  0.4 0.3  #Decimal, absolute, 4/3 place
fs2 3  0.4 0.3d #Decimal, delta, 4/3 place
#Common format statements
fs2 4  1 0 1 0  #Integer, not leading
fs2 5  2 0 2 0l #Integer, force two leading
fs2 6  3 0 3 0l #Integer, force three leading
fs2 7  4 0 4 0l #Integer, force four leading
fs2 9  0.1 0.1  #Decimal, absolute, 1 place
fs2 10 0.2 0.2  #Decimal, absolute, 2 place
fs2 11 0.3 0.3  #Decimal, absolute, 3 place
fs2 12 0.4 0.4  #Decimal, absolute, 4 place
fs2 13 0.5 0.5  #Decimal, absolute, 5 place
fs2 14 0.3 0.3d #Decimal, delta, 3 place

```

```
fs2 15 0.2 0.1 #Decimal, absolute, 2/1 place
fs2 16 1 0 1 0n #Integer, forced output

# -----
#String and string selector definitions for NC output
# -----

#Numbered question 164. string to detect Rotary axis y/n
sq164

#Address string definitions
strspace " "
strlp ";"
strrp ";"
strquot ""
strh "H"
strm "M"
strn "N"
stro "O"
srad "P"
srminus "P-"
sblank

#Cantext string definitions (spaces must be padded here)
sm00 "M0"
sm01 "M1"
strtextno
strcantext

#Transform mirror and rotate codes

strns_mir_on "G51.1" #Programmable mirror image code
strns_mir_off "G50.1" #Programmable mirror image cancel code
strns_rot_on "G68" #Coordinate System Rotation
strns_rot_off "G69" #Coordinate System Rotation Cancel

# -----
# Error messages
# -----
saxiswarn "WARNING-POST ROTARY AXIS ASSIGNMENT ('rot_on_x') OVERWRITTEN"
```

BY OPERATION"

```
saxisoff "ERROR-POST ROTARY AXIS ASSIGNMENT ('rot_on_x') IS DISABLED"
saxiserror "ERROR-INVALID ROTARY AXIS ASSIGNMENT ('rot_on_x') FOR CURRENT
OPERATION"
sindxerror "WARNING-INDEX ANGLE DOES NOT MATCH POST SETTING ('ctable')"
```

stlorgerr "ERROR-TOOL ORIGIN DOES NOT MATCH CENTER OF ROTATION IN POLAR MILLING"

```
shomeserror "ERROR-G92 WORK OFFSET ('mi1') DOES NOT SUPPORT TRANSFORM
SUBPROGRAM"
```

sprgnerror "ERROR-SUBPROGRAM NUMBER MATCHES THE MAIN PROGRAM NUMBER"

```
smir_error "THIS POST DOES NOT SUPPORT MIRRORING OF SUBPROGRAMS!"
srot_error "THIS POST DOES NOT SUPPORT ROTATING OF SUBPROGRAMS!"
sfix_error " Fixture Offset - OUT OF RANGE (H1..H32 allowed) IN TOOL: "
```

```
# -----
```

```
# General G and M Code String select tables
```

```
# -----
```

```
# Motion G code selection
```

```
sg00 G0 #Rapid
sg01 G1 #Linear feed
sg02 G2 #Circular interpolation CW
sg03 G3 #Circular interpolation CCW
sg04 G4 #Dwell
sgcode #Target for string
```

```
fstrsel sg00 gcode$ sgcode 5 -1 0
```

```
# -----
```

```
# Select work plane G code
```

```
sg17 G17 #XY plane code
sg19 G19 #YZ plane code
sg18 G18 #XZ plane code
sgplane #Target string
```

```
fstrsel sg17 plane$ sgplane 3 -1 0
```

```
# -----
```

```
#Select english/metric code
```

```
sg70 G70 #Inch code
sg71 G71 #Metric code
smetric #Target string
```

```

fstrsel sg70 met_tool$ smetric 2 -1 0
# -----
# Cutter compensation G code selection
scc0 G40 #Cancel cutter compensation
scc1 G41 #Cutter compensation left
scc2 G42 #Cutter compensation right
sccomp #Target for string

fstrsel scc0 cc_pos$ sccomp 3 -1 0
# -----
# Canned drill cycle string select
sg81 G81 #drill - no dwell
sg81d G82 #drill - with dwell
sg83 G83 #peck drill - no dwell
sg83d G83 #peck drill - with dwell
sg73 G73 #chip break - no dwell
sg73d G73 #chip break - with dwell
sg84 G84 #tap - right hand
sg84d G74 #tap - left hand
sg85 G85 #bore #1 - no dwell
sg85d G85 #bore #1 - with dwell
sg86 G86 #bore #2 - no dwell
sg86d G86 #bore #2 - with dwell
sgm1 G84.1 #misc #1 - no dwell
sgm1d G74.1 #misc #1 - with dwell
sgm2 G81 #misc #2 - no dwell
sgm2d G82 #misc #2 - with dwell
sgdrill #Target for string

fstrsel sg81 drlg$ sgdrill 16 -1 0
# -----
# Select incremental or absolute G code
sg90 G90 #Absolute code
sg91 G91 #Incremental code
sgabsinc #Target string

fstrsel sg90 absinc$ sgabsinc 2 -1 0
# -----
# Feed mode G code selection

```

```

sg94 G94 #UPM
sg94d G94 #DPM, See pfcalc_deg if you use another gcode
sg93 G93 #Inverse
sgfeed #Target for string

fstrsel sg94 ipr_type sgfeed 3 -1 0
# -----
# Generate string for spindle
sm04 M4 #Spindle reverse
sm05 M5 #Spindle off
sm03 M3 #Spindle forward
spindle #Target for string

fstrsel sm04 spdir2 spindle 3 -1 0
# -----
# Coolant M code selection
sm09 M9 #Coolant Off
sm08 M8 #Coolant Flood
sm08_1 M7 #Coolant Mist
sm08_2 M8 #Coolant Tool
scoolant #Target for string

fstrsel sm09 coolant$ scoolant 4 -1 0
# -----
# Table rotation direction
# Table rotation direction, index
sindx_cw M22 #Rotate CW code
sindx_ccw M21 #Rotate CCW code
sindx_mc #Target for string

fstrsel sindx_cw indx_mc sindx_mc 2 -1 0
# -----
# Define the gear selection code
flktbl 1 3 #Lookup table definition - table no. - no. entries
    40 0 #Low gear range
    41 400 #Med gear range
    42 2250 #Hi gear range

# -----
# Toolchange / NC output Variable Formats

```

```
# -----
fmt "T" 4 t$ #Tool Number
fmt T 4 first_tool$ #First Tool Used
fmt T 4 next_tool$ #Next Tool Used
fmt O 4 tloffno$ #Diameter Offset Number
fmt H 4 h_wcs #WCS H address
fmt S 4 speed #Spindle Speed
fmt M 4 gear #Gear range
# -----

fmt N 4 n$ #Sequence number
fmt X 2 xabs #X position output
fmt Y 2 yabs #Y position output
fmt Z 2 zabs #Z position output
fmt X 3 xinc #X position output
fmt Y 3 yinc #Y position output
fmt Z 3 zinc #Z position output
fmt A 11 cabs #C axis position
fmt A 14 cinc #C axis position
fmt A 4 indx_out #Index position
fmt R 14 rt_cinc #C axis position, G68
fmt I 3 i$ #Arc center description in X
fmt J 3 j$ #Arc center description in Y
fmt K 3 k$ #Arc center description in Z
fmt R 2 arcrad$ #Arc Radius
fmt K 2 kpitch #Pitch (K) value for Helical motion
fmt F 15 feed #Feedrate
fmt P 11 dwell$ #Dwell
fmt M 5 cantext$ #Canned text
# -----

#Move comment (pound) to output colon with program numbers
fmt 7 progno$ #Program number
fmt O 7 main_prg_no$ #Program number
fmt 7 sub_prg_no$ #Program number
fmt X 2 sub_trnsx$ #Rotation point
fmt Y 2 sub_trnsy$ #Rotation point
fmt Z 2 sub_trnsz$ #Rotation point
# -----

fmt K 2 peck1$ #First peck increment (positive)
#CNC<<DUPLICATE>>fmt Q 2 shftdr1$ #Fine bore tool shift
#CNC<<MSG-ERROR(487)>> Duplicate format assignment
```

```

fmt W 2 refht_a #Reference height
fmt R 2 refht_i #Reference height
fmt W 2 initht_a #Initial height
fmt W 2 initht_i #Initial height
fmt J 4 retr$ # 'J' outfeed multiplier on tapping cycle
fmt K 2 peckclr$ # 'K' infeed increment for chip break (G84.1)
fmt P 4 shftdrl$ # 'P' number of spindle revs for chip break (G84.1)
fmt R 2 tosz$ #Top of Stock
# -----
fmt "FERRAMENTA N° " 4 tnote # Note format
fmt " DIÂMETRO [mm]. - " 1 tldia$ # Note format

# -----
# Tool Comment / Manual Entry Section
# -----
ptoolcomment #Comment for tool
    tnote = t$
    !spaces$
    spaces$ = zero
    ";MSG, ", pstrtool, *tnote, *tldia$, ";", e$
    " ", e$ # Blank line
    spaces$ = prv_spaces$

pstrtool #Comment for tool
    if strtool$ <> sblank,
    [
        strtool$ = ucase(strtool$)
        *strtool$, " "
    ]

pcomment$ #Comment from manual entry (must call pcomment2 if booleans)
    pcomment2

pcomment2 #Comment from manual entry
    scomm$ = ucase (scomm$)
    !spaces$
    spaces$ = zero
    if gcode$ = 1007, ";MSG, ", scomm$, ";"
    else, ";MSG, ", scomm$, ";", e$
    spaces$ = prv_spaces$

```

[STARTBIN]

```
# -----  
# Start of File and Toolchange Setup  
# -----  
psof0$      #Start of file for tool zero  
    psof$  
  
psof$      #Start of file for non-zero tool number  
    pcuttype  
    sav_arcoutput = arcoutput$ # Save setting  
    toolchng = one  
    if ntools$ = one,  
    [  
        #skip single tool outputs, stagetool must be on  
        stagetool = m_one  
        !next_tool$  
    ]  
  
#For correct 'spacing' on the colon ':' blocks  
!spaces$      #Save original 'spaces' setting  
  
";MSG, NOME DO PROGRAMA = ", sprogrname$, ";", e$  
";MSG, DATA=DD-MM-AA - ", date$, " HORA=HH:MM - ", time$, ";", e$  
#";MSG, ", day, "-", mon, "-20" , year, ";"  
ptoolcomment  
comment$
```

```

spaces$ = prv_spaces$ #Restore original 'spaces' setting
n$, ":", *sgabsinc, *smetric, "A0" e$
sav_absinc = absinc$
pcom_moveb
n$, c_mmlt$ #Multiple tool subprogram call

pcan
if stagetool >= zero, pbld, *t$, "M6", e$
pindex
if mi1$ > one, absinc$ = zero
pcan1, pbld, n$, *sgcode, *sgabsinc, pfxout, pfyout,
    *speed, *spindle, pgear, pwcs, strcantext, e$
pbld, n$, pfzout, scoolant, next_tool$, e$
absinc$ = sav_absinc
pcom_movea
toolchng = zero
c_msng$ #Single tool subprogram call

ptlchg0$    #Call from NCI null tool change (tool number repeats)
pcuttype
pcom_moveb
c_mmlt$ #Multiple tool subprogram call
comment$
pcan
pbld, n$, sgplane, e$
pspindchng
pbld, n$, scoolant, e$
if mi1$ > one & workofs$ <> prv_workofs$,
[
sav_absinc = absinc$
absinc$ = zero
pbld, n$, sgabsinc, pfxout, pfyout, pfzout, pwcs, e$
pe_inc_calc
ps_inc_calc
absinc$ = sav_absinc
]
if cuttype = zero, ppos_cax_lin
if gcode$ = one, plinout
else, prapidout

```

```

pcom_movea
c_msng$ #Single tool subprogram call

ptlchg$    #Tool change
pcuttype
toolchng = one
if mi1$ = one, #Work coordinate system
[
  pfbld, n$, "G28", "X0.", "Y0.", e$
  pfbld, n$, "G92", *xh$, *yh$, *zh$, e$
]
pcom_moveb
c_mmlt$ #Multiple tool subprogram call
" ", e$ # Blank line
arcoutput$ = sav_arcoutput # Restore setting
ptoolcomment
comment$
pcan
pblld, n$, *t$, "M6", "          ;Mudança de
Ferramenta;" e$

if do_M01, pblld, n$, sm01, e$ #Optional stop
pindex
sav_absinc = absinc$
if mi1$ > one, absinc$ = zero
pcan1, pblld, n$, *sgcode, *sgabsinc, pfxout, pfyout,
  *speed, *spindle, pgear, pwcs, strcantext, e$
pblld, n$, pfzout, scoolant, next_tool$, e$
absinc$ = sav_absinc
pcom_movea
toolchng = zero
c_msng$ #Single tool subprogram call

pretract    #End of tool path, toolchange
sav_absinc = absinc$
absinc$ = one
sav_coolant = coolant$
coolant$ = zero
#cc_pos is reset in the toolchange here
cc_pos$ = zero

```

```

gcode$ = zero
pbld, n$, sccomp, psub_end_mny, e$
pbld, n$, scoolant, e$
if g28ref,
[
pbld, n$, sgabsinc, sgcode, "G28", "Z0.", scoolant, e$
pbld, n$, "G28", "X0.", "Y0.", e$
]
absinc$ = sav_absinc
coolant$ = sav_coolant

```

```

protretinc #Reset the C axis revolution counter

```

```

if frc_cinit & rot_on_x,
[
rev = zero
sav_rev = zero
cabs = zero
csav = zero
indx_out = zero
if index, e$, pindxcalc, pindex
else, *cabs
prvcabs = zero
!csav, !cabs
]

```

```

peof0$ #End of file for tool zero

```

```

peof$

```

```

peof$ #End of file for non-zero tool

```

```

pretract
comment$
#Remove pound character to output first tool with staged tools
#if stagetool = one, pbld, n, *first_tool, e
n$, sm05, e$ #Spindle off
n$, "M26", e$ #Spindle axis Full Retract
n$, "M02", e$ #End of program
mergesub$
clearsub$
mergeaux$
clearaux$

```

```

pwcs      # 'H' fixture offset setting at toolchange
if mi1$ > one,
  [
  sav_frc_wcs = force_wcs
  if sub_level$ > 0, force_wcs = zero
  if workofs$ <> prv_workofs$ | (force_wcs & toolchng),
    [
    h_wcs = workofs$ #Transfer into output variable
    *h_wcs      #Output the 'H??' fixure offset
    if workofs$ < one | workofs$ > 32, # H1 thru H32 are valid
      [
      sfix_error = strquot + strh + no2str(h_wcs) + strquot + sfix_error
      sfix_error = sfix_error + no2str(tnote)
      if omitseq$ = no$,
        sfix_error = sfix_error + strspace + strlp + strn + no2str(n$) + strrp
        result = mprint(sfix_error)
      ]
    ]
  force_wcs = sav_frc_wcs
  !workofs$
  ]

pgear     #Find spindle gear from lookup table
if use_gear = one,
  [
  gear = frange (one, speed)
  *gear
  ]

#Toolchange setup
pspindchn #Spindle speed change
if prv_spdir2 <> spdir2 & prv_speed <> zero, pbl, n$, *sm05, e$
if prv_speed <> speed | prv_spdir2 <> spdir2,
  [
  if speed, pbl, n$, *speed, *spindle, pgear, e$
  ]
!speed, !spdir2

pspindle  #Spindle speed calculations for RPM

```

```

speed = abs(ss$)
if maxss$ = zero | maxss$ > max_speed, maxss$ = max_speed
#zero indicates spindle off (not a mistake)
if speed,
[
  if speed > max_speed, speed = maxss$
  if speed < min_speed, speed = min_speed
]
spdir2 = fsg3(spdir$)

```

```

pq$      #Setup post based on switch settings
if stagetool = one, bldnxtool$ = one
#Rotaxtyp = 1 sets initial matrix to top
#Rotaxtyp = -2 sets initial matrix to front
if vmc, rotaxtyp$ = 3
else, rotaxtyp$ = 3

#Shut off rotary axis if, Q164. Enable Rotary Axis button? n
if ucase(sq164) = strn, rot_on_x = zero
if arctype$ = one | arctype$ = four,
[
  result = newfs(two, i$)
  result = newfs(two, j$)
  result = newfs(two, k$)
]
else,
[
  result = newfs(three, i$)
  result = newfs(three, j$)
  result = newfs(three, k$)
]

```

```

pheader$  #Call before start of file
if mi3$ = one, g28ref = yes$
if met_tool$ = one, #Metric constants and variable adjustments
[
  ltol$ = ltol_m
  vtol$ = vtol_m
  maxfeedpm = maxfeedpm_m
]

```

```

ptoolend$    #End of tool path, before reading new tool data
             !speed, !spdir2

ptlchg1002$  #Call at actual toolchange, end last path here
             sav_rev = rev #Axis Sub does not update to rev
             pspindle
             whatline$ = four #Required for vector toolpaths
             if gcode$ = 1000,
             [
             #Null toolchange
             ]
             else,
             [
             #Toolchange and Start of file
             if gcode$ = 1002,
             [
             #Actual toolchange
             pretract
             ]
             if stagetool = one, prv_next_tool$ = m_one
             prv_xia = vequ(xh$)
             prv_feed = c9k
             ]

# -----
# Motion NC output
# -----
#The variables for absolute output are xabs, yabs, zabs.
#The variables for incremental output are xinc, yinc, zinc.
# -----

prapidout    #Output to NC of linear movement - rapid
             "
             ;Movimento Rápido;", e$
             pcan1, pbld, n$, sgplane, `sgcode, sgabsinc, pccdia,
             pxout, pyout, pzout, pcout, strcantext, scoolant, e$

plinout      #Output to NC of linear movement - feed
             "
             ;Interpolação Linear;", e$

```

```
pcan1, pblid, n$, sgfeed, sgplane, `sgcode, sgabsinc, pccdia,
pxout, pyout, pzout, pcout, feed, strcantext, scoolant, e$
```

```
pcirout      #Output to NC of circular interpolation
            "
:Interpolação Circular;", e$
  if abs(zinc) <> zero, #Doing a Helical move
  [
  if arcoutput$ <> zero, arcoutput$ = zero #Set for I,J,K arc format
  kpitch = (360 / abs(sweep$)) * abs(zinc) #Calc. the helix pitch
  ]
  else, kpitch = zero

pcan1, pblid, n$, `sgfeed, sgplane, sgcode, sgabsinc, pccdia,
pxout, pyout, pzout, pcout, parc, [if kpitch > zero, *kpitch],
feed, strcantext, scoolant, e$
```

```
pcom_moveb  #Common motion preparation routines, before
pxyzcout
ps_inc_calc
```

```
pncoutput   #Movement output
pcom_moveb
comment$
pcan
if cuttype = zero, ppos_cax_lin #Toolplane rotary positioning
if gcode$ = zero, prapidout
if gcode$ = one, plinout
if gcode$ > one & gcode$ < four, pcirout
if mr_rt_actv, #Restore absolute/incremental for G51/G68
[
  absinc$ = sav_absinc
  mr_rt_actv = zero
]
pcom_movea
```

```
pcom_movea  #Common motion preparation routines, after
pcan2
pe_inc_calc
```

```
pdwl_spd$    #Call from NCI gcode 4
  pspindle
  comment$
  pspindchng
  pcan
  if fmrnd(dwell$), pcan1, pbld, n$, *sgcode, *dwell$, strcantext, e$
  else, pcan1, pbld, n$, strcantext, e$
  pcan2

prapid$     #Output to NC of linear movement - rapid
  pncoutput

pzrapid$    #Output to NC of linear movement - rapid Z only
  pncoutput

plin$       #Output to NC of linear movement - feed
  pncoutput

pz$         #Output to NC of linear movement - feed Z only
  pncoutput

pmx$        #Output to NC of vector NCI
  pncoutput

pcir$       #Output to NC of circular interpolation
  pncoutput

#Pre-process rotary motion control flags
pmx0$       #5 axis gcode setup
  if drillcur$ = zero,
  [
  if fr$ = -2, gcode$ = zero
  else, gcode$ = one
  ]

plin0$      #Linear movement, mill motion test
  pmotion_su

pcir0$      #Circular interpolation, mill arc motion test
  pmotion_su
```

```
# -----  
# Motion output components  
# -----  
pbld      #Canned text - block delete  
    if bld, '/'  
  
pfbld      #Force - block delete  
    "/"  
  
pccdia      #Cutter Compensation  
    scomp  
  
pfxout      #Force X axis output  
    if absinc$ = zero, *xabs, !xinc  
    else, *xinc, !xabs  
  
pxout       #X output  
    if absinc$ = zero, xabs, !xinc  
    else, xinc, !xabs  
  
pfyout      #Force Y axis output  
    if absinc$ = zero, *yabs, !yinc  
    else, *yinc, !yabs  
  
pyout       #Y output  
    if absinc$ = zero, yabs, !yinc  
    else, yinc, !yabs  
  
pfzout      #Force Z axis output  
    if absinc$ = zero, *zabs, !zinc  
    else, *zinc, !zabs  
  
pzout       #Z output  
    if absinc$ = zero, zabs, !zinc  
    else, zinc, !zabs  
  
pfcout      #Force C axis output  
    if index = zero & rot_on_x,  
    [  
    ]
```

```

if absinc$ = zero, *cabs, !cinc
else, *cinc, !cabs
]

```

```

pcout      #C axis output
if index = zero & rot_on_x,
[
if absinc$ = zero, cabs, !cinc
else, cinc, !cabs
]

```

```

pindex     #Index output
if index & rot_on_x,
[
pbld, n$, `sindx_mc, indx_out, e$
!cabs, !cinc
]

```

```

parc       #Select the arc output
if arcoutput$ = zero | full_arc_flg$ | arc_pitch$,
[
#Arc output for IJK
if plane$ = 0, *i$, *j$ # XY plane (G17)
if plane$ = 1, *j$, *k$ # YZ plane (G19)
if plane$ = 2, *i$, *k$ # XZ plane (G18)
]
else,
[
#Arc output for R
if abs(sweep$)<=180 | arcoutput$=one, result = nwadrs(srad, arcrad$)
else, result = nwadrs(srminus, arcrad$)
*arcrad$
]

```

```

ppos_cax_lin #Position the rotary axis before move - rapid
if index, pindex
else,
[
if fmtrnd(prv_cabs) <> fmtrnd(cabs) & rot_on_x,
[

```

```

sav_gcode = gcode$
gcode$ = zero
pbld, n$, sgcode, pcout, e$
!cia
ps_cinc_calc
gcode$ = sav_gcode
]
]

# -----
# Drilling
# -----

pdrill0$    #Pre-process before drill call
sav_dgcode = gcode$ #Capture gcode for 5 axis drill

pdrlcommonb #Canned Drill Cycle common call, before
if sav_dgcode = 81,
[
result = newfs (two, zinc)
if drillcyc$ = three, drlgsel = fsg1(-ss$) + drillcyc$ * two
else, drlgsel = fsg2(dwel$) + drillcyc$ * two
if initht$ <> refht$, drillref = zero
else, drillref = one
prv_refht_a = c9k
prv_refht_i = c9k
prv_dwel$ = zero
prv_shftdrl$ = zero
]
if cuttype = three, sav_dgcode = gcode$
else, z$ = depth$
if cuttype = one, prv_zia = initht$ + (rotdia$/two)
else, prv_zia = initht$
pcom_moveb
feed = fr_pos$
comment$
pcan
#5 axis must map the true Z, correct Z calculation here
if cuttype = three,
[
prv_zia = zabs + (-depth$) + initht$

```

```

zia = fmtrnd(zabs)
zinc = zia - prv_zia
]

```

```

prdrout    #W drill position
if cuttype = one, refht_a = refht$ + (rotdia$ / two)
else, refht_a = refht$
refht_i = initht$ - refht$
if cuttype = three, refht_a = w$
if absinc$ = zero, refht_a, !refht_i
else, refht_i, !refht_a

pdrill$    #Canned Drill Cycle
;Furação Simples;" , e$
pdrcommonb, n$, pcout, e$
pcan1, pbl, n$, *sgdrlref, *sgdrill, pxout, pyout, pzout,
  prdrout, dwell$, *tosz$, *feed, strcantext, e$
pcom_movea
# Cincinnati 'Chip Breaking' parameters...
# J1 or J11 used to break chips
# J2 or J11 rapids the drill to 'just below' the work surface
# J3 or J13 rapids the drill to the 'clearance plane'
#
# J1,J2, J3 are 'variable peck depth' options
# Drill feeds by 3x the peck depth for the 1st plunge
# increment, then 2x for the 2nd increment, then by the
# peck depth for the remaining increments.
#
# J1 = variable peck depth, chip breaking
# J2 = variable peck depth, short retract chip clearance
# J3 = variable peck depth, retract to clearance plane
# J11 = fixed peck depth, chip breaking
# J12 = fixed peck depth, short retract chip clearance
# J13 = fixed peck depth, retract to clearance plane

ppeck_j    #'J' parameter for PECKING canned cycle
if peckchr$ = 12, "J12"# = fixed peck depth, short retract chip clearance
else, "J13"    # = fixed peck depth, retract to clearance plane

pchbrk_j    #'J' parameter for CHIP BREAKING canned cycle

```

```
if peckclr$ = 11, "J11"# = fixed peck depth, chip breaking
else, "J11"      # = fixed peck depth, chip breaking
ppeck$      #Canned Peck Drill Cycle
;Furação por Incrementos;", e$
pdrcommonb, n$, pcout, e$
pcan1, pbld, n$, *sgdrlref, *sgdrill, pxout, pyout, pfzout,
  prdlout, *tosz$, *peck1$, ppeck_j, *feed, strcantext, e$
pcom_movea

pchpbrk$    #Canned Chip Break Cycle
pdrcommonb
pcan1, pbld, n$, *sgdrlref, *sgdrill, pxout, pyout, pfzout, pcout,
  prdlout, *peck1$, *feed, strcantext, e$
pcom_movea

ptap$      #Canned Tap Cycle
pdrcommonb
result = newfs(17, feed) # Set for tapping Feedrate format
pcan1, pbld, n$, *sgdrlref, *sgdrill, pxout, pyout, pfzout, pcout,
  prdlout, *feed, strcantext, e$
pcom_movea

pbore1$    #Canned Bore #1 Cycle
pdrcommonb
pcan1, pbld, n$, *sgdrlref, *sgdrill, pxout, pyout, pfzout, pcout,
  prdlout, dwell$, *feed, strcantext, e$
pcom_movea

pbore2$    #Canned Bore #2 Cycle
pdrcommonb
pcan1, pbld, n$, *sgdrlref, *sgdrill, pxout, pyout, pfzout, pcout,
  prdlout, *feed, strcantext, e$
pcom_movea

pmisc1$    #Canned Misc #1 Cycle
pdrcommonb
pcan1, pbld, n$, *sgdrlref, *sgdrill, pxout, pyout, pfzout, pcout,
  prdlout, shftdrl$, dwell$, *feed, strcantext, e$
pcom_movea
```

pmisc2\$ #Canned Misc #2 Cycle (User Option)
pdrill\$

pdrill_2\$ #Canned Drill Cycle, additional points
pdrcommonb
pcan1, pblnd, n\$, pxout, pyout, pzout, pcout, prdrout, dwell\$,
feed, strcantext, e\$
pcom_movea

ppeck_2\$ #Canned Peck Drill Cycle
pdrill_2\$

pchprk_2\$ #Canned Chip Break Cycle
pdrill_2\$

ptap_2\$ #Canned Tap Cycle
pdrill_2\$

pbore1_2\$ #Canned Bore #1 Cycle
pdrill_2\$

pbore2_2\$ #Canned Bore #2 Cycle
pdrill_2\$

pmisc1_2\$ #Canned Misc #1 Cycle
pdrill_2\$

pmisc2_2\$ #Canned Misc #2 Cycle
pdrill_2\$

pdrclst\$ #Custom drill cycles 8 - 19 (user option)
#Use this postblock to customize drilling cycles 8 - 19
pdrcommonb
"CUSTOMIZABLE DRILL CYCLE ", pfxout, pfyout, pfzout, pfcout, e\$
pcom_movea

pdrclst_2\$ #Custom drill cycles 8 - 19, additional points (user option)
#Use this postblock to customize drilling cycles 8 - 19
pdrcommonb
"CUSTOMIZABLE DRILL CYCLE ", pfxout, pfyout, pfzout, pfcout, e\$

```

pcom_movea

pcanceldc$ #Cancel canned drill cycle
  result = newfs (three, zinc)
  z$ = initht$
  if cuttype = one, prv_zia = initht$ + (rotdia$/two)
  else, prv_zia = initht$
  pxyzcout
  !zabs, !zinc
  prv_gcode$ = zero
  pcan
  pcan1, pblid, n$, "G80", strcantext, e$
  pcan2

# -----
#Subprogram postblocks
#sub_trnstyp - 0=mirror, 1=rotate, 2=scale, 3=translate
#sub_trnmthd (mirror) - 0=X axis, 1=Y axis, 2=line
#sub_trnmthd (rotate) - 0=tplane, 1=tplane origin only, 2=coordinates
# -----

psub_call_m$ #Call to main level, single tool
  psub_call_trans

psub_call_mm$ #Call to main level, multiple tools
  psub_call_trans

psub_call_trans #Translate level calls from toolchange, user
  if mi1$ <= one, result = mprint(shomeserror)
  sav_absinc = absinc$
  pindex
  #Mirror or Rotate Coord's
  if sub_trnstyp$ = zero | (sub_trnstyp$ = one & mr_rt_actv),
  [
    #The original pattern is not mirrored or rotated
    if sub_sec_no$,
    [
      absinc$ = zero
      if sub_trnstyp$, psub_rotate
      else, psub_mirror
    ]
  ]

```

```

    mr_rt_actv = three
  ]
else, #Translate
  [
    if sub_mny_t$,
      [
        if mi1$ > one, absinc$ = zero
        pbl, n$, *sgcode, *sgabsinc, pfxout, pfyout, pfzout,
          pfcout, pwcs, e$
        pe_inc_calc
        ps_inc_calc
      ]
    ]
absinc$ = sav_absinc
if progno$ = main_prg_no$, result = mprint(sprgnerror)
result = nwadrs(sblank, main_prg_no$)
if spaces$, #For proper 'spacing'
  [
    !spaces$
    spaces$ = zero
    pbl, n$, "(CLS,", *main_prg_no$, ")", e$
    spaces$ = prv_spaces$
  ]
else,
  pbl, n$, "(CLS,", *main_prg_no$, ")", e$
  prv_feed = c9k #Force feed in sub

psub_mirror  #Mirror start code, user
result = mprint(smir_error) # NOT SUPPORTED (5/1/01)
##Mirror Y axis
#if sub_trnmthd, pbl, n, *sgabsinc, strns_mir_on, *sub_trnsx, e
##Mirror X axis
#else, pbl, n, *sgabsinc, strns_mir_on, *sub_trnsy, e

psub_rotate  #Rotate start code, user
result = mprint(srot_error) #NOT SUPPORT (5/1/01)
#pbl, n, *sgcode, *sgabsinc, strns_rot_on, *sub_trnsx, *sub_trnsy,
# [absinc = one], *sgabsinc, *rt_cinc, e

psub_st_m$   #Header in main level

```

```

result = nwadrs(stro, main_prg_no$)
" ", e$ #Blank Line
*main_prg_no$, e$
#Requires absolute position on first move
if mr_rt_actv & absinc$ = one,
[
sav_absinc = absinc$
absinc$ = zero
prv_absinc$ = m_one
prv_xabs = m_one
prv_yabs = m_one
]
else, pbld, n$, sgabsinc, e$

psub_end_m$ #End in main level
n$, "(ENS)", e$
prv_absinc$ = m_one #Reset update variables for subs at main level
#Mirror or Rotate cancel, output is forced
if (sub_trnstyp$ = zero & esub_sec_no$ > zero)
| (sub_trnstyp$ = one & esub_sec_no$ = esub_totl_no$-one
& sub_trnmthd$ = two),
[
subout$ = zero
no_nc_out$ = m_one
sav_absinc = absinc$
#Mirror cancel
if sub_trnstyp$ = zero,
[
absinc$ = zero
#pbld, n, *sgabsinc, strns_mir_off, *sub_trnsx, *sub_trnsy, e
]
else, #Rotate cancel
[
#pbld, n, strns_rot_off, e
]
absinc$ = sav_absinc
no_nc_out$ = zero
]
end_sub_mny = sub_mny_t$

```

```

psub_end_mny  #End in main level for many tools sub, user
#Check for coming out of xform with stage tool.
if end_sub_mny & stagetool = one,
[
*t$
end_sub_mny = zero
]

```

```

psub_call_s$  #Call to sub level
result = nwadrs(sblank, sub_prg_no$)
sub_prg_no$ = sub_prg_no$ + 1000 #Add sub number offset
if prognos$ = sub_prg_no$, result = mprint(sprgnerror)
if spaces$,
[
!spaces$
spaces$ = zero
pbld, n$, "(CLS,", *sub_prg_no$, ")", e$
spaces$ = prv_spaces$
]
else,
pbld, n$, "(CLS,", *sub_prg_no$, ")", e$

```

```

psub_st_s$    #Header in sub leveln
result = nwadrs(sblank, sub_prg_no$)
" ", e$ #Blank Line
if spaces$,
[
!spaces$
spaces$ = zero
pbld, n$, "(DFS,", *sub_prg_no$, ")", e$
spaces$ = prv_spaces$
]
else,
pbld, n$, "(DFS,", *sub_prg_no$, ")", e$
pbld, n$, sgabsinc, e$

```

```

psub_end_s$   #End in sub level
n$, "(ENS)", e$
prv_absinc$ = -1

```

```
# -----  
# Canned Text  
# -----  
pcan      #Canned text - before output call  
  strcantext = sblank  
  if cant_no$ > zero,  
  [  
    if cant_pos1$ = zero, pcant_1  
    if cant_pos2$ = zero, pcant_2  
    if cant_pos3$ = zero, pcant_3  
    if cant_pos4$ = zero, pcant_4  
    if cant_pos5$ = zero, pcant_5  
    if cant_pos6$ = zero, pcant_6  
    if cant_pos7$ = zero, pcant_7  
    if cant_pos8$ = zero, pcant_8  
    if cant_pos9$ = zero, pcant_9  
    if cant_pos10$ = zero, pcant_10  
    pbld, n$, strcantext, e$  
    strcantext = sblank  
  ]  
  
pcan1     #Canned text - with move  
  strcantext = sblank  
  if cant_no$ > zero,  
  [  
    if cant_pos1$ = one, pcant_1  
    if cant_pos2$ = one, pcant_2  
    if cant_pos3$ = one, pcant_3  
    if cant_pos4$ = one, pcant_4  
    if cant_pos5$ = one, pcant_5  
    if cant_pos6$ = one, pcant_6  
    if cant_pos7$ = one, pcant_7  
    if cant_pos8$ = one, pcant_8  
    if cant_pos9$ = one, pcant_9  
    if cant_pos10$ = one, pcant_10  
  ]  
  if cstop$, strcantext = strcantext + sm00  
  if cgstop$, strcantext = strcantext + sm01  
  #Output of strcantext occurs at the end of the output line
```

```
pcan2      #Canned text - after output call
strcantext = sblank
if cant_no$ > zero,
[
  if cant_pos1$ = two, pcant_1
  if cant_pos2$ = two, pcant_2
  if cant_pos3$ = two, pcant_3
  if cant_pos4$ = two, pcant_4
  if cant_pos5$ = two, pcant_5
  if cant_pos6$ = two, pcant_6
  if cant_pos7$ = two, pcant_7
  if cant_pos8$ = two, pcant_8
  if cant_pos9$ = two, pcant_9
  if cant_pos10$ = two, pcant_10
  pbld, n$, strcantext, e$
  strcantext = sblank
]
```

```
pcant_1    #Canned text - output call
cantext$ = cant_val1$
pcant_out
```

```
pcant_2    #Canned text - output call
cantext$ = cant_val2$
pcant_out
```

```
pcant_3    #Canned text - output call
cantext$ = cant_val3$
pcant_out
```

```
pcant_4    #Canned text - output call
cantext$ = cant_val4$
pcant_out
```

```
pcant_5    #Canned text - output call
cantext$ = cant_val5$
pcant_out
```

```
pcant_6    #Canned text - output call
cantext$ = cant_val6$
```

```

pcant_out

pcant_7    #Canned text - output call
cantext$ = cant_val7$
pcant_out

pcant_8    #Canned text - output call
cantext$ = cant_val8$
pcant_out

pcant_9    #Canned text - output call
cantext$ = cant_val9$
pcant_out

pcant_10   #Canned text - output call
cantext$ = cant_val10$
pcant_out

pcant_out  #Canned text - build the string for output
#Assign string select type outputs
if cantext$ = three, bld = one
if cantext$ = four, bld = zero
#Build the cantext string
if cantext$ = one, strcantext = strcantext + sm00
if cantext$ = two, strcantext = strcantext + sm01
if cantext$ > four,
[
  strtexno = no2str(cantext$)
  strcantext = strcantext + strm + strtexno
]

# -----
# Position calculations, generally these do not need to be modified
# -----

pmiscint$  #Capture the top level absinc for subprograms
if sub_level$ <= zero, absinc$ = mi2$
#Disable cutpos2 if not 4 axis, saves time
if rot_on_x = zero, cutpos2$ = m_one

pmotion_su #Motion Setup (Set brklinestype & linarc)

```

```

brklinestype$ = zero
linarc$ = zero
if rot_on_x,
[
  if cuttype = one, linarc$ = one #Axis subs
  if cuttype = two, #Polar
  [
    brklinestype$ = rotary_axis$ + three
    linarc$ = one
  ]
]

pcuttype #Determine the cut type
#cuttype (0 = Tool Plane, 1 = Axis Subs, 2 = Polar, 3 = 4/5 axis)
cuttype = rotary_type$
if cuttype = three, cuttype = zero
if mill5$,
[
  if rot_on_x = zero, result = mprint(saxisoff)
  cuttype = three
]
if rotary_axis$,
[
  if rotary_axis$ <> rot_on_x, result = mprint(saxiswarn)
  rot_on_x = rotary_axis$
]
#Check for Tool Origin in Polar Milling
if cuttype = two & (tox$ | toy$ | toz$), result = mprint(stlorgerr)
#Transform Rotate, set mr_rt_actv if user selected 'coordinates'
if sub_trnstyp$ = one & sub_trnmthd$ = two,
[
  #Calculate the rotation incremental angle for G68
  rt_csav = atan2(sub_m2$, sub_m1$)
  rt_cinc = prv_rt_csav - rt_csav
  while rt_cinc > 180, rt_cinc = rt_cinc - 360
  while rt_cinc < -180, rt_cinc = rt_cinc + 360
  if rot_ccw_pos = one, rt_cinc = -rt_cinc
  !rt_csav
  if sub_sec_no$, mr_rt_actv = two
  else, mr_rt_actv = one

```

```

    ]
else, mr_rt_actv = zero
pfcalc_u_min
pmotion_su

pxyzcout    #Map coordinates
if rot_on_x,
[
  if cuttype = zero, pxyzcout0    #Toolplane Positioning
  if cuttype = one, pxyzcout1    #Axis Substitution
  if cuttype = two, pxyzcout2    #Polar Conversion
  if cuttype = three, pxyzcout3    #Simulatneous 4 axis (Multi-axis)
  if rot_ccw_pos = one, csav = -csav
  if mr_rt_actv <> two,
  [
    pcoutrev
    if index, pindxcalc
    pfcalc
  ]
  else, feed = fr_pos$
]
else,
[
  xabs = vequ (x$)
  feed = fr_pos$
]

pxyzcout0    #Toolplane Positioning
xabs = vequ (x$)
if rot_on_x = two, csav = -c$
else, csav = c$

pxyzcout1    #Axis substitution
if rot_on_x = one, #X axis substitution
[
  xabs = x$
  yabs = zero
  zabs = z$ + (rotdia$ / two)
  csav = y$ * (360 / (pi$ * rotdia$))
]

```

```

else, #Y axis substitution
[
xabs = zero
yabs = y$
zabs = z$ + (rotdia$ / two)
csav = x$ * (360 / (pi$ * rotdia$))
]

```

```

pxyzcout2    #polar interpolation
#Drill polar is toolplane drilling toward center
#if not a coincident axis
#Also, Capture initial index position for Polar Milling
if (opcode$ = three & rot_on_x <> three), pxyzcout0
else,
[
if rot_on_x = one, #X axis rotation
[
csav = atan2(y$, z$) #Z+ zero
axisx$ = vequ(aaxisx)
xabs = rotp(csav, x$)
]
if rot_on_x = two, #Y axis rotation
[
csav = atan2(-x$, z$) #Z+ zero
axisx$ = vequ(baxisx)
xabs = rotp(csav, x$)
]
if rot_on_x = three, #Z axis rotation
[
csav = atan2(-y$, x$) #X+ zero
axisx$ = vequ(caxisx)
xabs = rotp(csav, x$)
]
csav = csav + c$
]

```

```

pxyzcout3    #Multisurf rotary axis motion
if rot_on_x = one, #Multisurf Rotary about X
[
csav = atan2 (vtooly$, vtoolz$)

```

```

axisx$ = vequ (aaxisx)
]
if rot_on_x = two, #Multisurf Rotary about Y
[
csav = atan2 (-vtoolx$, vtoolz$)
axisx$ = vequ (baxisx)
]
xabs = rotp (csav, x$)
u$ = rotp (csav, u$)
csav = csav + c$

```

```

pcoutrev    #Rotary axis revolution calculation (Modify for wind-up)
cdelta = csav - prv_csav
while abs(cdelta) > ctol, #If motion exceeds ctol, add wind-up
[
if cdelta > zero,
[
rev = rev - one
cdelta = cdelta - 360
]
else,
[
rev = rev + one
cdelta = cdelta + 360
]
]
if cuttype <> one, cabs = rev * 360 + csav
else, cabs = sav_rev * 360 + csav
!csav

```

```

pindxcalc    #Index move calculations, direction is shortest
#Check if in tolerance
cdelta = frac(abs(csav)/ctable)
if cdelta > ixtol & cdelta < 1-ixtol,
result = mprint(sindxerror)
cdelta = prvcabs - cabs
#Phase shift delta 10 revolutions, check odd/even
if frac(int((cdelta + 3600)/180)/two), indx_mc = one
else, indx_mc = zero
#Set range 0-360

```

```

indx_out = csav
while indx_out < 0, indx_out = indx_out + 360
while indx_out > 360, indx_out = indx_out - 360

```

#Feedrate calculations

```

pfcalc      #Feedrate calculations, gcode 0 does not evaluate
if gcode$ <> zero,
[
  if fmrnd(cabs) = prvcabs | index, pfcalc_u_min
  else,
  [
    if cuttype = one & (cutpos2$ <= one | cutpos2$ = four),
    pfcalc_u_min
    else, pfcalc_deg_inv
  ]
  if ipr_type <> prv_ipr_type, prv_feed = c9k
]

```

pfcalc_u_min #Feedrate unit/min

```

ipr_type = zero
feed = fr_pos$
if feed > maxfeedpm, feed = maxfeedpm
prvfrdeg = feed

```

pfclc_deg_inv #Feedrate deg/min

```

circum = zabs * two * pi$
if circum = zero, circum = c9k      #Don't allow Zero
ldelta = sqrt((xabs-prv_xabs)^2+(yabs-prv_yabs)^2+(zabs-prv_zabs)^2)
cdelta = ((abs(cabs - prvcabs))/360)*circum
if ldelta = zero, cldelta = cdelta
else, cldelta = sqrt(cdelta^two + ldelta^two)
if cldelta = zero, cldelta = c9k
if use_frinv,
[
  #Feedrate inverse calculation
  ipr_type = two
  prv_feed = c9k #Always force feed
  frinv = fr_pos$/cldelta
  if frinv > maxfrinv, frinv = maxfrinv
  feed = frinv
]

```

```

    ]
else,
[
    #Feedrate deg/min control and calculation
    ipr_type = zero #Change to ipr_type = one to force new DPM
    frdeg = abs(cdelta/cldelta) * abs(fr_pos$ * (360/circum))
    if abs(frdeg - prvfrdeg) > frdegstp | ipr_type <> prv_ipr_type,
    [
        #Control output of frdeg
        prvfrdeg = frdeg
        feed = frdeg
    ]
    if frdeg > maxfrdeg, feed = maxfrdeg
]

#Incremental calculations
ps_inc_calc #Incremental calculations, start
    xia = fmtrnd(xabs)
    yia = fmtrnd(yabs)
    zia = fmtrnd(zabs)
    xinc = vsub (xia, prv_xia)
    ps_cinc_calc

ps_cinc_calc #Incremental calculations, start rotary
    cia = fmtrnd(cabs)
    cinc = cia - prv_cia

pe_inc_calc #Incremental calculations, end
    prvcabs = fmtrnd(cabs) #Avoid updating until called explicitly
    !xia, !yia, !zia, !cia
    !x$, !y$, !z$

# -----
# Numbered questions for Mastercam Mill
# -----
38. Rapid feedrate? 300.0
1538. Rapid feedrate (metric)? 10000.0

80. Communications port number for receive and transmit (1 or 2) ? 2
81. Data rate (110,150,300,600,1200,2400,4800,9600,14400,19200,38400)? 1200

```

- 82. Parity (E/O/N)? E
- 83. Data bits (7 or 8)? 7
- 84. Stop bits (1 or 2)? 2
- 85. Strip line feeds? N
- 86. Delay after end of line (seconds)? 0
- 87. Ascii, Eia, or Binary (A/E/B)? A
- 88. Echo keyboard to screen in terminal emulation? n
- 89. Strip carriage returns? N

- 90. Drive and subdirectory for NC files?
- 91. Name of executable post processor? MP
- 92. Name of reverse post processor? RP
- 93. Reverse post PST file name? RPFAN

- 100. Number of places BEFORE the decimal point for sequence numbers? 3
- 101. Number of places AFTER the decimal point for sequence numbers? 0
- 103. Maximum spindle speed? 10000
- 107. Average time for tool change (seconds)? 5.0

- 159. Show first and last position as fully compensated in simulation? n

- 161. Enable Home Position button? y
- 162. Enable Reference Point button? y
- 163. Enable Misc. Values button? y
- 164. Enable Rotary Axis button? y
- 165. Enable Tool Plane button? y
- 166. Enable Construction Plane button? y
- 167. Enable Tool Display button? y
- 168. Check tplane during automatic work origin creation? y

- # -----
- # Default Miscellaneous Real Values
- # -----
- 201. Default miscellaneous real variable 1 (mr1)? 0.0
- 202. Default miscellaneous real variable 2 (mr2)? 0.0
- 203. Default miscellaneous real variable 3 (mr3)? 0.0
- 204. Default miscellaneous real variable 4 (mr4)? 0.0
- 205. Default miscellaneous real variable 5 (mr5)? 0.0
- 206. Default miscellaneous real variable 6 (mr6)? 0.0
- 207. Default miscellaneous real variable 7 (mr7)? 0.0

208. Default miscellaneous real variable 8 (mr8)? 0.0
209. Default miscellaneous real variable 9 (mr9)? 0.0
210. Default miscellaneous real variable 10 (mr10)? 0.0

Default Miscellaneous Real Values (METRIC)

1601. Default miscellaneous real variable 1 (mr1) (metric)? 0.0
1602. Default miscellaneous real variable 2 (mr2) (metric)? 0.0
1603. Default miscellaneous real variable 3 (mr3) (metric)? 0.0
1604. Default miscellaneous real variable 4 (mr4) (metric)? 0.0
1605. Default miscellaneous real variable 5 (mr5) (metric)? 0.0
1606. Default miscellaneous real variable 6 (mr6) (metric)? 0.0
1607. Default miscellaneous real variable 7 (mr7) (metric)? 0.0
1608. Default miscellaneous real variable 8 (mr8) (metric)? 0.0
1609. Default miscellaneous real variable 9 (mr9) (metric)? 0.0
1610. Default miscellaneous real variable 10 (mr10) (metric)? 0.0

Enable/Disable Miscellaneous Real Variable switches

1611. Enable miscellaneous real variable 1? y
1612. Enable miscellaneous real variable 2? y
1613. Enable miscellaneous real variable 3? y
1614. Enable miscellaneous real variable 4? y
1615. Enable miscellaneous real variable 5? y
1616. Enable miscellaneous real variable 6? y
1617. Enable miscellaneous real variable 7? y
1618. Enable miscellaneous real variable 8? y
1619. Enable miscellaneous real variable 9? y
1620. Enable miscellaneous real variable 10? y

Default Miscellaneous Integer Values

301. Work Coordinates [0=1=G92, 2=H's] (mi1)? 2
302. Absolute or Incremental [0=ABS, 1=INC] (mi2)? 0
303. Reference Return at tool end[1=G28] (mi3)? 0
304. Default miscellaneous integer variable 4 (mi4)? 0
305. Default miscellaneous integer variable 5 (mi5)? 0

- 306. Default miscellaneous integer variable 6 (mi6)? 0
- 307. Default miscellaneous integer variable 7 (mi7)? 0
- 308. Default miscellaneous integer variable 8 (mi8)? 0
- 309. Default miscellaneous integer variable 9 (mi9)? 0
- 310. Default miscellaneous integer variable 10 (mi10)? 0

Enable/Disable Miscellaneous Integer Variable switches

- 1621. Enable miscellaneous integer variable 1? y
- 1622. Enable miscellaneous integer variable 2? y
- 1623. Enable miscellaneous integer variable 3? y
- 1624. Enable miscellaneous integer variable 4? y
- 1625. Enable miscellaneous integer variable 5? y
- 1626. Enable miscellaneous integer variable 6? y
- 1627. Enable miscellaneous integer variable 7? y
- 1628. Enable miscellaneous integer variable 8? y
- 1629. Enable miscellaneous integer variable 9? y
- 1630. Enable miscellaneous integer variable 10? y

Configuration File association parameters (default is "y")

- #400. Name of associated cfg file?
- 401. Read SYSTEM COLORS section? y
- 402. Read ALLOCATIONS section? y
- 403. Read TOLERANCES section? y
- 404. Read DATA PATHS section? y
- 405. Read COMMUNICATIONS section? y
- 406. Read DRAFT SETTINGS section? y
- 407. Read MISCELLANEOUS section? y
- 408. Read NC SETTINGS section? y
- 409. Read DIALOG SCRIPTS section? y
- 410. Read DESIGN SETTINGS section? y
- 411. Read PLOTTER SETTINGS section? y
- 412. Read ALT-KEY ASSIGNMENTS section? y
- 413. Read CAD section? y
- 414. Read START/EXIT section? y
- 415. Read SCREEN section? y
- 416. Read FILE NAMES section? y

1500. Chook to execute from 'Misc. values' button?
1501. Insert parameter information in the ascii NCI? n
1502. Write operation information to binary file (.ops)? n
1503. Write transform operations (0=transform ops, 1=source ops, 2=both)? 1
-
1520. Display a warning when cutter compensation in control simulation finds an error? n
1521. Number of controller look-ahead blocks for CDC in control? 2
-
1530. Ignore work offset numbers when processing subprograms? y
1531. Ignore contour flags when processing subprograms? y
-
- # Do NOT manually change the answer for Q.1999 !
1999. Product major version number that post supports? 9
-
3001. Machine acceleration? 2
3002. timing size? .1