

PMR 3101

**INTRODUÇÃO À MANUFATURA
MECÂNICA**

Aula 11: USINAGEM CNC
(Comando Numérico Computadorizado)

1. Entendimento básico do CNC

FUNDAMENTOS DO **CNC** PARA USINAGEM

Máquina CNC para usinagem é um equipamento eletromecânico computadorizado, que recebe informações em linguagem de máquina via computador próprio. Este irá compila-las e transmiti-las em linguagem decodificada a servo-motores e a outros mecanismos, fazendo, deste modo, com que movimentem eixos ou configurem dezenas de atitudes necessárias para que se fabrique, por meio de usinagem (remoção de material por ferramenta cortante), peças e produtos de baixa à altíssima complexidade, numa sequência prevista e definida pelo programador CNC.



Aplicações do Comando Numérico



torneamento



fresamento



Máquinas de medir por coordenadas



robôs



Máquinas de corte a Laser/plasma



manipuladores

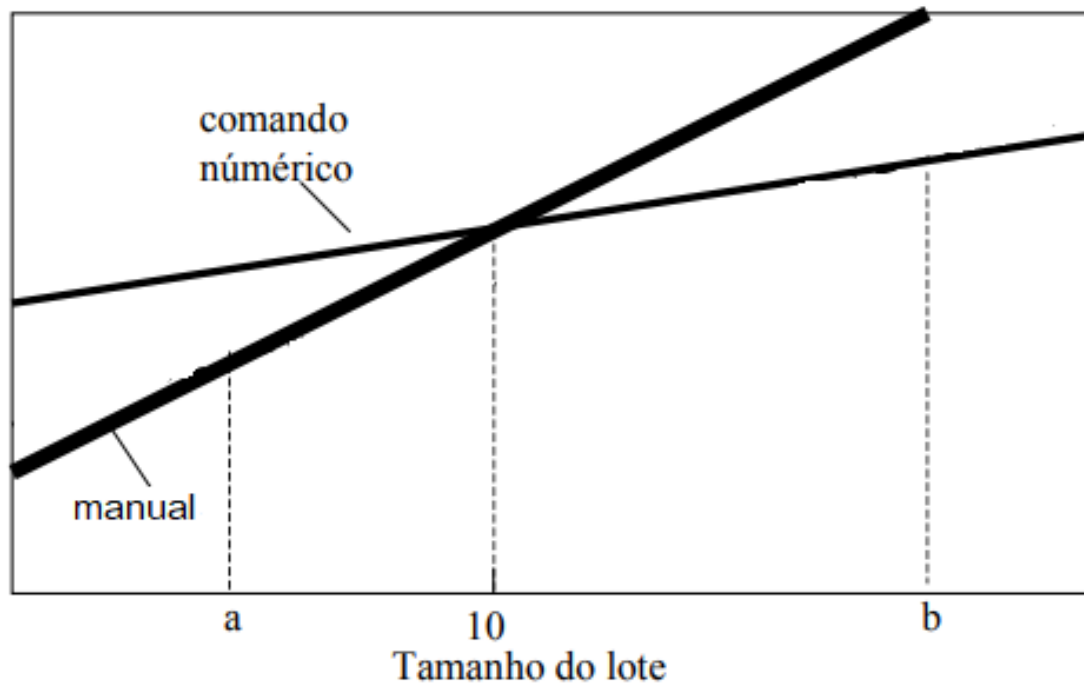


Exemplos

Walter Tools WFL Demo 2.0

<https://www.youtube.com/watch?v=tHEJafOXhAE>

Usinagem manual X Usinagem CNC





Torno de convencional X comando numérico



→ Velocidade da árvore	• Baixa (~3.600 rpm)	• alta (10.000+ rpm)
→ Velocidades de avanço	• Baixas	• Altas
→ Potência na árvore	• Baixas	• Altas
→ Velocidades contínuas	• Não	• Sim
→ Exatidão de posicionamento	• Baixa (~0,05 mm)	• Alta (~0,001 mm)
→ Flexibilidade	• Baixa	• Alta (múltiplos prog.)
→ Integração com sistemas de manufatura (robôs, células, linhas transfers, etc.)	• Não, difícil	• Sim, fácil
→ Dependência do operador	• Alta	• Muito baixa



Informações controladas pelo computador

- **primárias** ==> controle dos movimentos principais da máquina (rotação da árvore, movimento, incremento e sincronismos dos eixos de movimentação, acelerações e velocidades de avanço, etc.)
- **secundárias** ==> controle dos sistemas auxiliares, (refrigeração, troca de ferramentas, transporte de cavacos, pressão nas linhas ar comprimido e fluido hidráulico, vácuo, etc.)

1.1 Composição básica de uma máquina CNC

a. Unidade de entrada de dados

Também conhecido como "*Input unit*", trata-se do mecanismo responsável por receber os dados dos programas e os apresentar ao computador.

b. Computador

Processador que interpreta o conjunto de instruções contidas no programa CNC e envia as informações decodificadas para servo-motores que vão acionar os eixos (X, Y, Z, A, B, C) da máquina, de forma sincronizada e controlada, para que os movimentos desejados sejam realizados.

c. Mecanismos comandados ou auxiliares

São mecanismos, controladores e equipamentos que serão operados pela linguagem decodificada do processador. São servo-motores, PLC, micro switches, atuadores etc.

d. Máquina ferramenta

Totalmente integrada com o CNC, é a estrutura física da máquina: base, mesa, eixos, fusos, gabinete; sistemas mecânicos, hidráulicos, pneumáticos e elétricos que em conjunto formam a máquina de usinagem.

1.2 Alguns dos benefícios mais importantes do CNC

a. O primeiro benefício (Automatização)

Em todas as formas de máquinas ferramentas CNC é, sem dúvida, a automatização o benefício principal, pois a intervenção humana relacionada à produção da peça-produto é drasticamente reduzida ou eliminada.

Muitas máquinas CNC podem rodar sem qualquer acompanhamento humano durante um ciclo de usinagem completo, permitindo ao operador tempo livre para desempenhar outras tarefas.

Deste modo, o usuário CNC terá vários benefícios que incluem a redução da fadiga física e mental do operador, menos enganos causados por erro humano, usinagem consistente e em tempo previsível de fabricação para cada produto.

Considerando que a máquina estará sob o controle de um programa computadorizado, o nível de habilidade requerido do operador de CNC relacionado à prática de usinagem é básico; e também bastante reduzido se comparado ao operador de máquinas ferramentas convencionais.

b. O segundo benefício (Precisão e Repetitividade)

A tecnologia CNC faz peças consistentes e precisas, estas máquinas CNC de hoje ostentam precisões incríveis de especificações e também quanto à repetitividade.

Isto significa que uma vez que um programa esteja testado e aprovado, podem ser produzidos dois, dez, ou mil produtos idênticos, facilmente, com precisão e consistência adequadas.

c. O terceiro benefício (Flexibilidade)

Também oferecido pela maioria das máquinas ferramentas CNC é a flexibilidade, desde que estas máquinas estejam sob o controle de programas; pois cortar um produto diferente quase é tão fácil quanto carregar um programa diferente na memória do computador.

Uma vez que um programa tenha sido verificado e executado para produção, poderá ser substituído facilmente por um próximo tipo de peça a ser cortada.

Isto nos leva a outro benefício, o da troca rápida de “*setup*”; estas máquinas são muito fáceis de montar e produzir um produto específico, assim como carregar um novo programa. Sendo assim, minimizam muito o tempo de *setup*. Em certos casos, quase zeram este tempo quando possuem “*pallets*” para montagem externa.

1.3 Controle de movimento - o coração do CNC

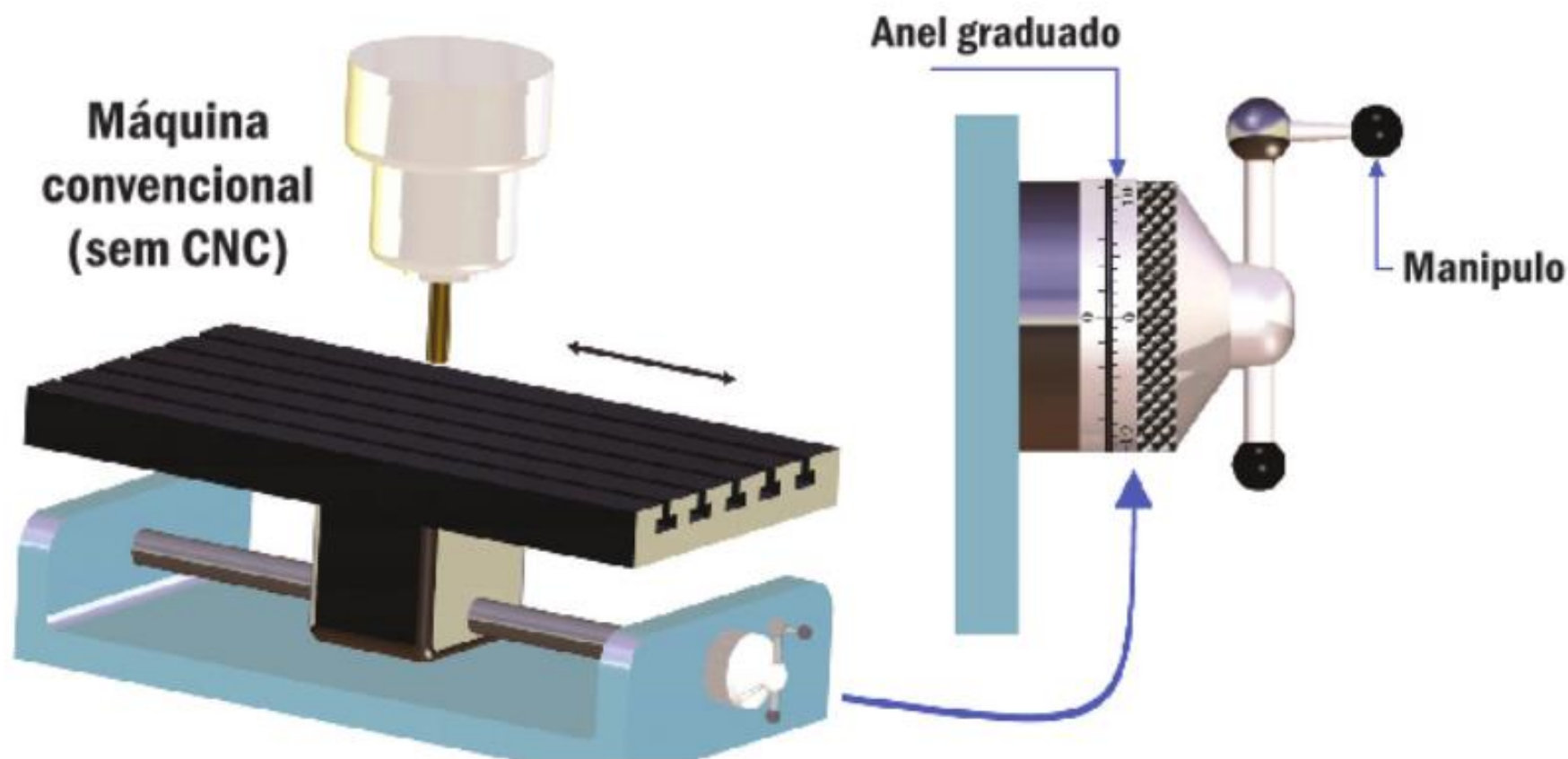


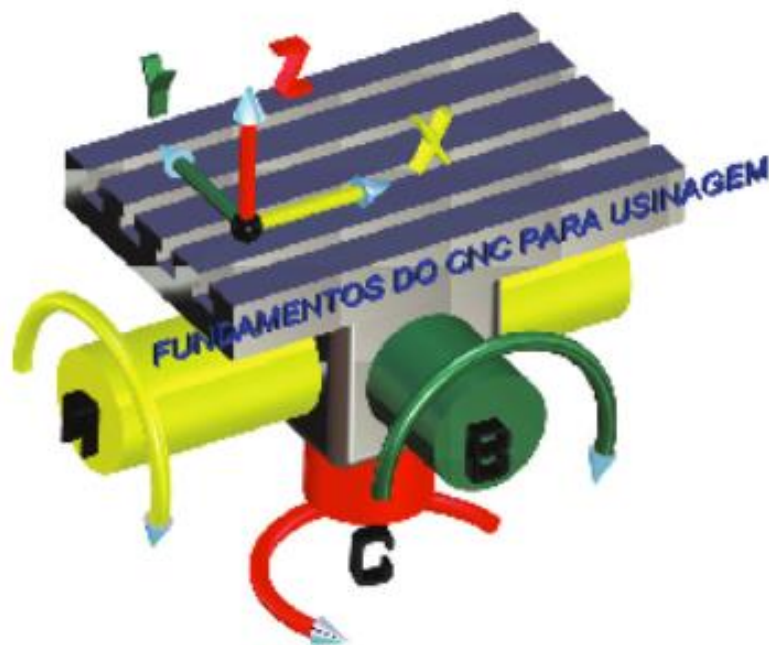
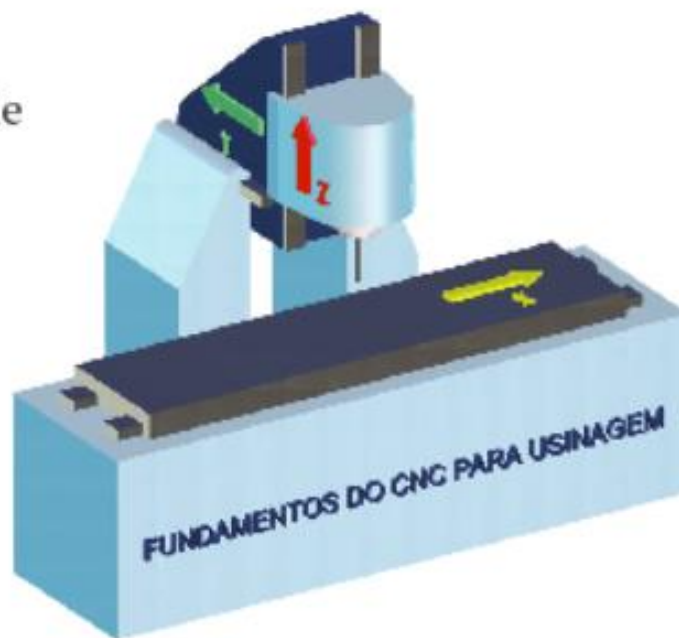
Figura 1.3.1 O movimento de uma mesa de máquina ferramenta convencional é acionado pelo operador que gira uma manivela (manípulo). O posicionamento preciso é realizado pelo operador que conta o número de voltas a ser dada na manivela com graduações no dial (anel graduado), desta forma dependendo exclusivamente da perícia do operador.

1.4 Os dois tipos de eixos mais comuns:

a. Eixos lineares

São eixos dirigidos ao longo de um caminho retilíneo.

Figura 1.4.1 Exemplo de três eixos lineares (X, Y e Z)



b. Eixos rotativos

São dirigidos ao longo de um caminho circular ou angular. A figura ao lado representa os eixos mais comuns encontrados em uma mesa CNC, onde é possível perceber os eixos rotativos A, B e C.

Figura 1.4.2. Exemplo representativo de eixos diversos, incluindo rotativos A, B e C, todos na mesa da máquina.

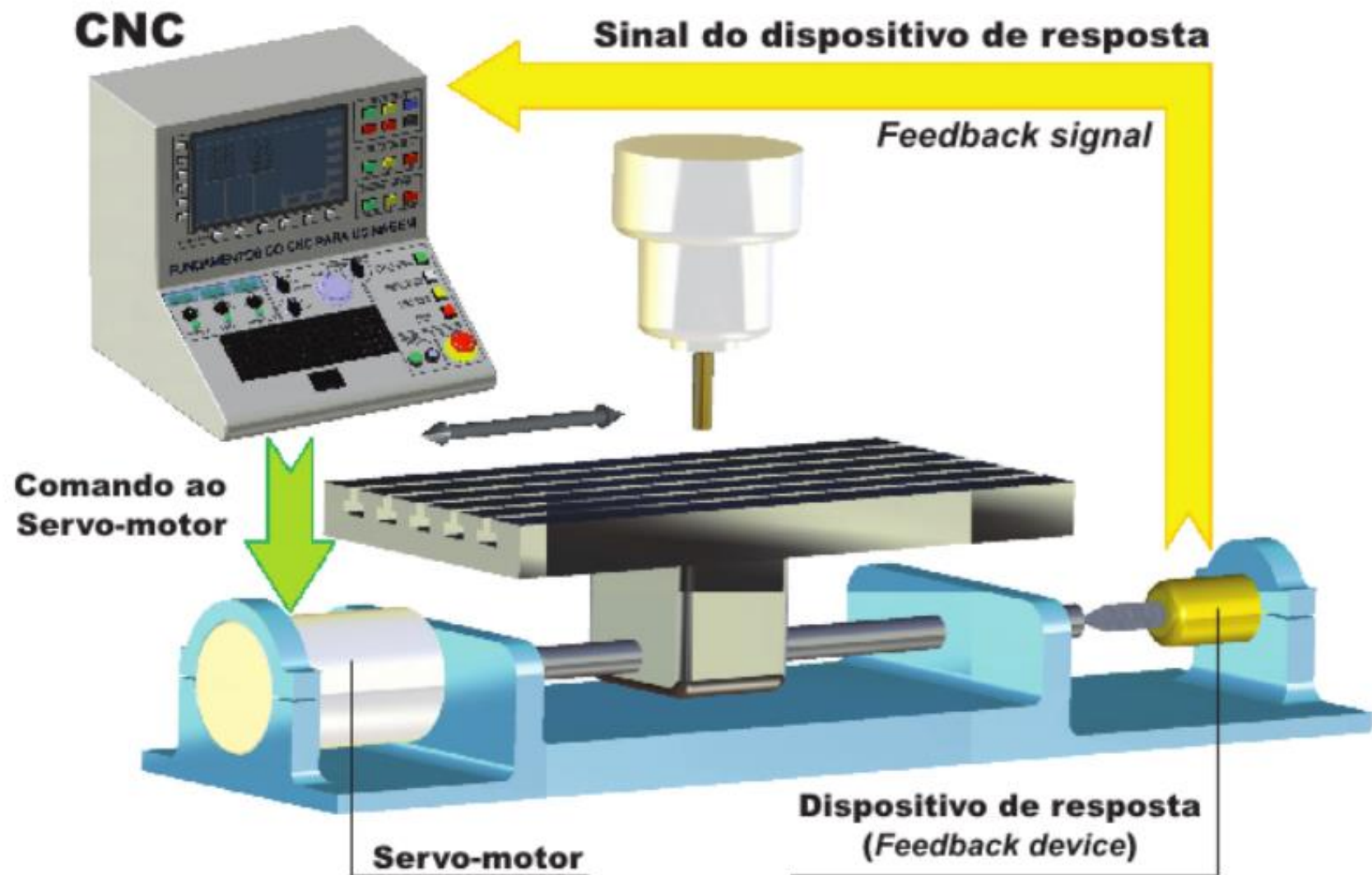


Figura 1.4.3 Uma máquina CNC recebe a posição comandada do programa CNC. O servo-motor é acionado com a quantidade correspondente de giros no fuso de esferas de aço, na velocidade adequada para posicionar a mesa onde foi comandada ao longo de um ou mais eixos lineares ou rotativos no tempo exato definido pela velocidade programada. Um mecanismo de resposta confirma se a quantidade de giros no fuso guia realmente ocorreu ou está ocorrendo.

1.5 Entendendo os sistemas de coordenadas

O lugar onde as linhas básicas verticais e horizontais se encontram é chamado de ponto de origem do gráfico. Para propósitos de CNC, este ponto de origem é chamado pelo programa comumente de ponto zero (também chamado de zero de trabalho, zero peça, origem do programa etc.).

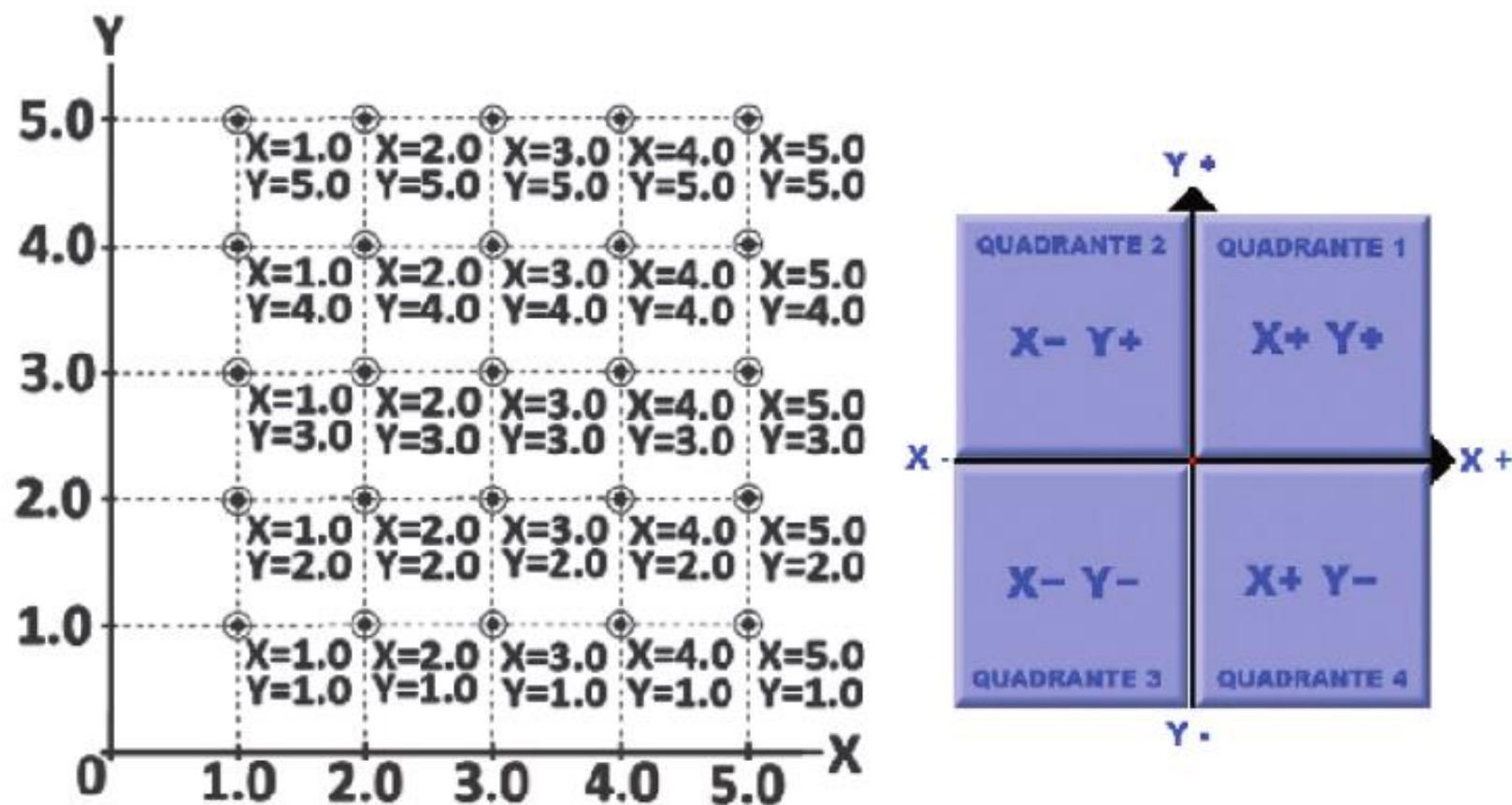


Figura 1.6.1 No sistema de coordenada retangular para o plano XY, o ponto zero do programa estabelece o ponto de referência para movimento comandado em um programa de CNC. Isto permite ao programador especificar movimentos de um local comum. Se o zero de programa for sabiamente escolhido, normalmente podem ser tomadas as coordenadas precisas para o programa diretamente.

1.7 Absoluto versus incremental

É muito fácil identificar o local preciso da ferramenta em qualquer comando dado pelo modo absoluto.

No modo incremental, pode ser muito difícil determinar a posição referencial e atual da ferramenta para um determinado comando de movimento; porém, há situações de trabalho que justificam o uso do modo incremental. Como, por exemplo, em alguns casos quando se trabalha em MDI (Manual Data Input), programando na própria máquina.

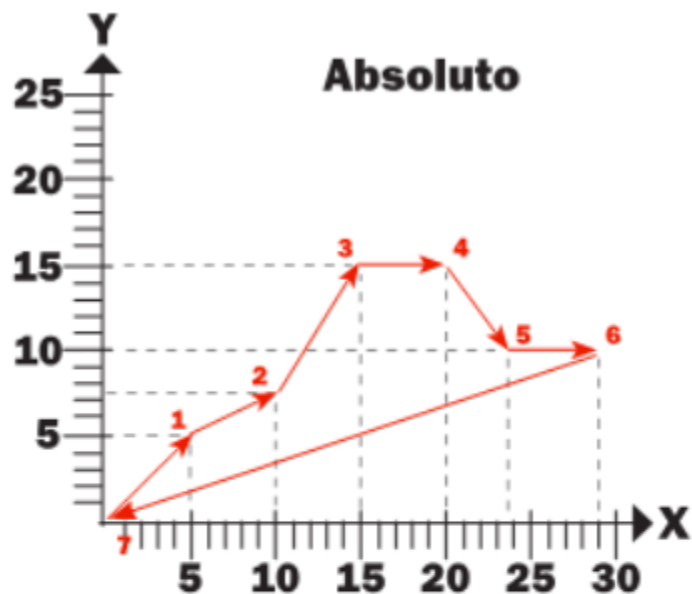
Além de ser muito fácil de determinar a posição atual para qualquer comando, outro benefício de se trabalhar no modo absoluto tem a ver com os enganos ocorridos durante os comandos de movimento.

É importante tomar muito cuidado ao se fazer os comandos de movimento; novatos têm a tendência de pensar em modo incremental. Porém, trabalhando-se no modo absoluto (como é aconselhável), o programador sempre se perguntará: “a que posição a ferramenta deveria ser movida?”. Esta posição é relativa ao zero do programa e não à posição atual da ferramenta.

a. Modo Absoluto - (cujo código G é G90) As Coordenadas dos pontos de todos os movimentos serão especificadas a partir do ponto zero do programa.

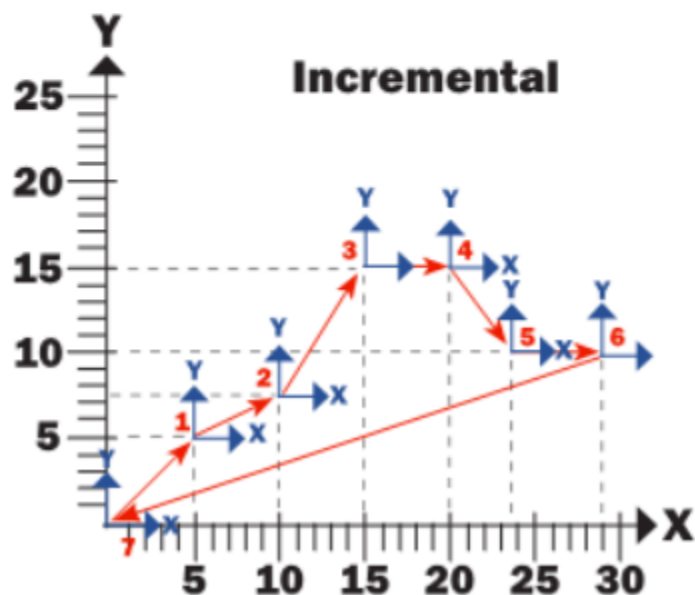
b. Modo Incremental - (cujo código G é G91) O movimento é especificado a partir da posição atual da ferramenta, não do zero do programa.

As próximas figuras explicam os dois conceitos:



Absoluto		
Ponto	Coordenadas	
	X	Y
1	5,00	5,00
2	10,00	7,50
3	15,00	15,00
4	20,00	15,00
5	23,70	10,00
6	29,00	10,00
7	0,00	0,00

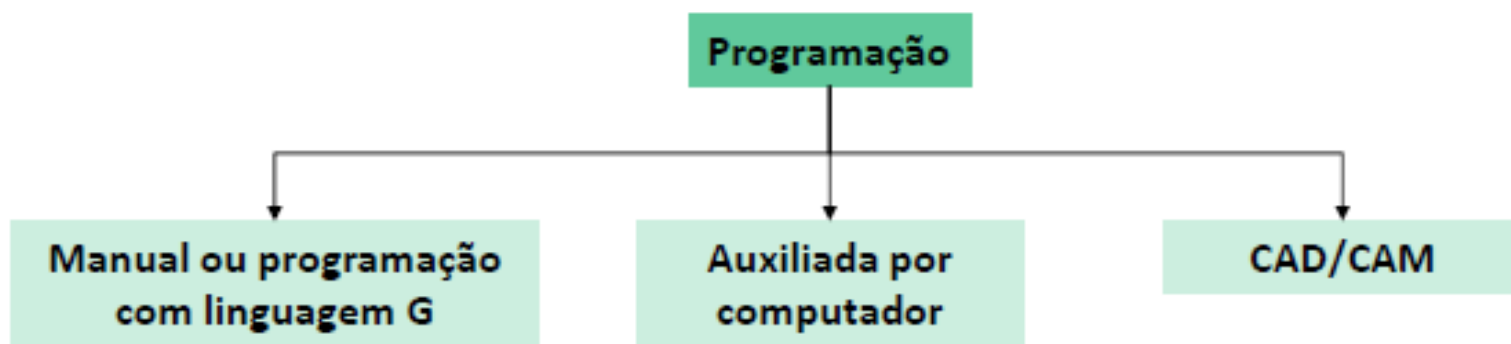
Figura 1.7.1 Acima, é possível se entender com facilidade o conceito do modo absoluto.



Incremental		
Ponto	Coordenadas	
	X	Y
1	5,00	5,00
2	5,00	2,50
3	5,00	7,50
4	5,00	0,00
5	3,70	-5,00
6	5,30	0,00
7	-29,00	-10,00



Tipos de programação

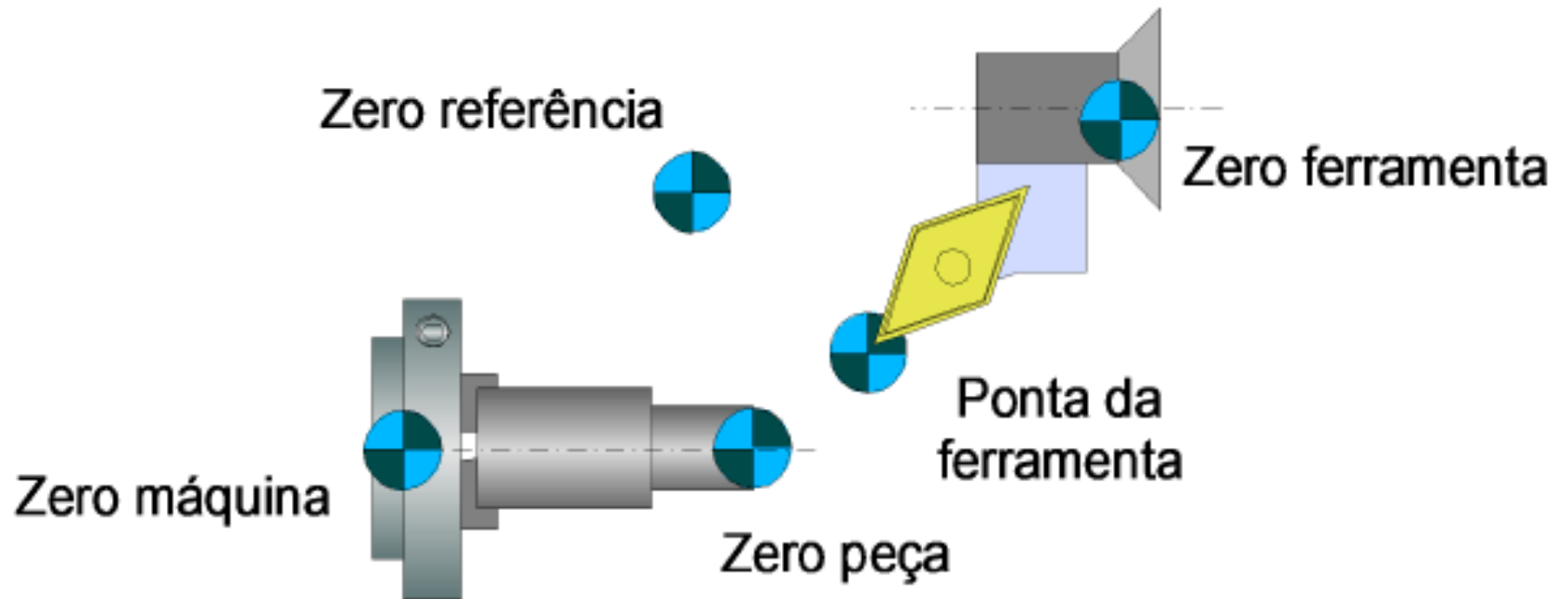


A programação manual com códigos G é a linguagem mais comum utilizada para gerar instruções de movimentação da ferramenta em máquinas de comando numérico.



Zeros da programação

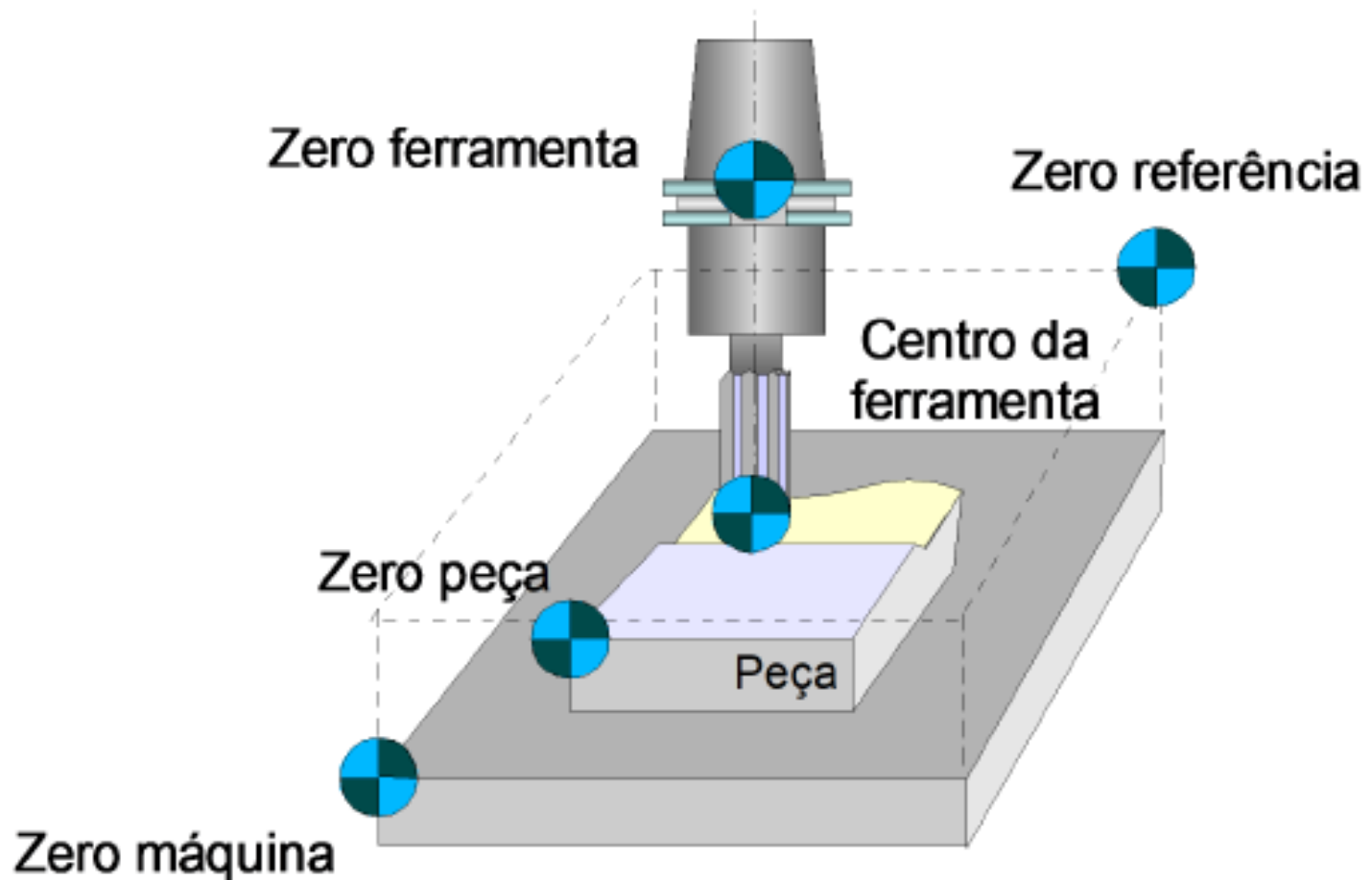
Torneamento





Zeros da programação

Fresamento



Outras considerações sobre movimentos de eixos

Até aqui, a preocupação principal foi mostrar como determinar o ponto de cada comando de movimento. Como você pode perceber, para tanto foi requerida uma compreensão do sistema de coordenada retangular ou cartesiano.

Porém, há outras preocupações de como um movimento acontecerá. Por exemplo, o tipo de movimento (rápido, interpolação linear, circular etc.), a taxa de avanço também deve ser uma das considerações do programador. Serão discutidas estas e outras questões durante o Fundamento 3.

1.8 O programa CNC

Quase todos os controles CNC, atualmente, usam um único formato de endereço de palavra para se programar em código ou linguagem de máquina. Geralmente, a maioria dos códigos atuais é baseada na norma ISO 1056^r (as poucas exceções para isto são certos controles conversacionais, como, por exemplo, o CNC *Heidenhain*^r e outros. No entanto, o próprio CNC da companhia *Heidenhain* também propicia, nos seus comandos, um modo de programação no formato de código mais universal, como o código G ou código ISO).

Por intermédio deste formato de endereço de palavra, podemos dizer que o programa CNC é feito sobre sentenças de comandos. Cada comando é composto de palavras CNC e cada qual tem seu endereço de letras e valores numéricos.

1.9 Exemplos do Código G padrão ISO 1056

um bloco de programa CNC é composto de uma sequência de palavras CNC;

- a. Lê as palavras do bloco (ou seja, a sentença toda);
- b. Interpreta as palavras do bloco, executando os cálculos pertinentes;
- c. Decodifica as palavras interpretadas em um comando eletroeletrônico ou em código de linguagem interna do CNC;
- d. Envia o comando aos mecanismos executores na máquina CNC;
- e. Aguarda o *feedback* até a finalização do comando dos mecanismos de resposta;
- f. Passa ao próximo bloco.

Nota: um bloco de programa CNC não contém especificamente apenas uma palavra CNC; porém, uma sequência delas que dá sentido ao comando exigido pelo programador naquele bloco específico. Exemplo:

Do bloco de comando → N005 G54 G90 G71 S400 M03

Temos as palavras:

N005	- Identifica a sequência do bloco no programa.
G54	- Solicita que uma origem seja iniciada.
G90	- Diz que o modo é absoluto.
G71	- Diz que as medidas serão mm (sistema métrico).
S400	- Indica a rotação da ferramenta (RPM).
M03	- Diz que o sentido da rotação é horário.

Exemplo de programação G

Blocos de comando	Descrição dos blocos
O0001	Número de Programa (como "Default", o sistema de medidas do programa, em geral, é em polegadas – G70).
N05 G54 G90 G71 S400 M03	Seleciona as coordenadas, sistema absoluto e o fuso deve girar no sentido horário a 400 RPM, no sistema métrico G71.
N10 G00 X100. Y100	Rápido para o local de XY do primeiro furo.
N15 G43 H01 Z10. M08	Inicia a compensação de comprimento de ferramenta; rápido em Z para posição acima da superfície para furar; liga o refrigerante.
N20 G01 Z-5.0 F100	Avance para executar o primeiro furo até Z=-5mm, na velocidade de 100 mm pôr minutos.
N25 G00 Z10	Rápido para fora do furo a Z=10mm.
N30 X200.	Rápido para o segundo furo.
N35 G01 Z-5.0	Avance para o segundo furo.
N40 G00 Z100. M09	Rápido para fora do segundo furo; desliga a refrigeração da ferramenta.
N45 G91 G28 Z0	Retorno posição de referência em Z.

1.10 Palavras de programação CNC

PALAVRAS COM G – o código ISO é conhecido também como Código G, (G01, G02, G03..., a função G vem da expressão “*General Functions*”

A norma ISO padronizou as funções G de 0 a 99, sendo que existem algumas funções que não possuem reserva de funcionalidade; ou seja, os fabricantes de CNC podem usá-las como acharem melhor. Além disto, há fabricantes de CNC que usam G100 ou maior, ou ainda G com um número não natural, por exemplo, G52.1.

PALAVRAS COM M – Também pela norma ISO, o código ou a palavra iniciada com M é muito comum; a letra M vem da expressão “*Miscellaneous Functions*” ou função miscelânea, que pela norma ISO foi padronizada de 0 a 99. Neste caso, também existem algumas funções que não possuem reserva de funcionalidade; ou seja, os fabricantes de CNC podem, do mesmo modo, usá-las como acharem melhor. Em geral, a função M serve para identificar uma atitude do tipo liga ou desliga de algum mecanismo ou função do CNC.

PALAVRAS COM N – A norma ISO sugere que as palavras iniciadas com N identifiquem um bloco de comando (*Block or Line Numberⁱ*), e, por isto, convencionou-se, para facilitar o entendimento do programa CNC, que o mesmo poderia identificar o número da sequência de blocos com uma palavra e uma sequência de número, que seriam os números dos blocos. A letra N é a mais usual nos CNC conhecidos, devido à sugestão da norma ISO. Normalmente, as palavras N têm o seguinte formato: N001; N002; N003... N00N; muitos programadores em vez de uma sequência de 1 em 1 preferem usar de 5 em 5, isto auxilia muito quando se deseja introduzir alguns blocos extras no momento do “*Try-Out*”.

Nota: o primeiro bloco de um programa é usualmente, nos programas em Códigos G, iniciado com a letra “O”; e, tradicionalmente, acrescido de um número que identifica o programa CNC. Por exemplo: **O0123325** no início do programa deve indicar para o usuário, de alguma forma, que o produto usinado com aquele programa está relacionado com o número 123325.

1.11 Outras palavras comuns

a. Palavras de posicionamento

Exemplos: X90.000 para posição de X à distância de 90mm de zero em X; ou Y45.001 para a posição de Y à distância de 45.001mm de zero em Y; ou eixos angulares como A32.000 para o Ângulo de 32 graus do grau zero do eixo A.

b. Palavras Gerais

Exemplos: F450, que identifica um avanço de 450mm por minuto; H01, compensação de altura de ferramenta na posição 1; ou D02, compensação do diâmetro ou raio da ferramenta na posição 2.

Nota: além das palavras antes descritas, existem outras muito conhecidas; porém, para o entendimento melhor de cada uma, é importante a consulta ao manual do fabricante do CNC, pois cada fabricante tem uma formatação exclusiva para estas palavras.

A seguir, uma lista breve de alguns dos tipos de palavras e as especificações de endereço de letra mais comuns (a partir deste capítulo, usaremos os códigos referenciados pela norma ISO 1056).

O - Número de Programa (Identificação do programa)
N - Número de Sucessão (Identificação de linha)
G - Função Preparatória (Veja tabela item 1.15)
X - Eixo X
Y - Eixo Y
Z - Eixo Z
R - Raio
F - Taxa de Avanço
S - Rotação do Fuso
H - Compensação de comprimento da ferramenta
D - Compensação de raio da ferramenta
T - Ferramenta
M - Função miscelânea (Veja tabela item 1.16)

Código G	Função
G00	Posicionamento rápido
G01	Interpolação linear
G02	Interpolação circular no sentido horário (CW°)
G03	Interpolação circular no sentido anti-horário (CCW°)
G04	Temporização ($Dwell^{\circ}$)
G05	Não registrado
G06	Interpolação parabólica
G07	Não registrado
G08	Aceleração
G09	Desaceleração
G10 a G16	Não registrado
G17	Seleção do plano XY
G18	Seleção do plano ZX
G19	Seleção do plano YZ
G20 a G24	Não registrado
G25 a G27	Permanentemente não registrados
G28	Retorna a posição do Zero máquina
G29 a G32	Não registrados
G33	Corte em linha, com avanço constante
G34	Corte em linha, com avanço acelerando
G35	Corte em linha, com avanço desacelerando
G36 a G39	Permanentemente não registrados
G40	Cancelamento da compensação do diâmetro da ferramenta
G41	Compensação do diâmetro da ferramenta (Esquerda)
G42	Compensação do diâmetro da ferramenta (Direita)
G43	Compensação do comprimento da ferramenta (Positivo)
G44	Compensação do comprimento da ferramenta (Negativo)
G45 a G52	Compensações de comprimentos das ferramentas (pouco usado para o fim determinado)
G53	Cancelamento das configurações de posicionamento fora do zero fixo
G54	Zeragem dos eixos fora do zero fixo (01)
G55	Zeragem dos eixos fora do zero fixo (02)
G56	Zeragem dos eixos fora do zero fixo (03)

Código G	Função
G57	Zeragem dos eixos fora do zero fixo (04)
G58	Zeragem dos eixos fora do zero fixo (05)
G59	Zeragem dos eixos fora do zero fixo (06)
G60	Posicionamento exato (Fino)
G61	Posicionamento exato (Médio)
G62	Posicionamento (Grosseiro)
G63	Habilitar óleo refrigerante por dentro da ferramenta
G64 a G67	Não registrados
G68	Compensação da ferramenta por dentro do raio de canto
G69	Compensação da ferramenta por fora do raio de canto
G70	Programa em Polegadas
G71	Programa em metros
G72 a G79	Não registrados
G80	Cancelamento dos ciclos fixos
G81 a G89	Ciclos fixos
G90	Posicionamento absoluto
G91	Posicionamento incremental
G92	Zeragem de eixos (mandatário sobre os G54...)
G93	Avanço dado em tempo inverso (<i>Inverse Time</i> ^r)
G94	Avanço dado em minutos
G95	Avanço por revolução
G96	Avanço constante sobre superfícies
G97	Rotação do fuso dado em RPM
G98 e G99	Não registrados

Nota: Os códigos que estão como "não registrados" indicam que a norma ISO não definiu nenhuma função para o código, os fabricantes de máquinas e controles têm livre escolha para estabelecer uma função para estes códigos, isso também inclui os códigos acima de G99.

1.16 Tabela de códigos M (*Miscellaneous Functions* - ISO 1056)

Código M	Função
M00	Parada programa
M01	Parada opcional
M02	Fim de programa
M03	Liga o fuso no sentido horário (CW)
M04	Liga o fuso no sentido anti-horário (CCW)
M05	Desliga o fuso
M06	Mudança de ferramenta
M07	Liga sistema de refrigeração número 2
M08	Liga sistema de refrigeração número 1
M09	Desliga o refrigerante
M10	Atua travamento de eixo
M11	Desliga atuação do travamento de eixo
M12	Não registrado
M13	Liga o fuso no sentido horário e refrigerante
M14	Liga o fuso no sentido anti-horário e o refrigerante
M15	Movimentos positivos (aciona sistema de espelhamento)
M16	Movimentos negativos
M17 e M18	Não registrados
M19	Parada do fuso com orientação
M20 a M29	Permanentemente não registrados
M30	Fim de fita com rebobinamento
M31	Ligando o (<i>Bypass</i> ")
M32 a M35	Não registrados
M36	Acionamento da primeira gama de velocidade dos eixos

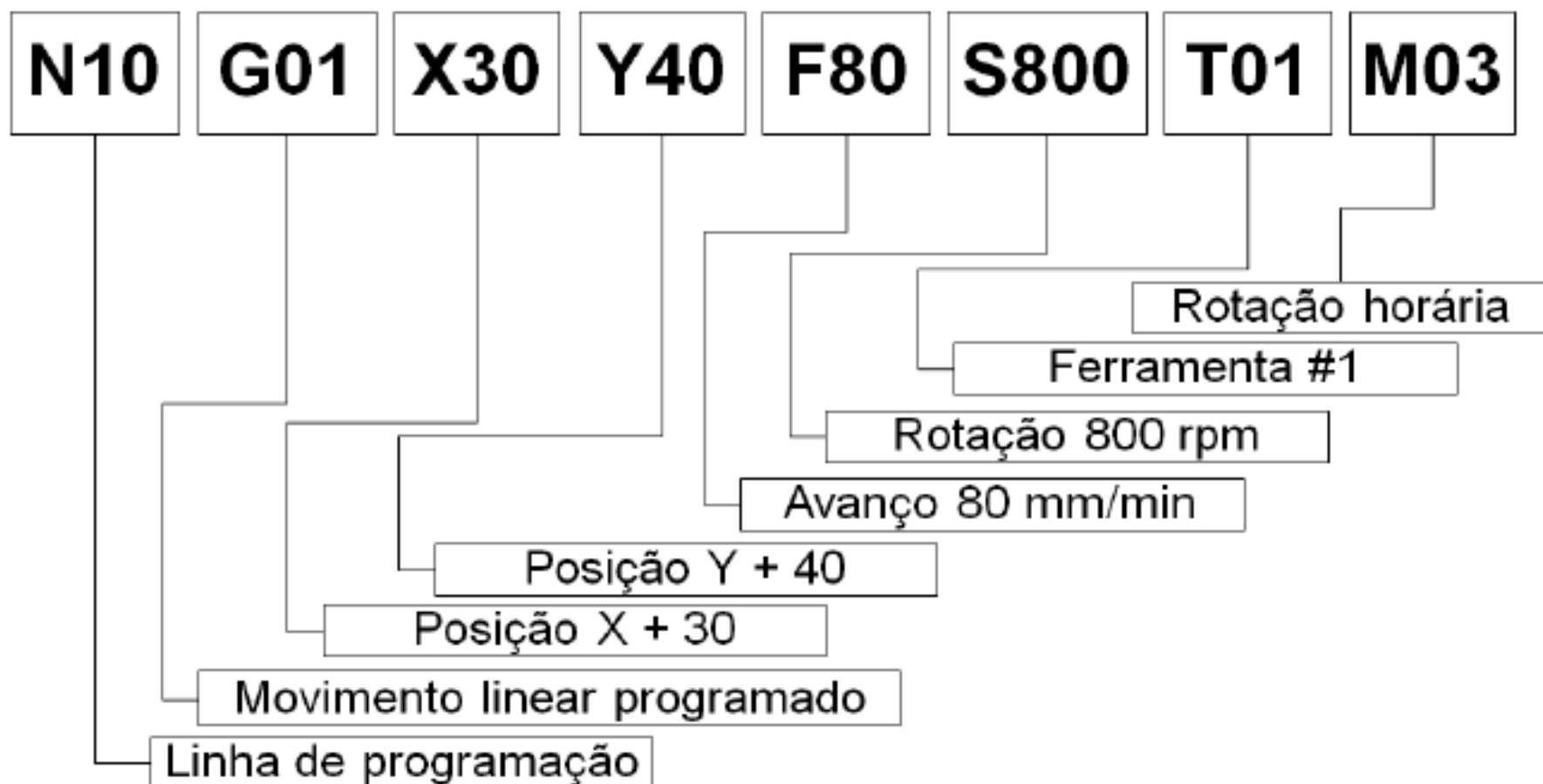
1.16 Tabela de códigos M (*Miscellaneous Functions* - ISO 1056)

Código M	Função
M36	Acionamento da primeira gama de velocidade dos eixos
M37	Acionamento da segunda gama de velocidade dos eixos
M38	Acionamento da primeira gama de velocidade de rotação
M39	Acionamento da segunda gama de velocidade de rotação
M40 a M45	Mudanças de engrenagens se usada, caso não use, não registrados.
M46 e M47	Não registrados
M48	Cancelamento do G49
M49	Desligando o <i>Bypass</i>
M50	Liga sistema de refrigeração número 3
M51	Liga sistema de refrigeração número 4
M52 a M54	Não registrados
M55	Reposicionamento linear da ferramenta 1
M56	Reposicionamento linear da ferramenta 2
M57 a M59	Não registrados
M60	Mudança de posição de trabalho
M61	Reposicionamento linear da peça 1
M62	Reposicionamento linear da peça 2
M63 a M70	Não registrados
M71	Reposicionamento angular da peça 1
M72	Reposicionamento angular da peça 2
M73 a M89	Não registrados
M90 a M99	Permanentemente não registrados

Nota: os códigos que estão como "não registrados" indicam que a norma ISO não definiu nenhuma função para o código, os fabricantes de máquinas e controles têm livre escolha para estabelecer uma função para estes códigos, isso também inclui os códigos acima de M99.



Sintaxe da programação





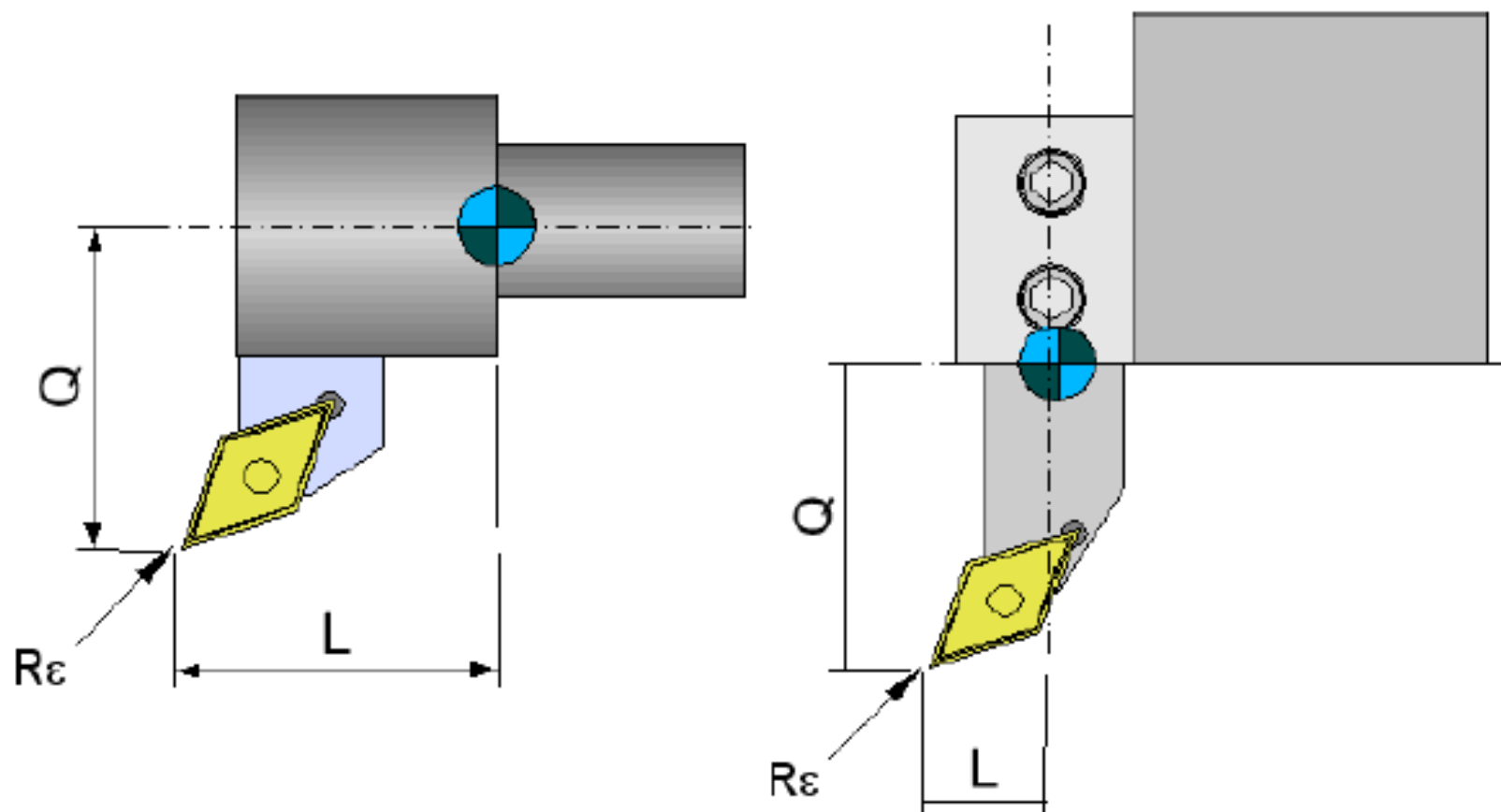
Estrutura da programação

- ▶ **Declaração de ferramentas**
- ▶ **Início**
- ▶ **Declaração de sub-rotinas**
- ▶ **Movimentação**
- ▶ **Fim do programa**



Dados da ferramenta

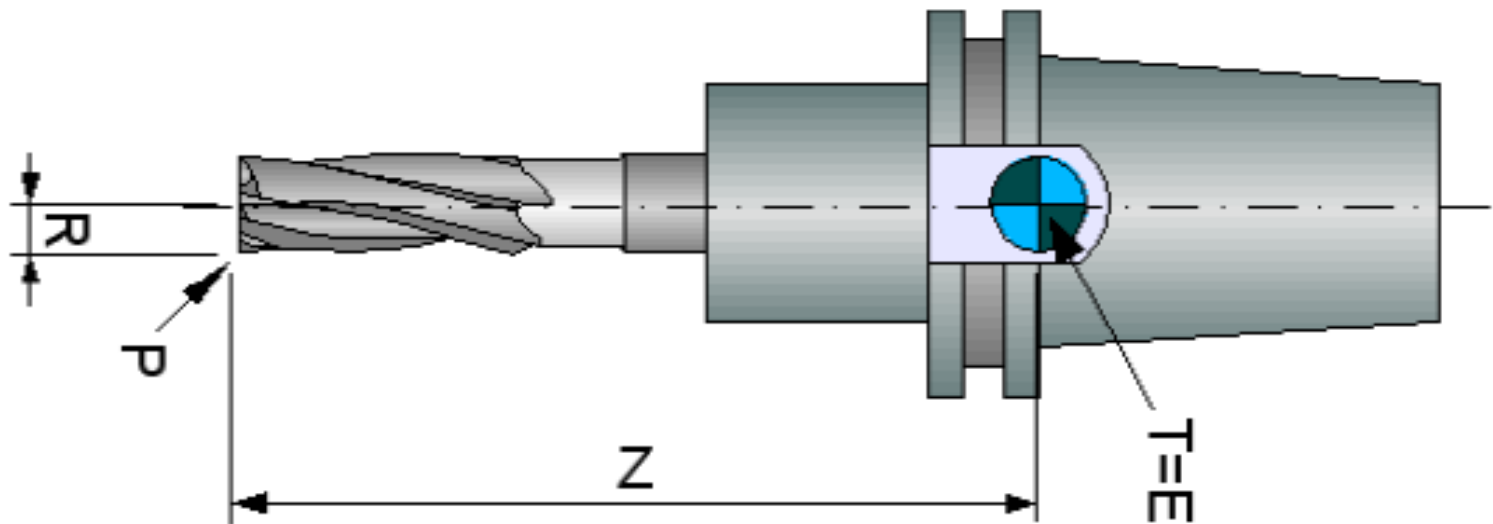
- Ferramentas de torneiar





Dados da ferramenta

- Ferramentas de fresar

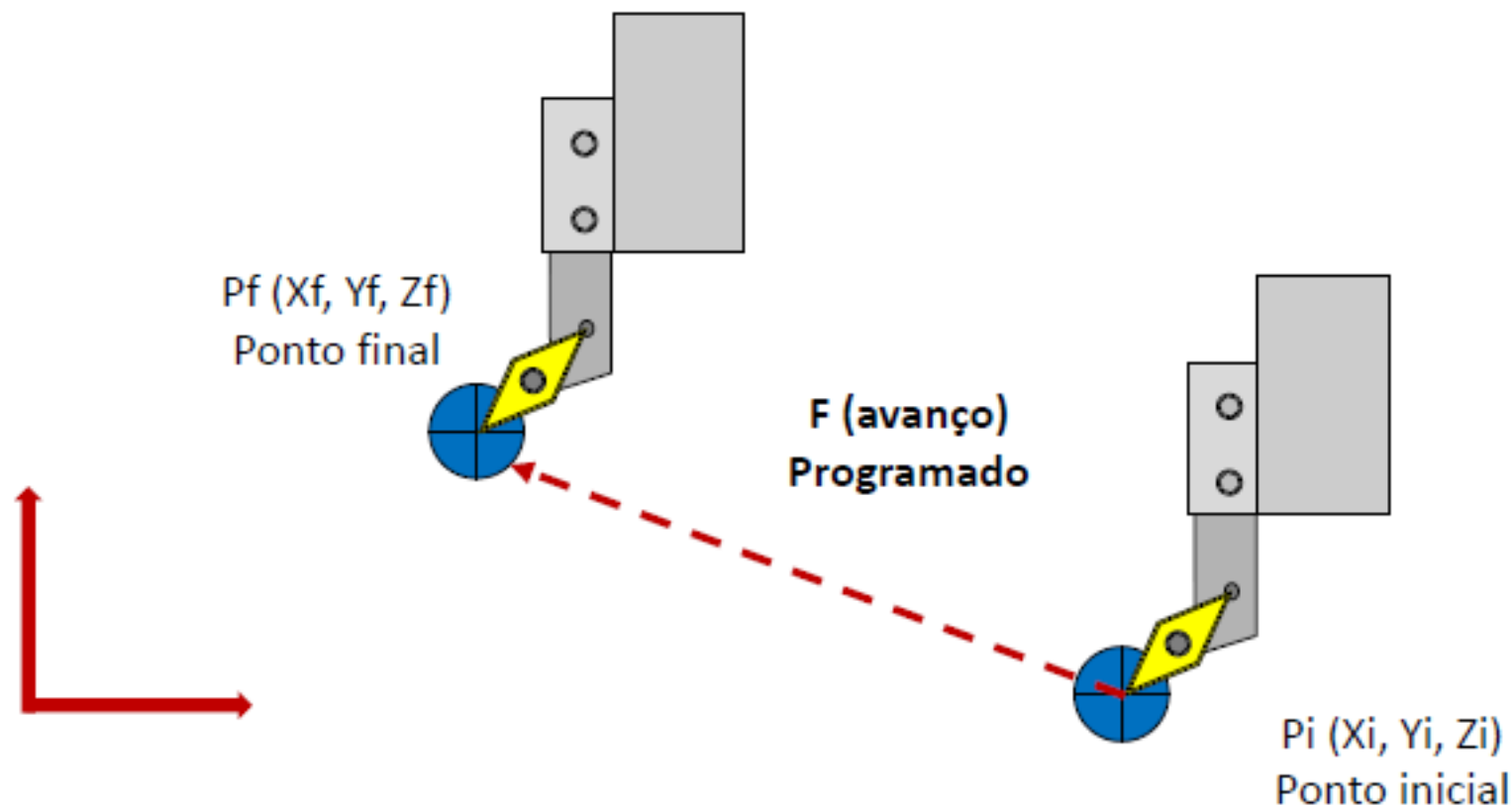




Comando G01

→ G01 – movimento linear com avanço programado

Syntax – G01 Xf Yf Zf F;



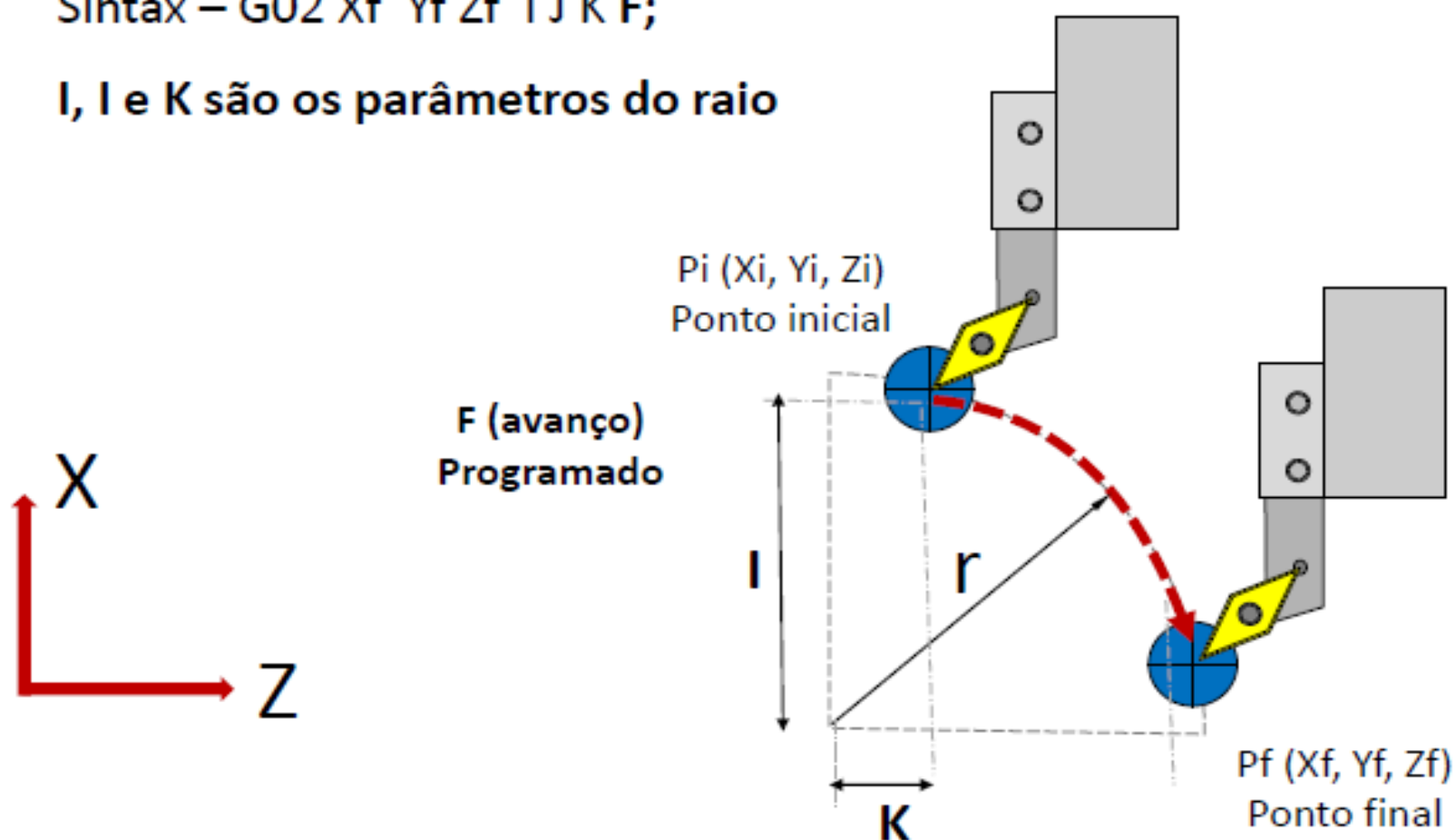


Comando G02

→ G02 – movimento circular horário com avanço programado

Syntax – G02 Xf Yf Zf I J K F;

I, J e K são os parâmetros do raio



Exemplo de programação G

Bloco de comando (linguagem de máquina)	Descrição do bloco
O0002	Número de Programa
N005 G54 G90 S350 M03	Seleciona o sistema de coordenadas, <u>modo absoluto e fuso gira a 350 RPM sentido horário</u>
N010 G00 X <u>- .625</u> Y <u>- .25</u>	Rápido para o ponto <u>1</u>
N015 G43 H01 Z <u>- .25</u>	Ativar a compensação de comprimento da ferramenta, rápido até superfície de <u>trabalho</u>
N020 G01 X <u>5.25</u> F3.5	Máquina em movimento direto para o ponto <u>2</u> , taxa de avanço 3.5 <u>pol/min.</u>
N025 G03 X <u>6.25</u> Y <u>.75</u> R1.0	Movimento circular no sentido <u>ante horário CCW</u> para o ponto 3
N030 G01 Y <u>3.25</u>	Máquina em movimento direto para o ponto <u>4</u>
N035 G03 X <u>5.25</u> Y <u>4.25</u> R1.0	Movimento circular no sentido <u>ante horário CCW</u> para o ponto 5
N040 G01 X <u>.75</u>	Máquina em movimento direto para o ponto <u>6</u>
N045 G03 X <u>- .25</u> Y <u>3.25</u> R1.0	Movimento circular no sentido <u>ante horário CCW</u> para o ponto 7
N050 G01 Y <u>.75</u>	Máquina em movimento direto para o ponto <u>8</u>
N055 G03 X <u>.75</u> Y <u>- .25</u> R1.0	Movimento circular no sentido <u>ante horário CCW</u> para o ponto 9
N060 G00 Z <u>.1</u>	Rápido ao longo do eixo Z
N065 G91 G28 Z0	Vai para o ponto de referência da máquina em Z
N070 M30	Fim de programa, <u>rebobinamento da fita</u>



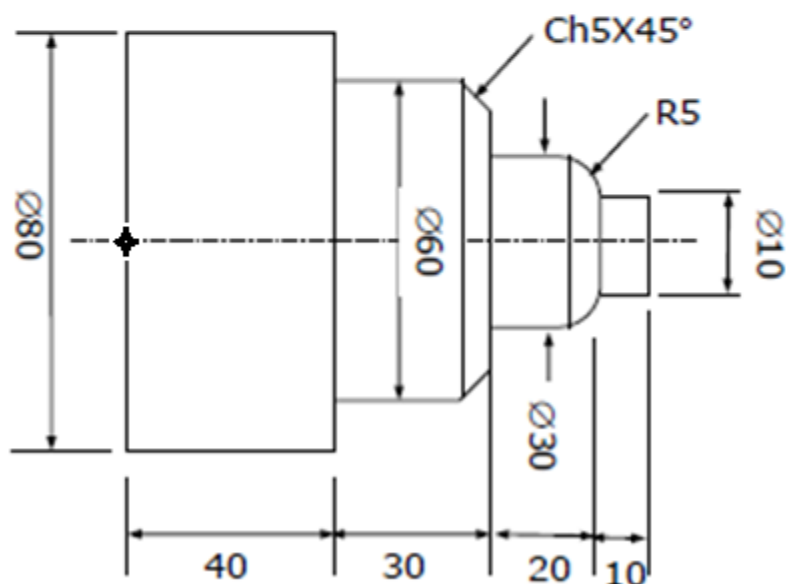
Programação manual – ISO, Códigos de programação

- % – início de programa
- () – comentários
- + – mais ou sentido positivo
- - – menos ou sentido negativo
- / – divisão
- : – parada
- . – ponto decimal
- , – virgula



Exercício

Programa a peça abaixo:



Considerar no exercício:

Dimensão do blank: Diâm.= 80,0mm Compr.= 101,0mm

Veloc. de corte = 88 m/min.

Veloc. de avanço = 70 mm/min.

Profundidade de corte no desbaste = 1,0 mm

Profundidade de corte no acabamento = 0,5 mm

◆ ponto 0,0 do torno CNC

<https://www.youtube.com/watch?v=OTMUnI3otwU>