

PMR3411 - Projeto de Máquinas

Mecatrônica - EPUSP

Linguagem de Programação de Máquinas CNC

Gilberto F. Martha de Souza

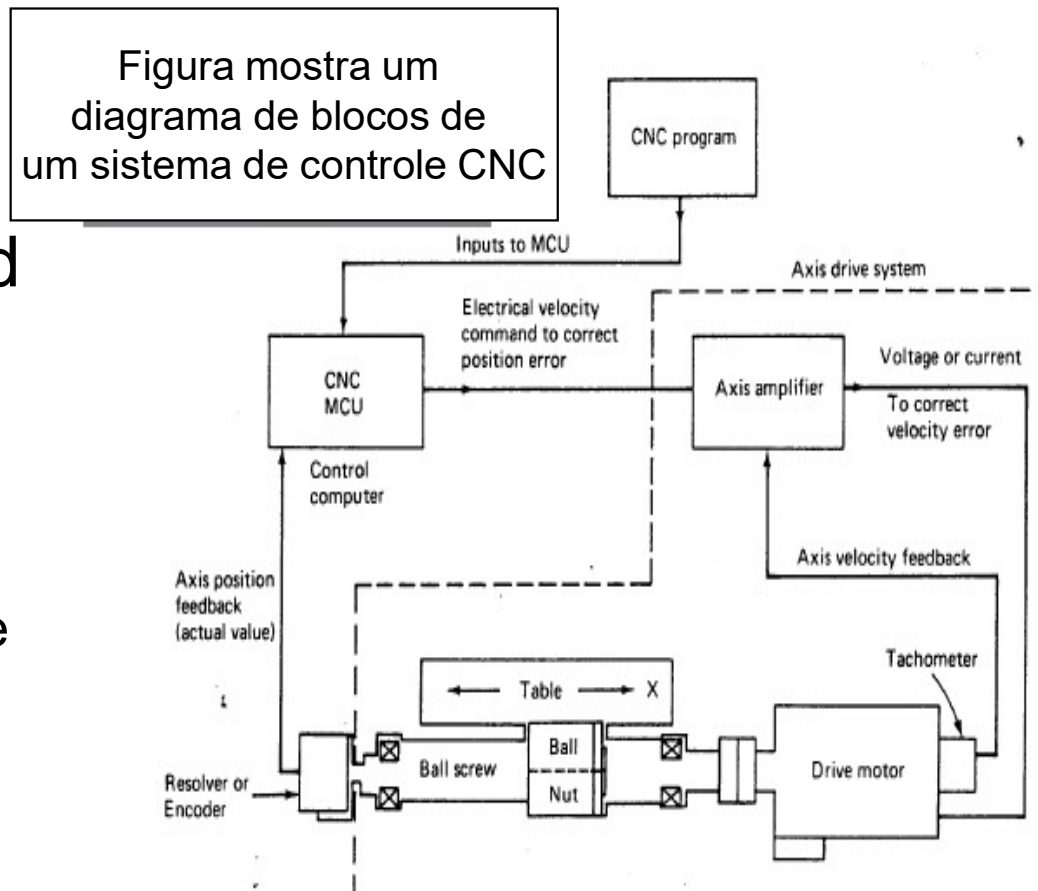
setembro/2023

Máquinas CNC

O que é a máquina CNC?

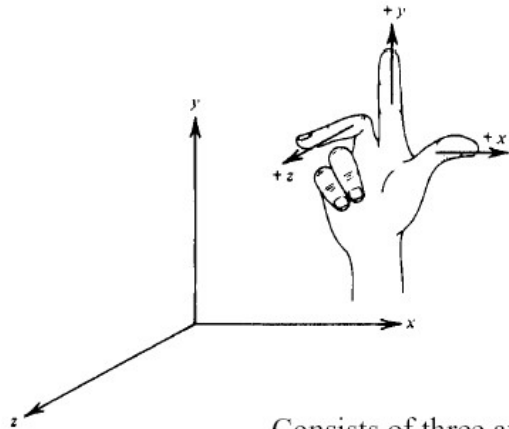
CNC : Computer and Numeric Control

- Em máquinas convencionais o operador realiza os vários ajustes para execução de uma operação, como velocidade de corte, profundidade de corte, rotação do eixo árvore e também controla manualmente o movimento dos eixos. Na máquina CNC estes movimentos são executados por motores controlados por um código computacional.

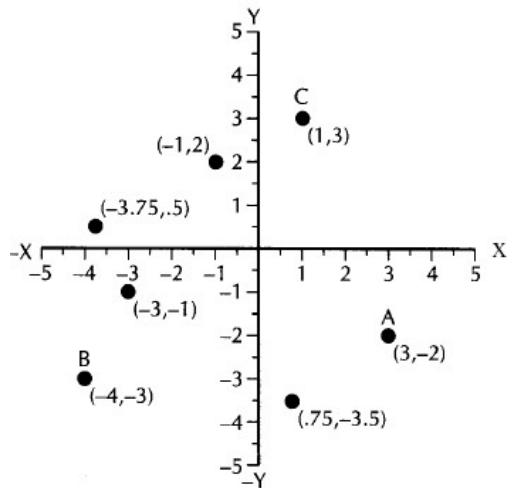
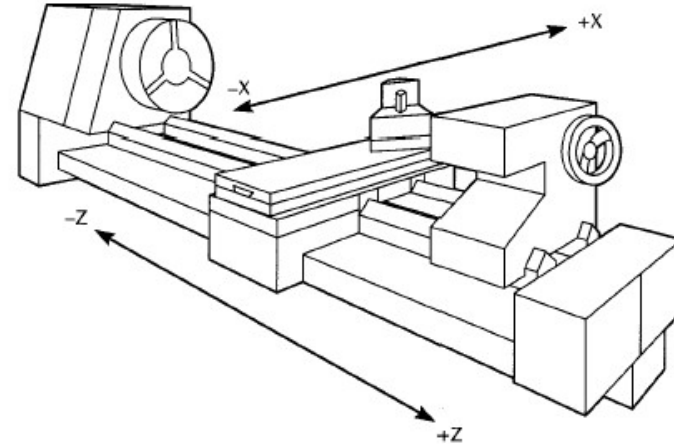


Para uma máquina CNC uma unidade de controle fornece informações sobre a velocidade de corte, Profundidade de corte, rotação do eixo árvore, entre Outras. Estas informações devem ser passadas para a Unidade de comando através de um código específico.

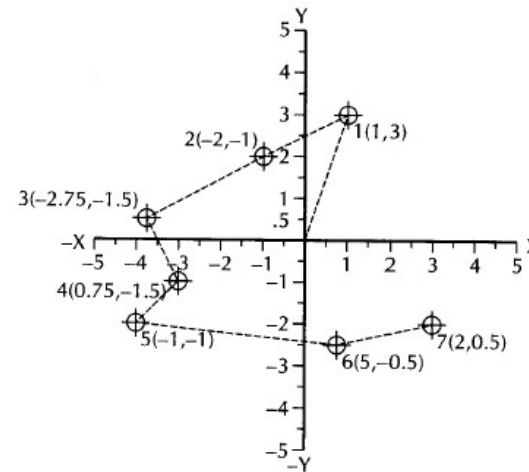
Sistema de Coordenadas



Consists of three axes positioned 90 degrees from each other.



Sistema de Coordenadas Absoluta



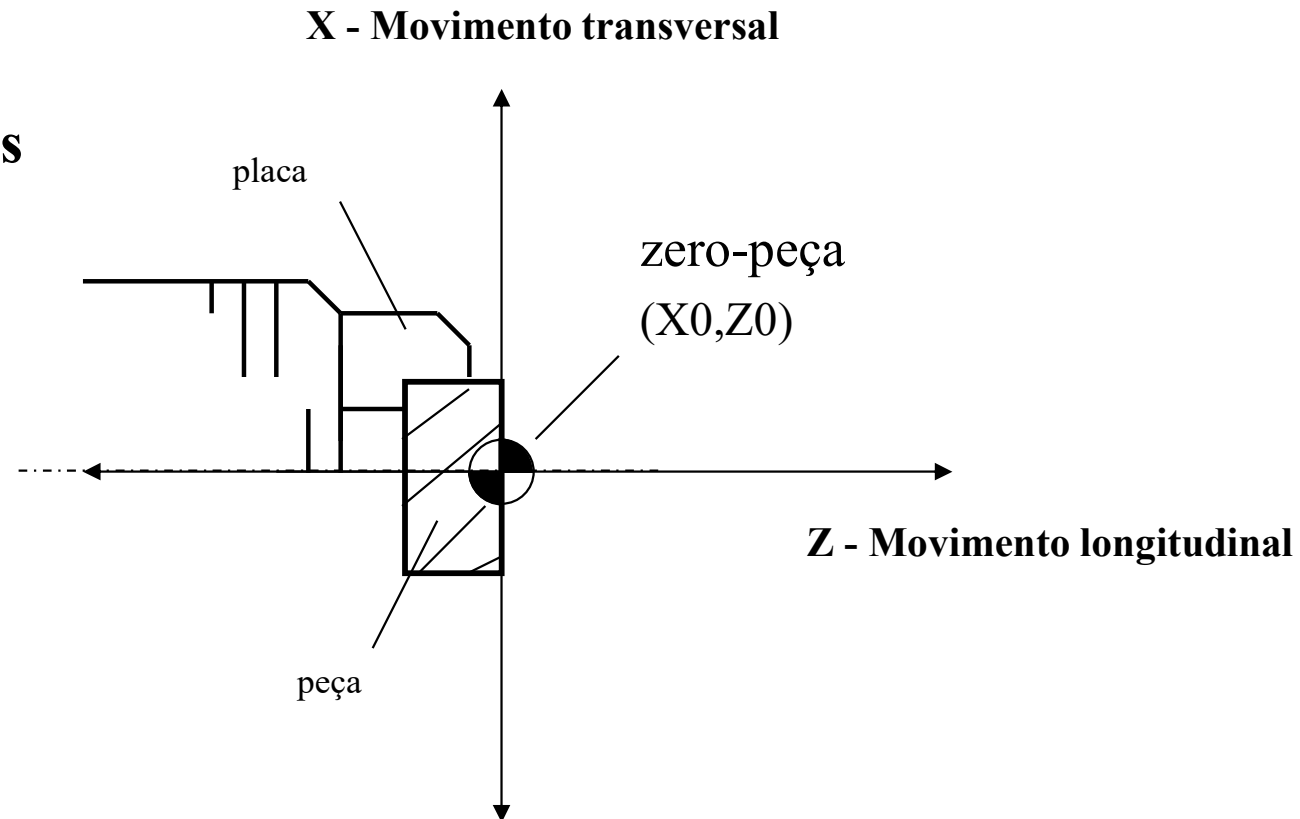
Sistema de Coordenadas Incremental

6.1 - SISTEMAS DE COORDENADAS

Toda geometria de peça é transmitida ao comando com o auxílio de um sistema de coordenadas cartesianas.

- **Torno CNC:**

- **Máquina de 2 eixos**

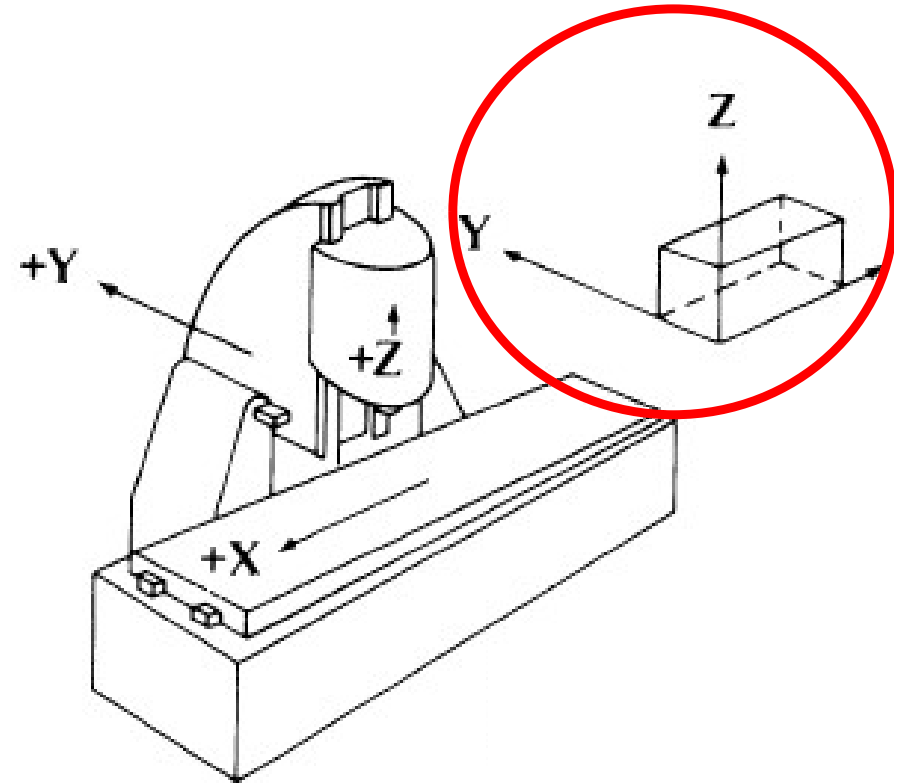


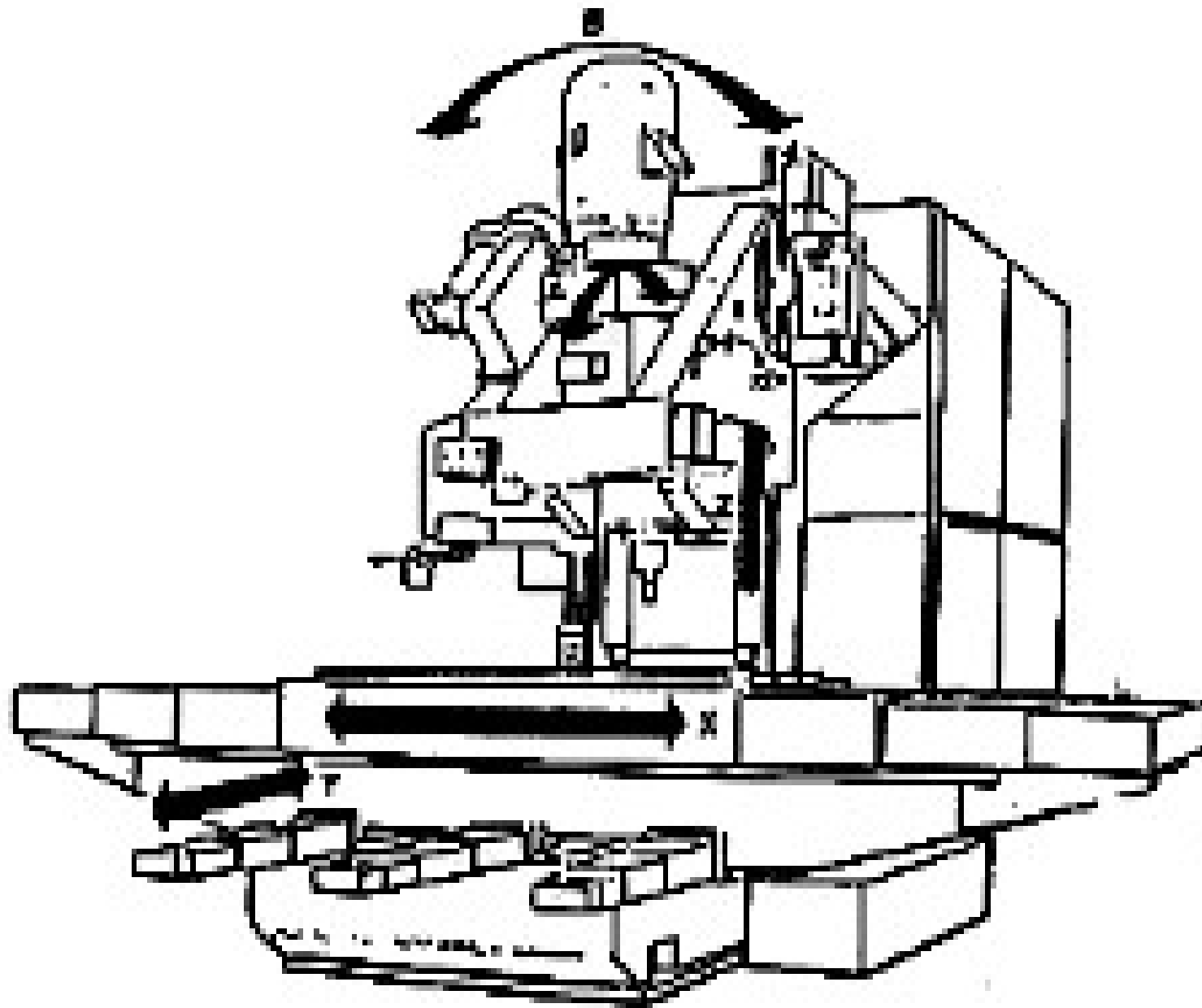
Para o torneamento, todo o movimento da ponta da ferramenta é descrito neste plano XZ, em relação a uma origem pré-estabelecida (X0,Z0).

OBS. “Os movimentos em X e Z são dados pela ferramenta”.

Centro de Usinagem com 3 eixos

- Fresadoras: 3 eixos
 - X – eixo do movimento lateral da mesa (esquerda, direita)
 - Y – eixo do movimento de profundidade da mesa (para dentro ou para fora)
 - Z – eixo associado ao acionamento da ferramenta (para cima ou para baixo)

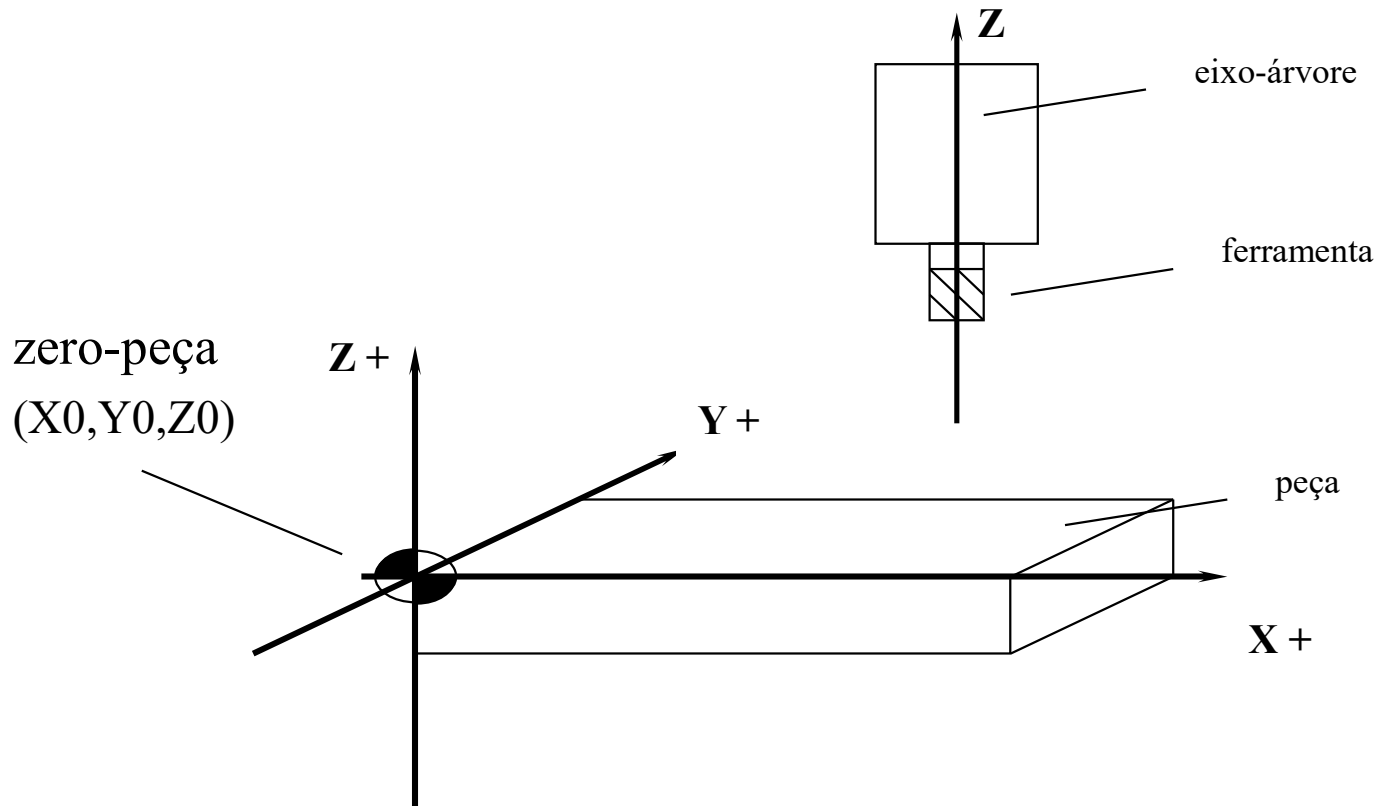




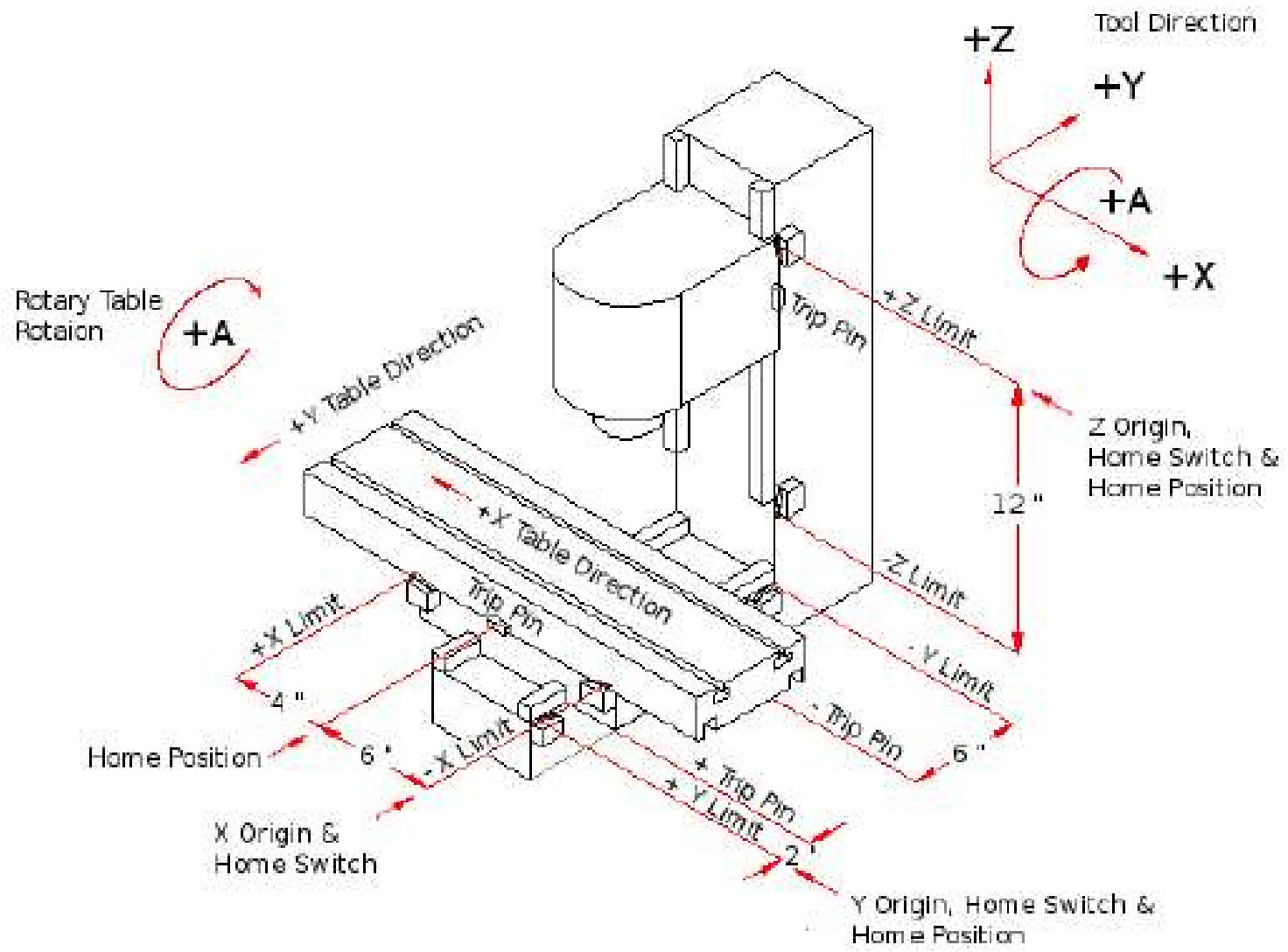
Máquina de cinco eixos (X, Y, Z, A, B)

- **Fresadora CNC:**

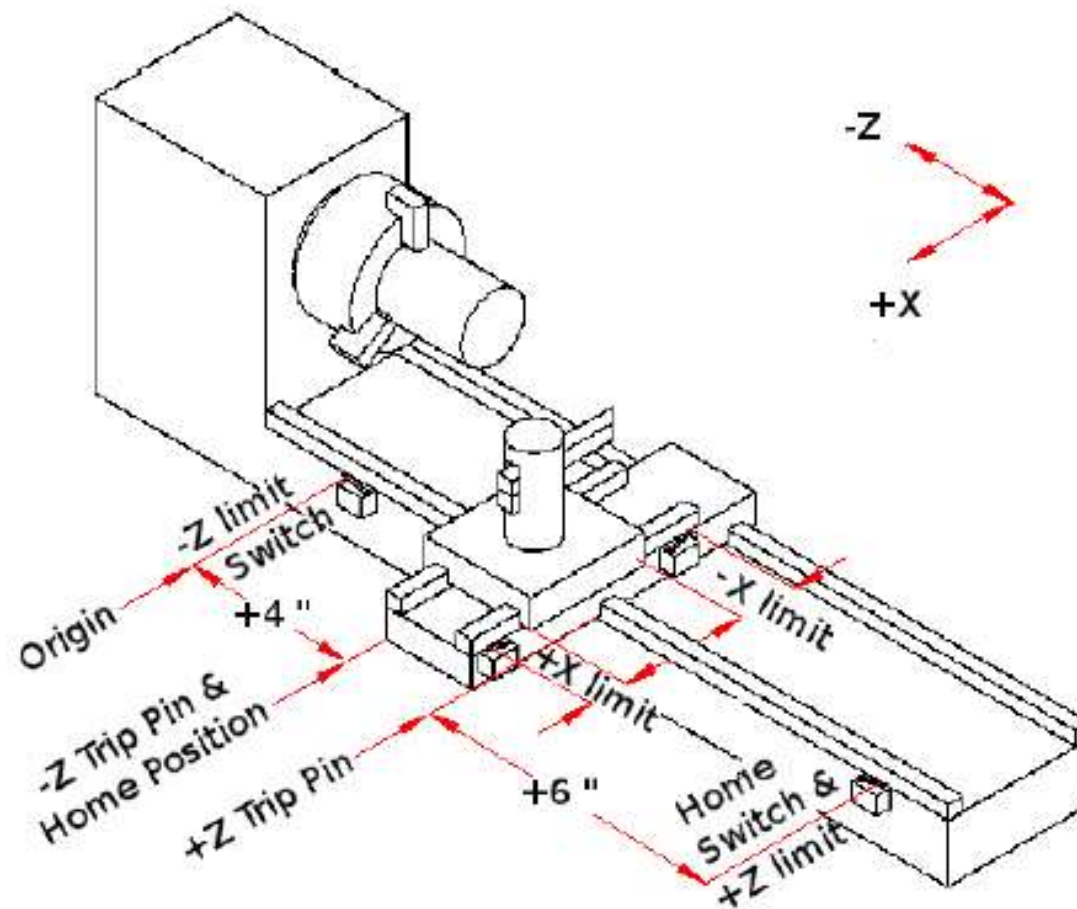
Máquina de 3 eixos lineares



OBS. “Os movimentos em X e Y são dados pela peça (mesa da máquina) e em Z pela ferramenta”.

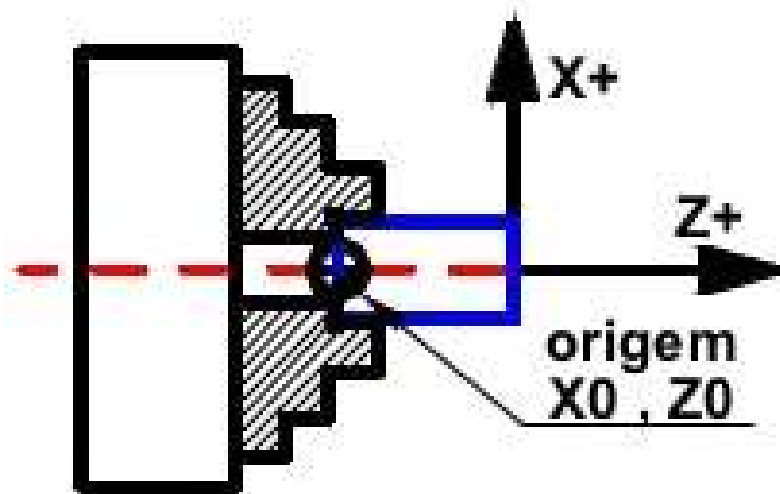


Movimentação das Mesas da Fresadora – Linux CNC

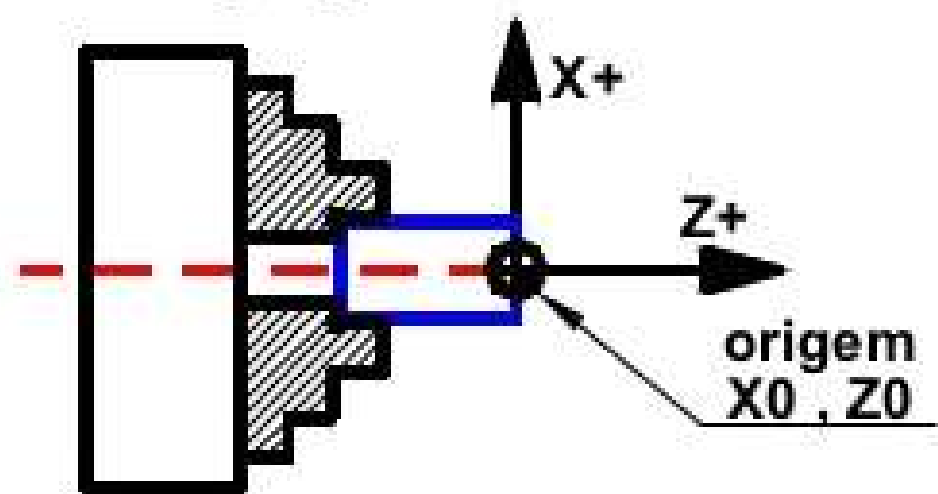


Movimentação da Ferramenta Torno – Linux CNC

a) No encosto das castanhas



b) Na face da peça



Interpolações Linear e Circular

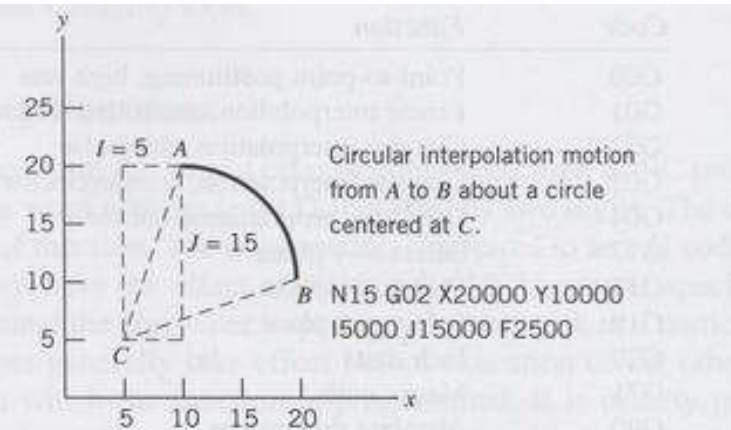
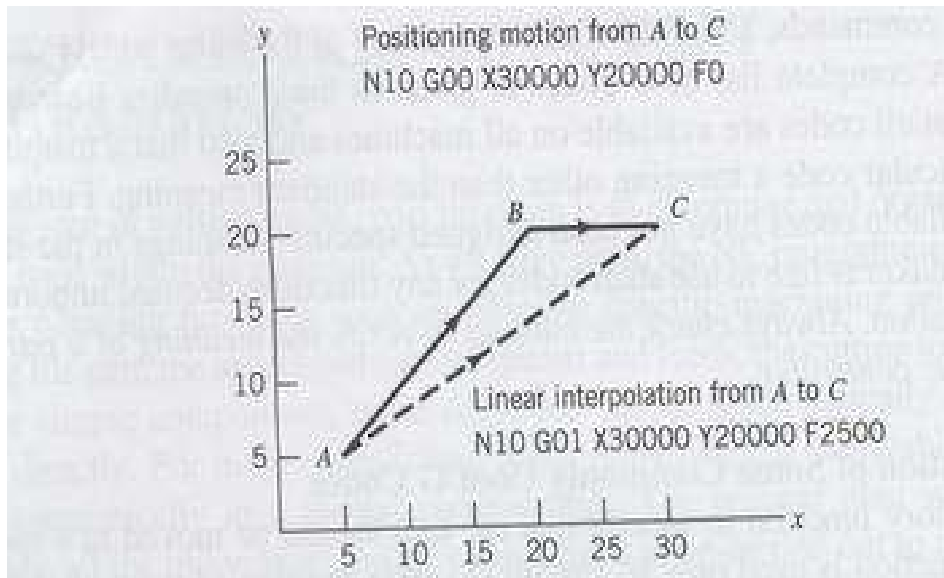
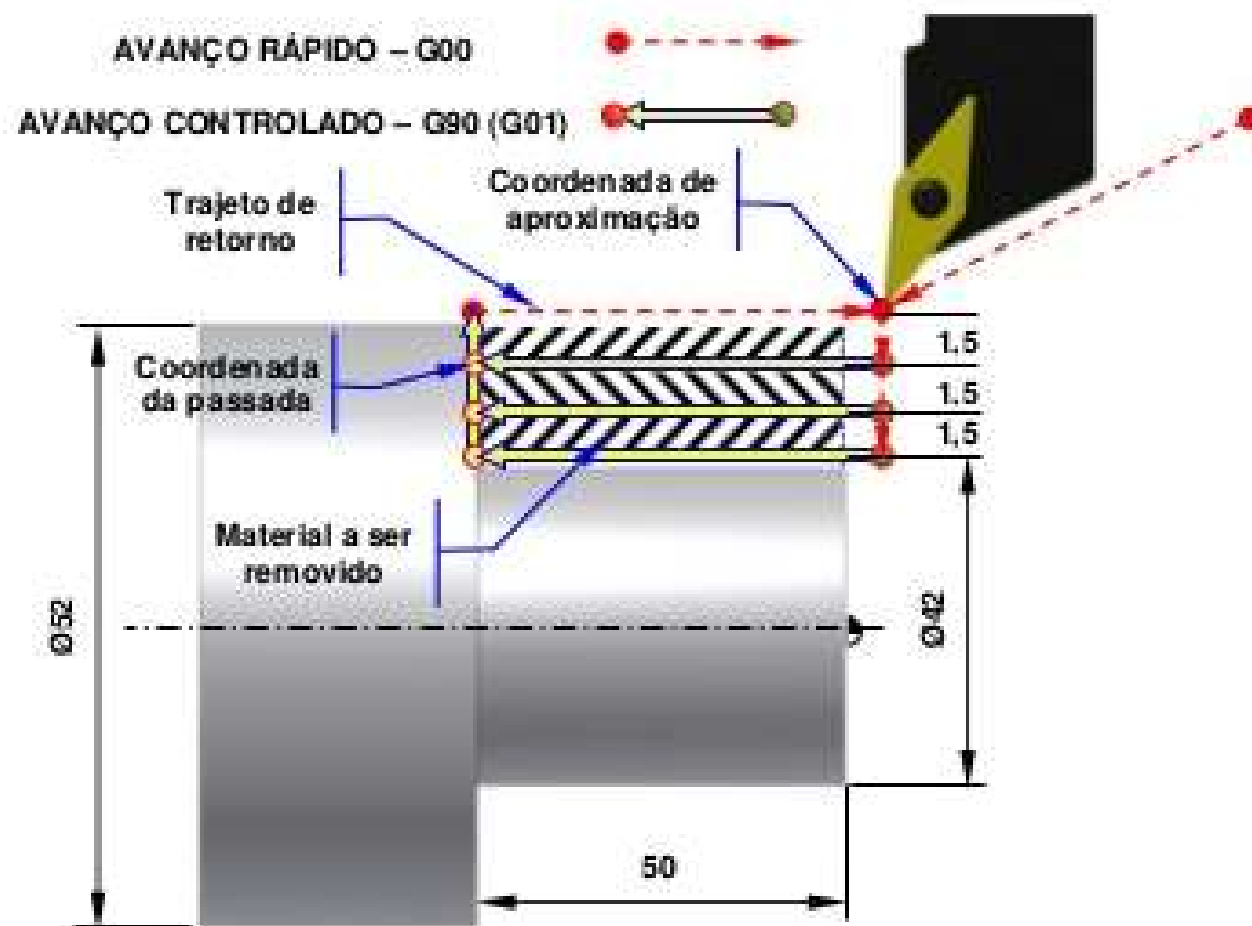


FIGURE 6.4 Circular interpolation for NC.

Interpolação Linear: Ferramenta vai de A à C em uma trajetória reta

Interpolação Circular: A trajetória seguida pela ferramenta para se movimentar do ponto A ao ponto C é um arco, cujo centro é especificado pelas coordenadas I,J,K.



Programação CNC

Pontos importantes a definir:

- Sistema de coordenadas
- Sistema de unidades, movimentação incremental ou absoluta
- Coordenadas: X,Y,Z, RX,RY,RZ
- Velocidade de avanço e rotação do eixo
- Controle de lubrificante
- Controle de ferramentas

Programação é constituída por uma série de instruções na forma de código de letras

- Códigos de preparação:
G codes- preparação da máquina e execução de operações
N codes- especificação de número de linha
- Posição de pontos: X,Y,Z
Para definir movimentação da ferramenta
- Velocidade de corte e profundidade de corte: F and S
- Códigos de ferramenta:
T – especifica a ferramenta a ser usada
- Códigos diversos – M codes

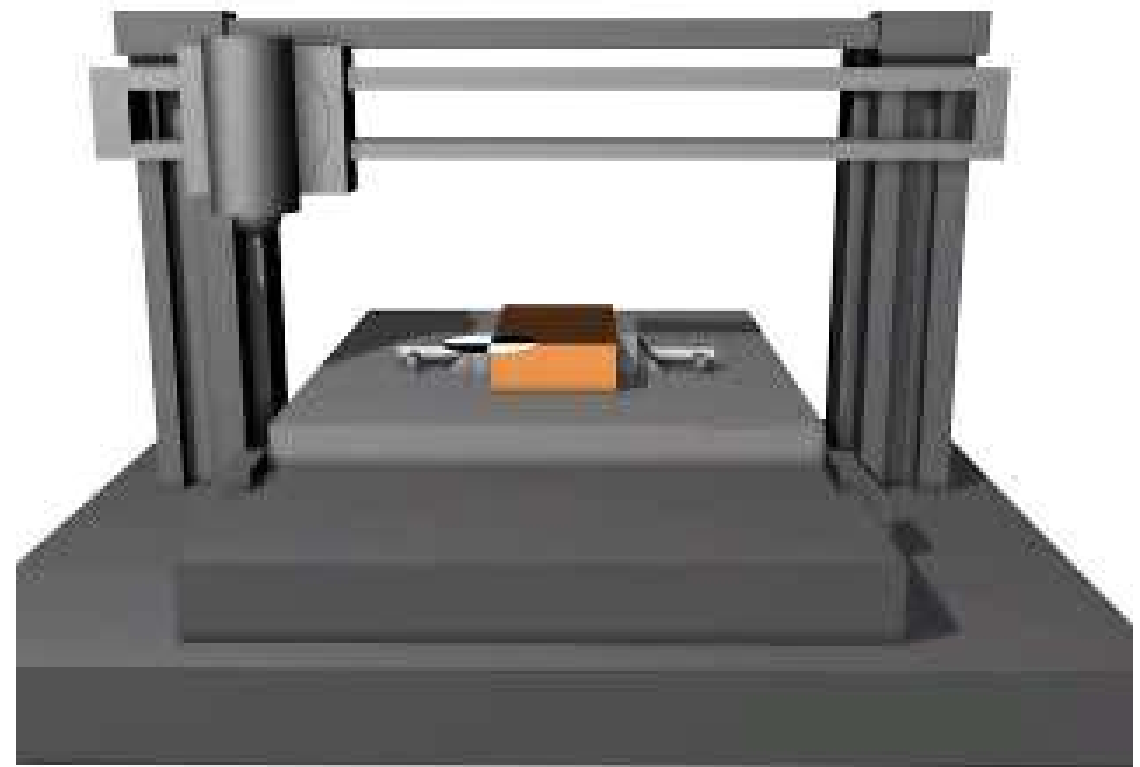
Zero peça: especifica uma posição de início de trabalho, zero do sistema de coordenadas. Todas as coordenadas especificadas no programa se referenciarão a este PONTO ZERO.

Movimento em coordenadas se iniciam com a seleção do eixo de movimento:

-X__ se movimenta da direção X

-Y__ se movimenta na direção Y

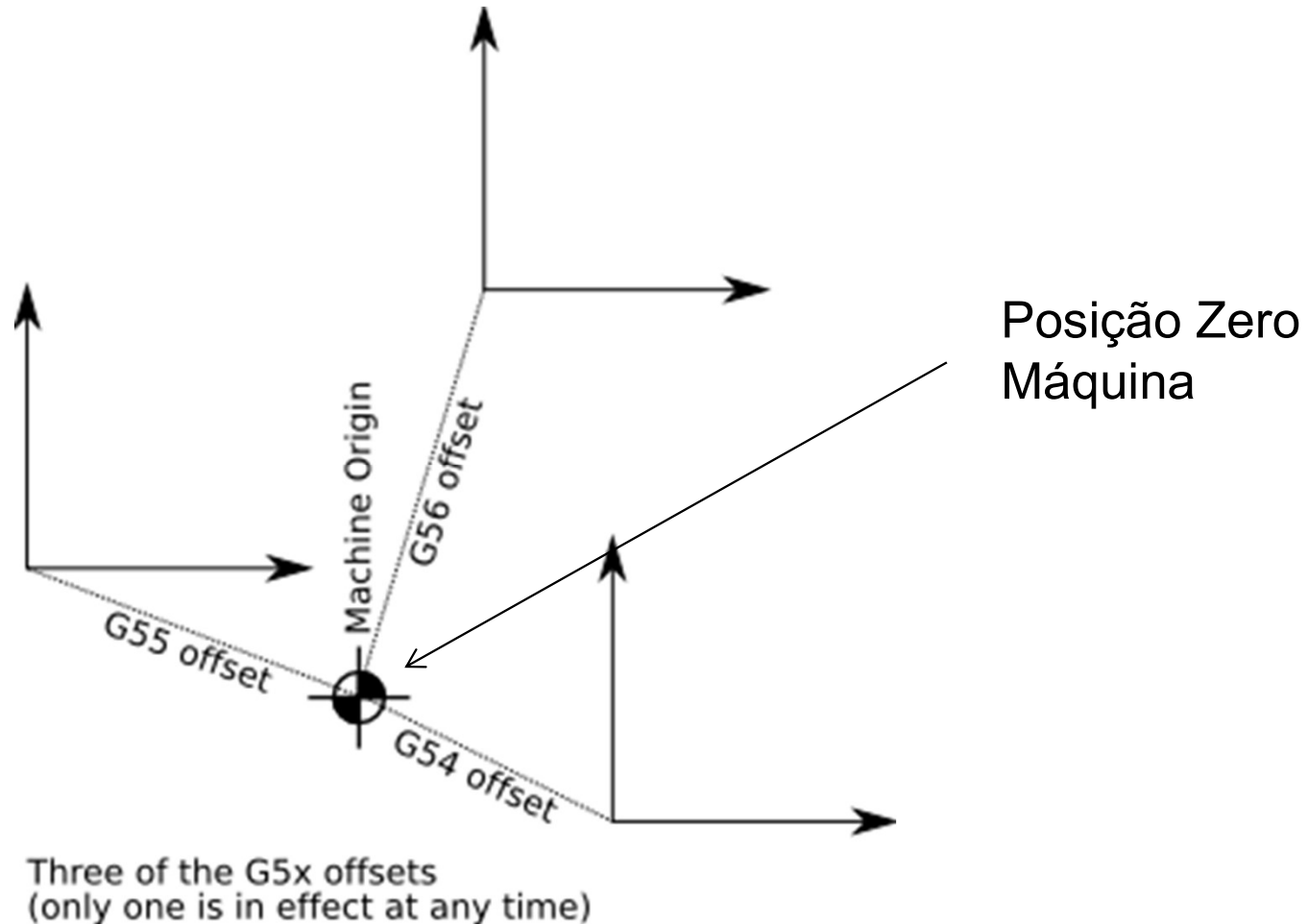
-Z__ se movimenta na direção Z



Definição do Zero Peça

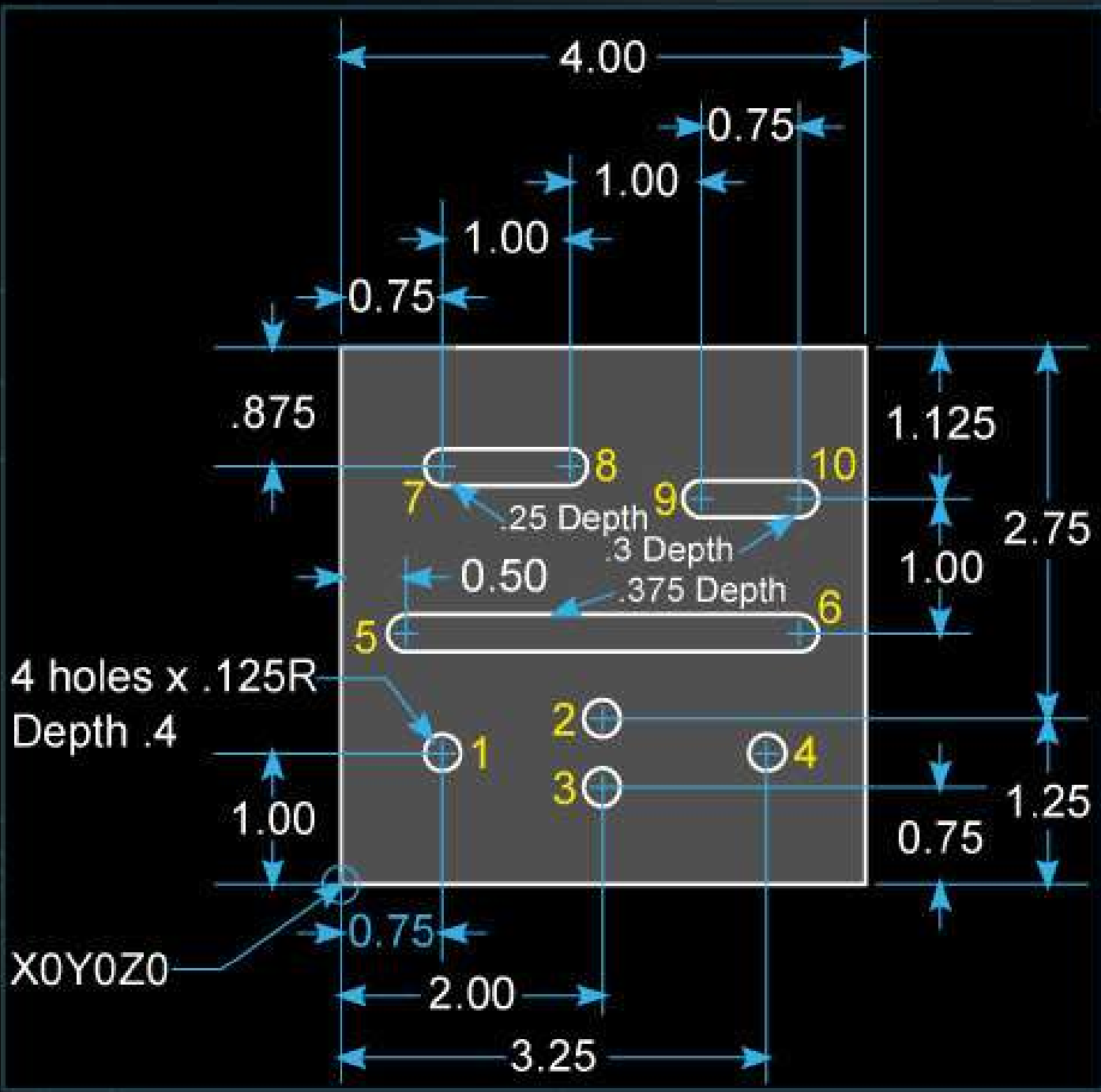
G54 coordinates, typically used for the workpiece. This is the default coordinate system.

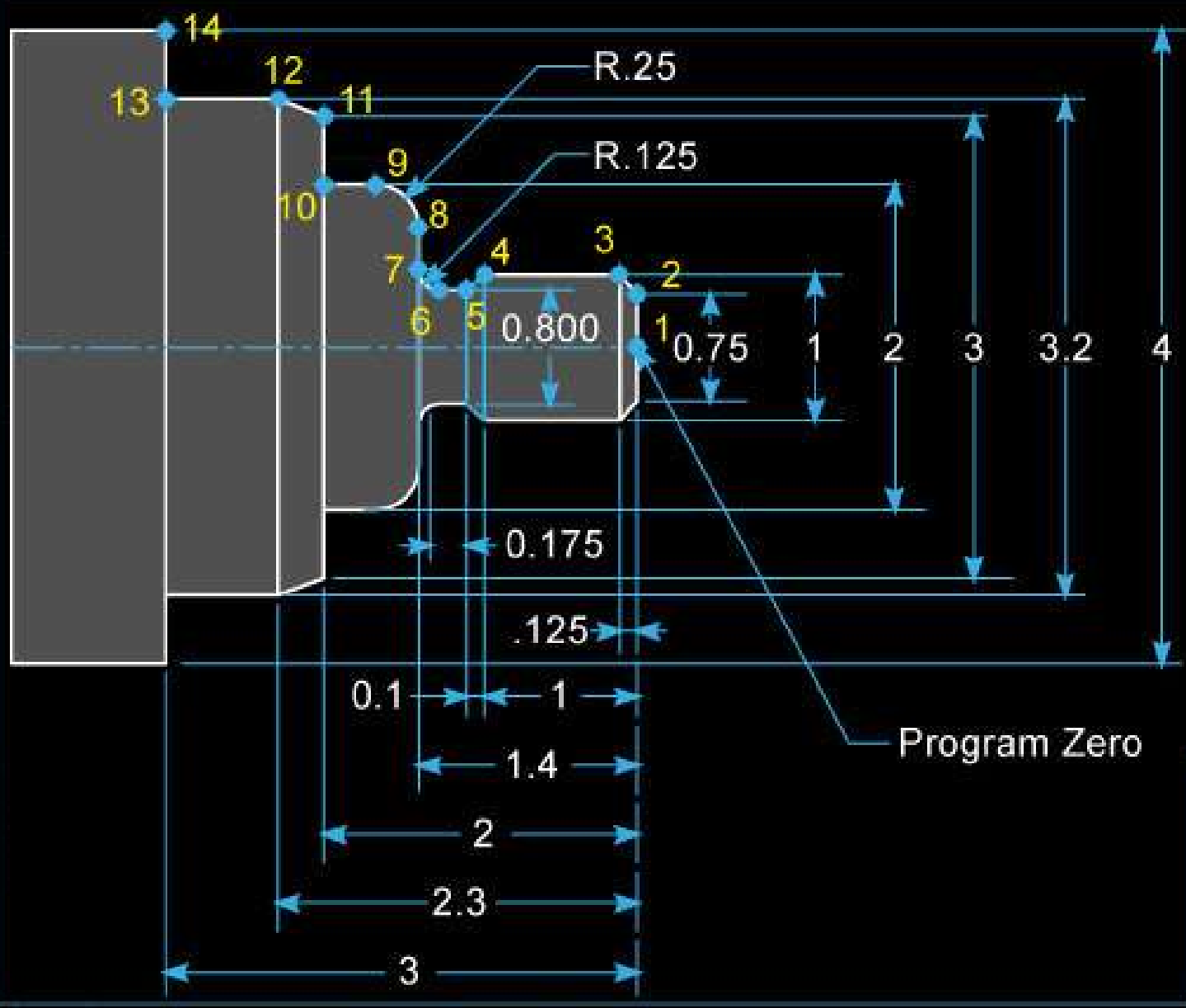
Write to the G54 coordinate origin using "G10 L2 P1 X0 Y0 Z0". This overwrites the G54 origin with the given coordinates.



Coordinate Sheet

#	X	Y	Z
1	0.75	1	-0.4
2	2	1.25	-0.4
3	2	0.75	-0.4
4	3.25	1	-0.4
5	0.50	1.875	-0.375
6	3.5	1.875	-0.375
7	0.75	3.125	-0.25
8	1.75	3.125	-0.25
9	2.75	2.875	-0.3
10	3.5	2.875	-0.3





Coordinate Sheet

#	X	Z
1	0	0
2	0.75	0
3	1	-0.125
4	1	-1
5	0.8	-1.1
6	0.8	-1.275
7	1.05	-1.4
8	1.5	-1.4
9	2	-1.65
10	2	-2
11	3	-2
12	3.2	-2.3
13	3.2	-3
14	4	-3

CNC CODES

There are two major types of CNC codes, or letter addresses, in any program. The major CNC codes are called **G-codes** and **M-codes**.

G-codes are preparatory functions, which involve actual tool moves (for example, control of the machine). These include **rapid moves**, **feed moves**, **radial feed moves**, dwells, roughing, and profiling cycles.

M-codes are miscellaneous functions, which include actions necessary for machining but not those that are actual tool movements (for example, auxiliary functions). These include actions such as **spindle on and off**, **tool changes**, **coolant on and off**, program **stops**, and related functions.

Table of Important G and M codes

G00 Rapid Transverse	M00 Program stop
G01 Linear Interpolation	M01 Optional program stop
G02 Circular Interpolation, CW	M02 Program end
G03 Circular Interpolation, CCW	M03 Spindle on clockwise
G17 XY Plane,G18 XZ Plane,G19 YZ Plane	M04 Spindle on counterclockwise
G20/G70 Inch units	M05 Spindle stop
G21/G71 Metric Units	M06 Tool change
G40 Cutter compensation cancel	M08 Coolant on
G41 Cutter compensation left	M09 Coolant off
G42 Cutter compensation right	M10 Clamps on
G43 Tool length compensation (plus)	M11 Clamps off
G43 Tool length compensation (plus)	M30 Program stop, reset to start
G44 Tool length compensation (minus)	
G49 Tool length compensation cancel	
G80 Cancel canned cycles	
G81 Drilling cycle	
G82 Counter boring cycle	
G83 Deep hole drilling cycle	
G90 Absolute positioning	
G91 Incremental positioning	

Table 15.4: G-Code Modal Groups

Modal Group Meaning	Member Words
Non-modal codes (Group 0)	G4, G10 G28, G30, G53 G92, G92.1, G92.2, G92.3,
Motion (Group 1)	G0, G1, G2, G3, G33, G38.x, G73, G76, G80, G81
	G82, G83, G84, G85, G86, G87, G88, G89
Plane selection (Group 2)	G17, G18, G19, G17.1, G18.1, G19.1
Distance Mode (Group 3)	G90, G91
Arc IJK Distance Mode (Group 4)	G90.1, G91.1
Feed Rate Mode (Group 5)	G93, G94, G95
Units (Group 6)	G20, G21
Cutter Diameter Compensation (Group 7)	G40, G41, G42, G41.1, G42.1
Modal Group Meaning	Member Words
Tool Length Offset (Group 8)	G43, G43.1, G49
Canned Cycles Return Mode (Group 10)	G98, G99
Coordinate System (Group 12)	G54, G55, G56, G57, G58, G59, G59.1, G59.2, G59.3
Control Mode (Group 13)	G61, G61.1, G64
Spindle Speed Mode (Group 14)	G96, G97
Lathe Diameter Mode (Group 15)	G7, G8

Table 15.5: M-Code Modal Groups

Modal Group Meaning	Member Words
Stopping (Group 4)	M0, M1, M2, M30, M60
I/O on/off (Group 5)	M6 Tn
Tool Change (Group 6)	M6 Tn
Spindle (Group 7)	M3, M4, M5
Coolant (Group 8)	(M7 M8 can both be on), M9
Override Switches (Group 9)	M48, M49
User Defined (Group 10)	M100-M199

Each designation used in CNC programming is called a letter address. The letters used for programming are as follows:

N	Block Number: Specifies the start of a block
G	Preparatory function, as previously explained
X	X Axis Coordinate
Y	Y Axis Coordinate
Z	Z Axis Coordinate
I	X Axis location of Arc center
J	Y Axis location of Arc center
K	Z Axis location of Arc center
S	Sets the spindle speed
F	Assigns a feedrate
T	Specifies tool to be used
M	Miscellaneous function, as previously explained

Rules for programming

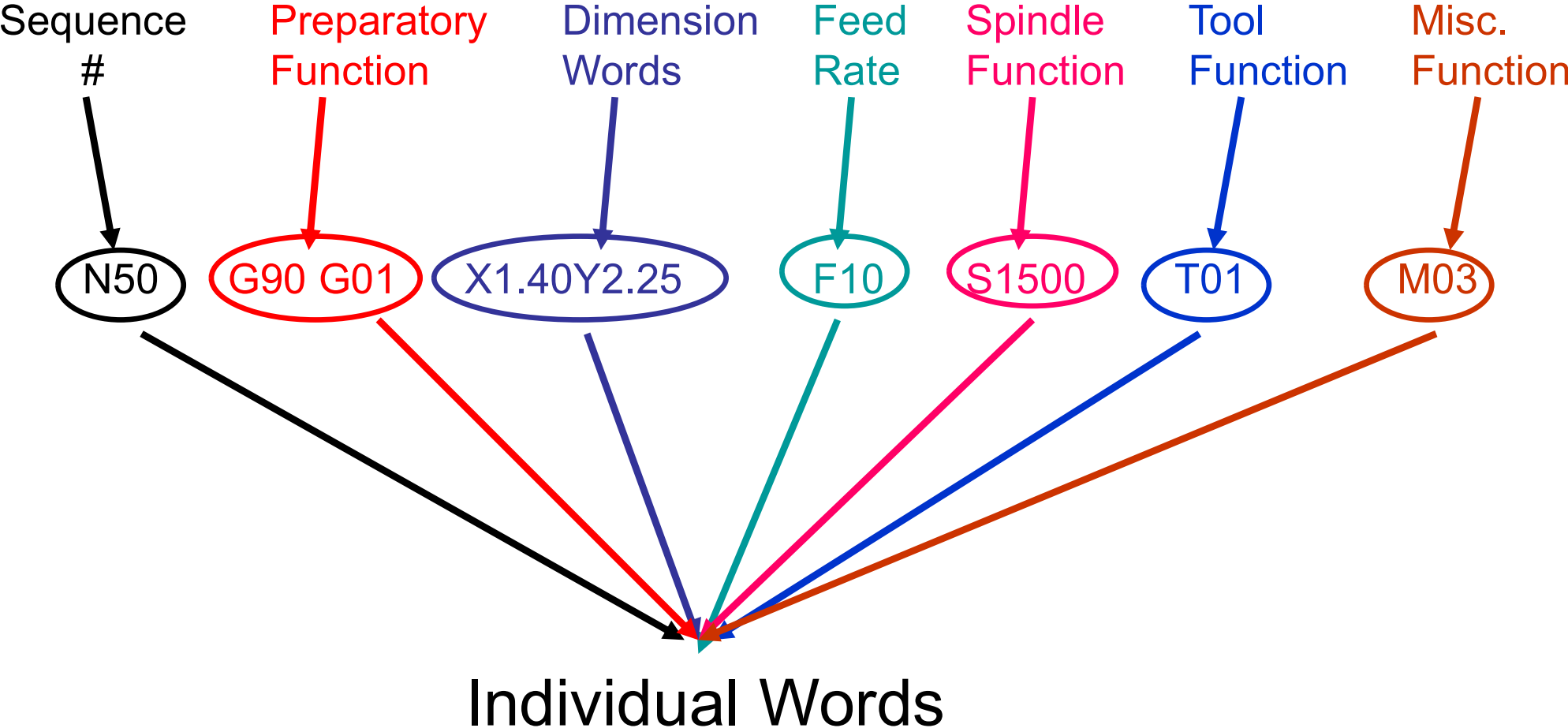
Block Format

N135 G01 X1.0 Y1.0 Z0.125 F5

Sample Block

- Restrictions on CNC blocks
- Each may contain only one tool move
- Each may contain any number of non-tool move G-codes
- Each may contain only one feed rate
- Each may contain only one specified tool or spindle speed
- The block numbers should be sequential
- Both the program start flag and the program number must be independent of all other commands (on separate lines)
- The data within a block should follow the sequence shown in the above sample block

Common Format of a Block



Instruções Comumente Utilizadas

- G00 – Avanço rápido, não há interpolação no movimento da ferramenta
- G01 – Interpolação linear, com trajetória linear da ferramenta entre o ponto de início do movimento e o ponto final (chegada)
- G02 – Interpolação circular, com trajetória circular da ferramenta entre o ponto de início do movimento e o ponto final (chegada). Necessário a especificação do raio ou centro do círculo.

FUNÇÕES G

FUNÇÃO G00: Posicionamento rápido. A função G00 é modal.

“É usada para aproximar ou afastar rapidamente a ferramenta. Quando o comando lê esta função a ferramenta e/ou a mesa se movimentam com o maior avanço disponível na máquina.”

Para as máquinas industriais o avanço rápido pode chegar a $30 \text{ m/min} = 30.000 \text{ mm/min}$;

E o avanço de nossas máquinas?

- Torno: ????
- Fresadora: ????

Exemplo: N30 G00 X20 Z10 F100

FUNÇÃO G01: Interpolação linear com avanço programável (avanço de usinagem).

Com essa função obtém-se movimentos retilíneos com qualquer ângulo, através de coordenadas e com avanço (F) pré-determinado pelo programador. Geralmente nos tornos CNC utiliza-se o avanço em mm/rotação, também pode ser utilizado em mm/minuto.

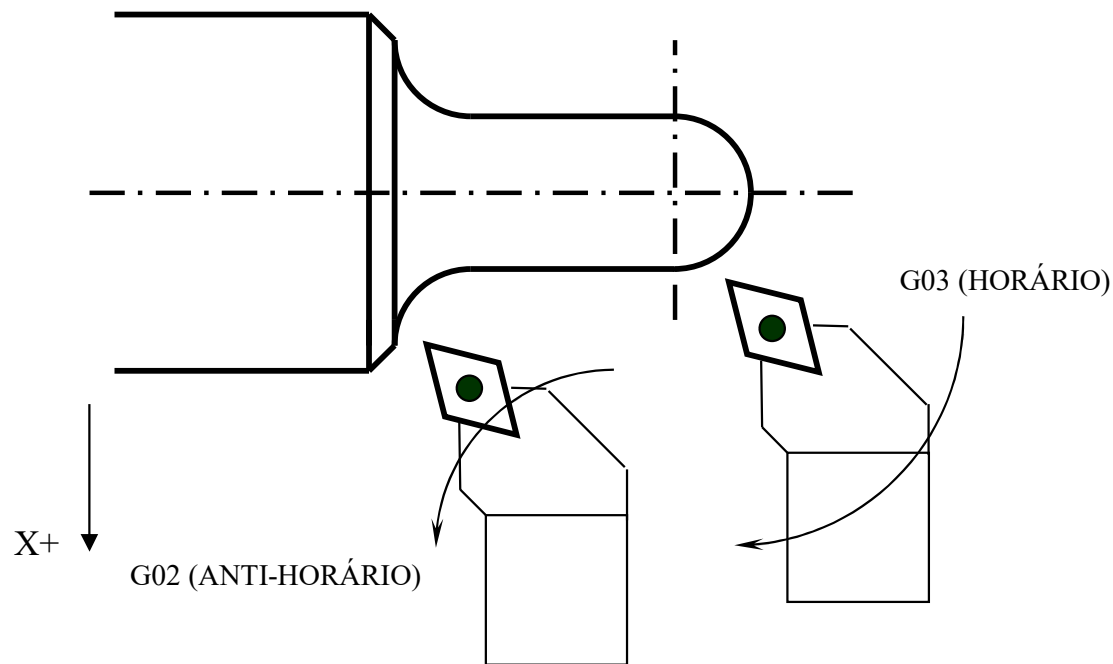
N30 G98 → define o avanço em mm/min

N40 G01 X30 Z40 F200 → deslocamento linear da ferramenta
com vel. de avanço de 200 mm/min

FUNÇÕES: G2 E G3: Interpolar circular. Funções não modais.

Tanto G2 como G3 podem executar operações de usinagem de arcos pré-definidos através de uma movimentação apropriada e simultânea dos eixos.

Exemplo de torneamento



Três Etapas de um Programa CNC

As três etapas são:

- (1) **Set up do programa:** instruções que preparam a máquina para a operação
- (2) **Usinagem:** movimentação dos eixos envolvendo remoção de material
- (3) **Término do programa:** instruções de desligamento da máquina e finalização do programa.

N40 G02 ou G03

Arco anti-horário

Arco horário

X-----

X do ponto final do arco

Z-----

Z do ponto final do arco

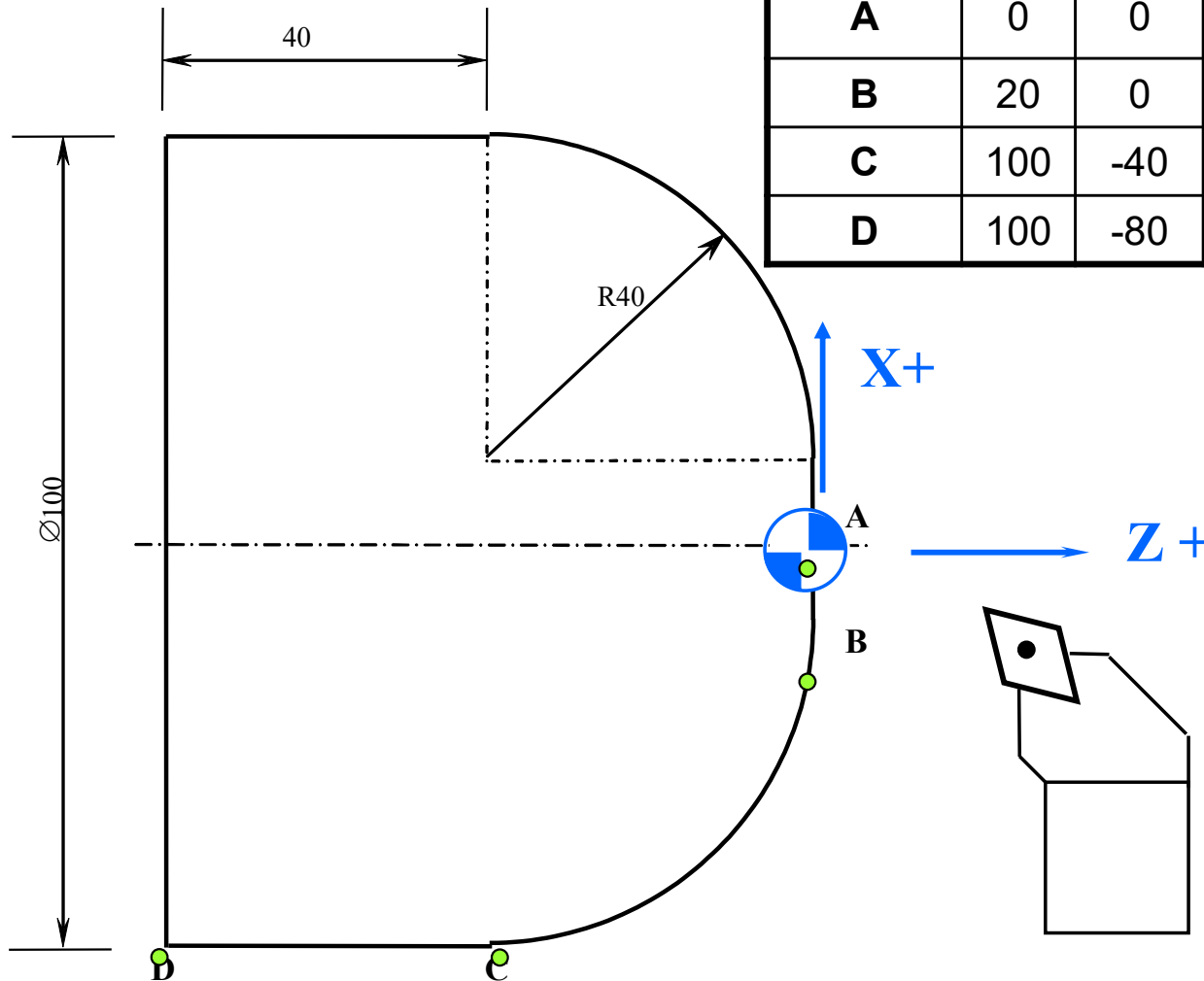
R-----

Raio do arco

F-----

Avanço da ferramenta

Exemplo



PONTO	X	Z
A	0	0
B	20	0
C	100	-40
D	100	-80

```

N10 O005
N20 G21
N30 [BILLET X19 Z50
N40 G98
N50 G28 U0 W0
N60 M06 T01
N70 G97 S2500 M03
N80 G00 X0 Z1
N90 G01 X0 Z0 F100 → ponto A
N100 G01 X20 Z0 → ponto B
N110 G03 X100 Z-40 R40 → ponto C
N120 G01 X100 Z-80 → ponto D
N130 G00 X102
N140 G28 U0 W0 M05
N150 M30

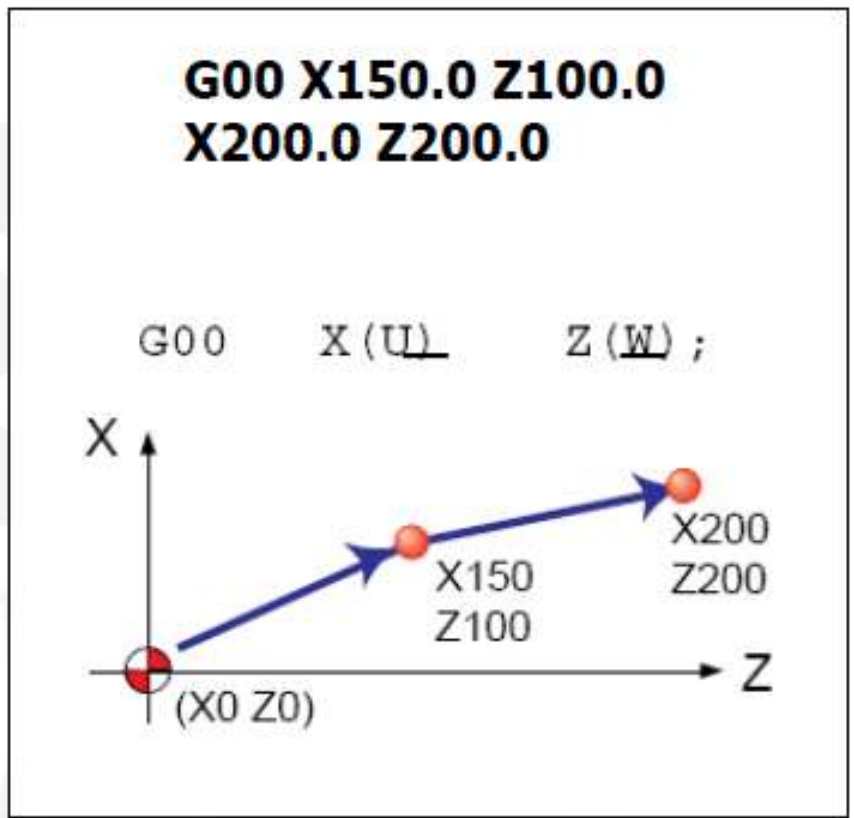
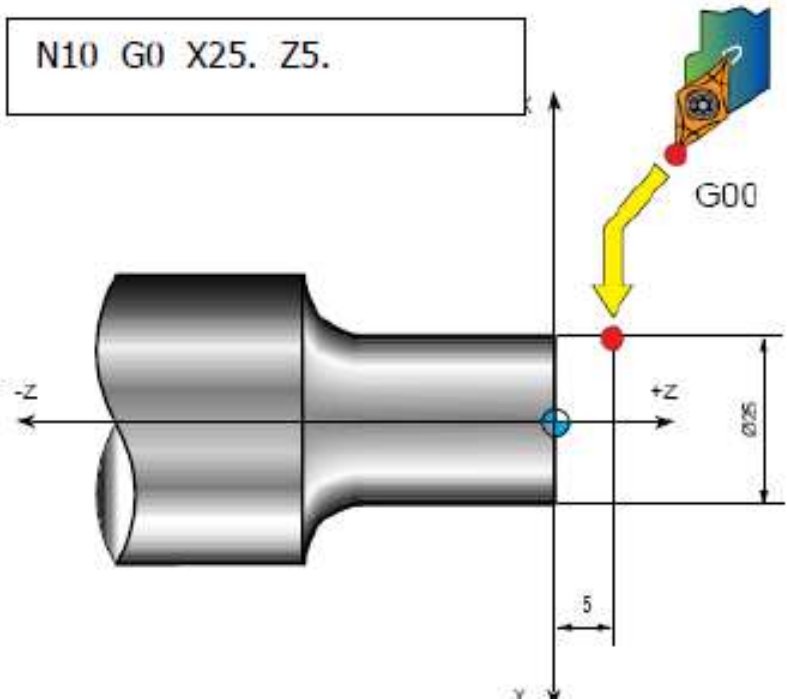
```

cabeçalho

G00

G00 (Avanço em marcha rápida)

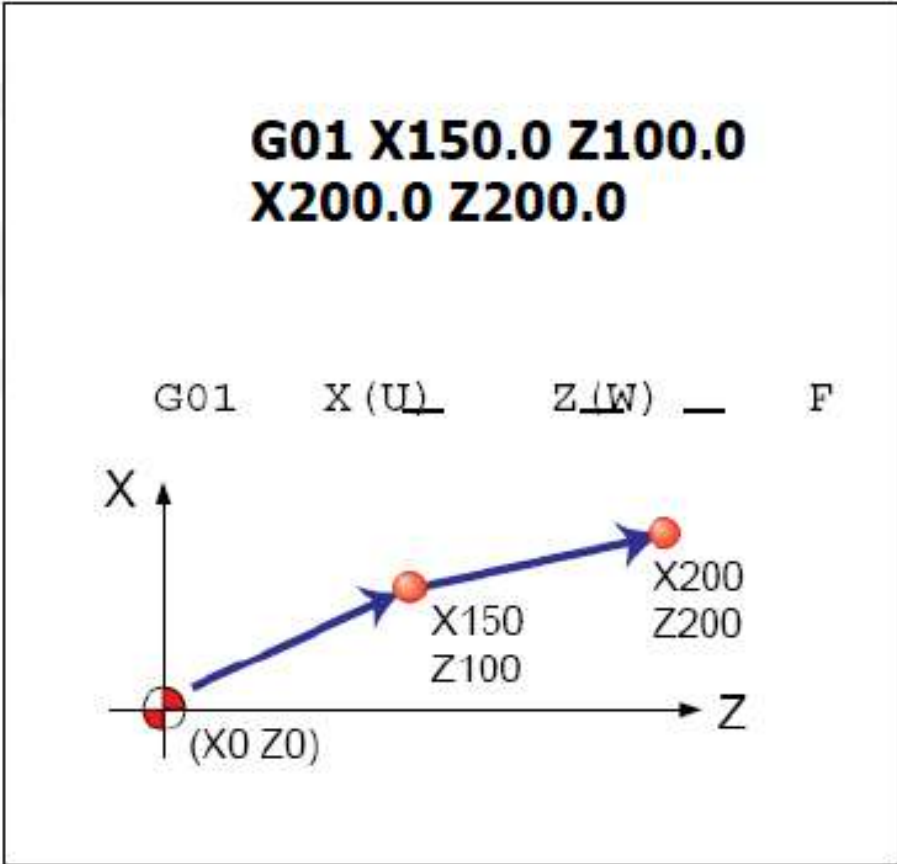
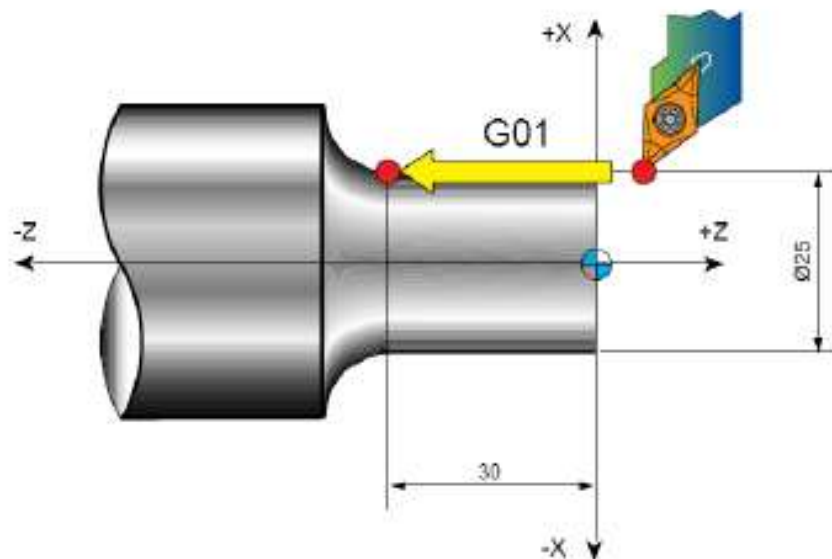
```
N10 G0 X25. Z5.
```



G01

G01 (Interpolação linear)

```
N10 G01 X25. Z-30. F0.2
```

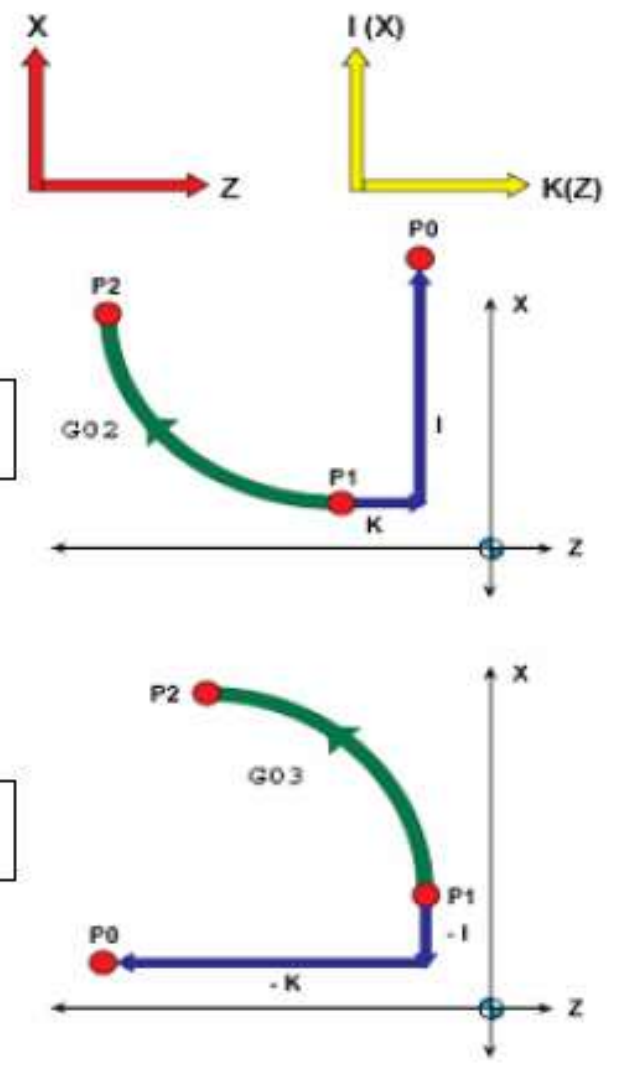


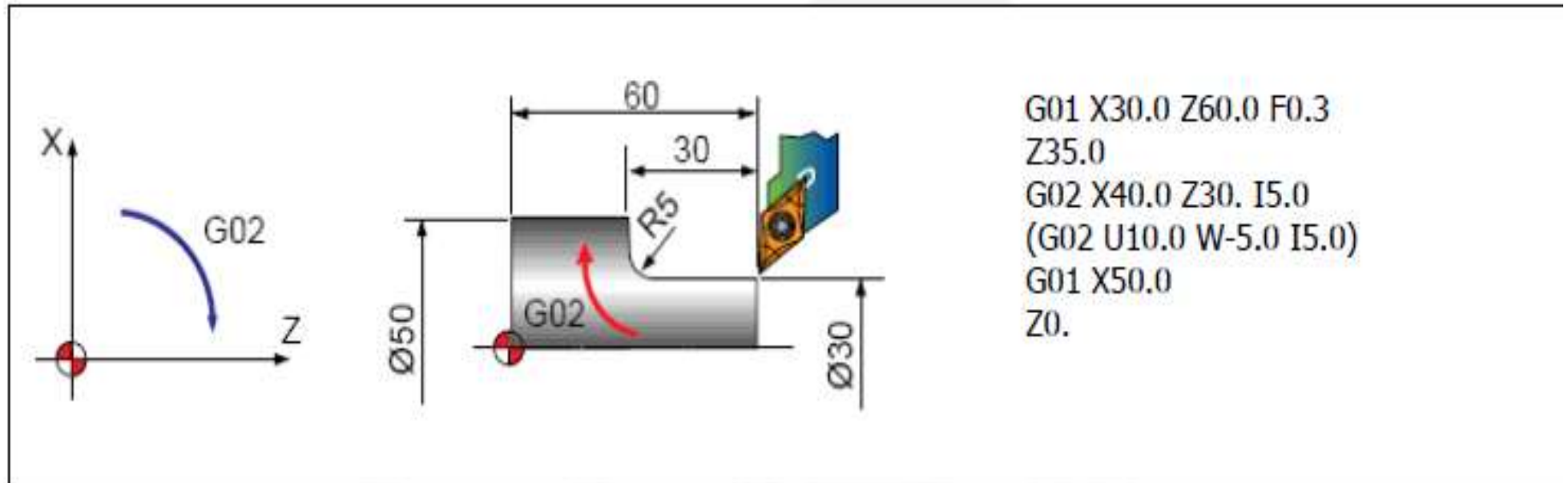
G02 G03

G02 / G03 Interpolação Circular Sentido Horário e Anti-horário

Horário `N10 G02 X..... Z... (R....)`

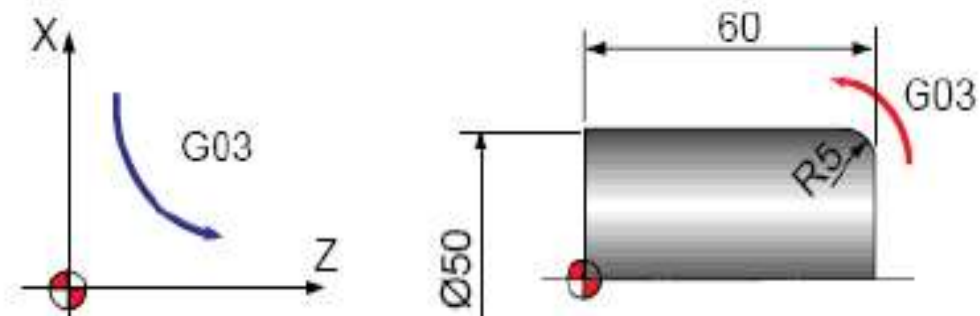
Anti-Horário `N210 G03 X..... Z... (R....)`





```
G01 X30.0 Z60.0 F0.3
Z35.0
G02 X40.0 Z30. I5.0
(G02 U10.0 W-5.0 I5.0)
G01 X50.0
Z0.
```

G03 X(u) Z(w) R_ F_ :



```
G01 X40.0 Z60.0 F0.3
G03 X50.0 Z55.0 K-5.0
```

Stepconf - Stepper Configuration Wizard

Cancel

Base Information

Back Forward

Machine Name:

Configuration directory:

Axis configuration:

Reset Default machine units:

Driver characteristics: (Multiply by 1000 for times specified in μ s or microseconds)

Driver type:

▼ Driver Timing Settings

Step <u>T</u> ime:	<input type="text" value="1000"/>	ns
Step <u>S</u> pace:	<input type="text" value="2000"/>	ns
Direction <u>H</u> old:	<input type="text" value="200"/>	ns
<u>D</u> irection Setup:	<input type="text" value="200"/>	ns


One Parport Two Parports

Base Period Maximum jitter: ns

Min Base Period:	58000 ns
Max step rate:	17241 Hz

Stepconf - Stepper Configuration Wizard

Parallel Port 1



Outputs (PC to Mill):	Invert	Inputs (Mill to PC):	Invert
Pin 1: Digital out 0	<input type="checkbox"/>	Pin 10: Spindle Index	<input type="checkbox"/>
Pin 2: X Step	<input type="checkbox"/>	Pin 11: Spindle Phase A	<input type="checkbox"/>
Pin 3: X Direction	<input type="checkbox"/>	Pin 12: Both Limit Z	<input type="checkbox"/>
Pin 4: Z Step	<input type="checkbox"/>	Pin 13: Unused	<input type="checkbox"/>
Pin 5: Y Step	<input type="checkbox"/>	Pin 15: Both Limit X	<input type="checkbox"/>
Pin 6: Unused	<input type="checkbox"/>		
Pin 7: Unused	<input type="checkbox"/>		
Pin 8: Unused	<input type="checkbox"/>		
Pin 9: Unused	<input type="checkbox"/>		
Pin 14: Unused	<input type="checkbox"/>		
Pin 16: Unused	<input type="checkbox"/>		
Pin 17: Unused	<input type="checkbox"/>		


Parport Base Address:


0

Output pinout presets:

Sherline

Stepconf -Stepper Configuration Wizard

Cancel  **Axis X** Back Forward

Motor steps per revolution: 200 

Driver Microstepping: 10

Pulley teeth (Motor:Leadscrew): 1 : 1

Leadscrew Pitch: 5 mm / rev

Maximum Velocity: 100 mm / s

Maximum Acceleration: 5790 mm / s²

Home location: 0

Table travel: 0 to 100

Home Switch location: 0

Home Search velocity: 1.5

Home Latch direction: Same

Time to accelerate to max speed: 0.0173 s

Distance to accelerate to max speed: 0.8636 mm

Pulse rate at max speed: 40000.0 Hz

Axis SCALE: 400.0 Steps / mm

File Machine View Help



Controle Manual [F3] | MDI [F5]

Preview | DRO

Axis:

X Y Z
[-] [+] Continuous

Home Axis | Apagador

Test Touch Off

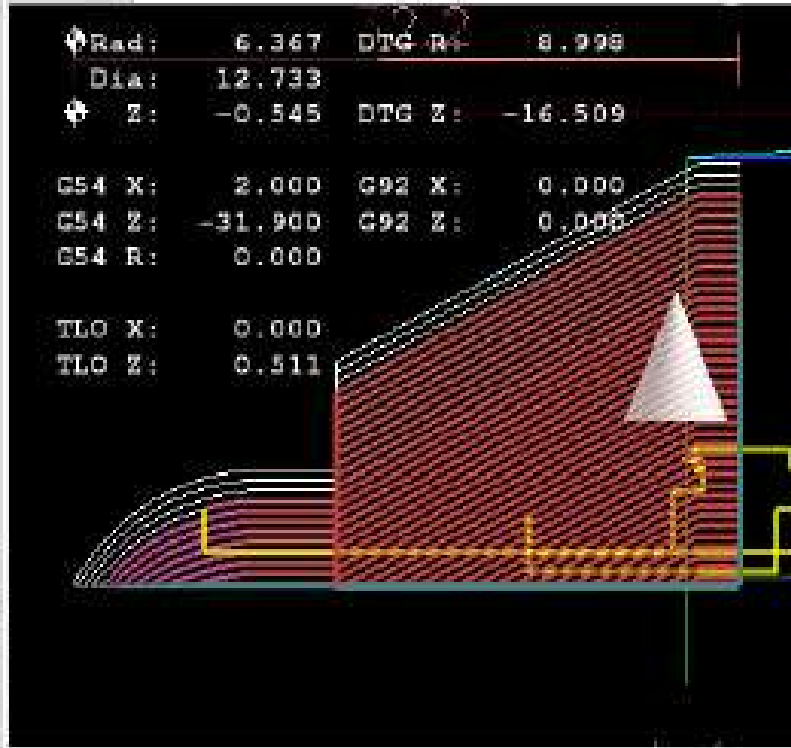
Ultrapassar limites

Spindle:

Stop

[-] [+]

Velocidade da máquina: 100 %
Rapid Override: 100 %
Spindle Override: 100 %
Jog Speed: 13 mm/min
Max Velocity: 1320 mm/min



Rad: 6.367 DTG R: 8.998
Dia: 12.733
Z: -0.545 DTG Z: -16.509
G54 X: 2.000 G92 X: 0.000
G54 Z: -31.900 G92 Z: 0.000
G54 R: 0.000
TLO X: 0.000
TLO Z: 0.511

156: N156 X20.5
157: N157 X20.8 F.8
158: N158 G0 Z2.5
159: N159 X5.797
160: N160 G1 Z.5 F.3
161: N161 X15.368 Z-17.061 F.4
162: N162 X20.5
163: N163 X20.712 Z-16.849 F.8
164: N164 G0 Z2.5

ON | Hehe Sem ferramentas | Position: Relative Actual

Spindle Speed:



Spindle-At-Speed

Offset Eixo Z: 0.00
Offset Eixo X: 0.00
Zero Eixo Z
Zero Eixo X

Increment mode

Vel Continuo (mm/min): 480
Vel Incremental (mm/min): 480

Arquivo Editar Ver Ferramentas Mover Ciclos de Torneamento Operações Sólidos Instruções Funções-M Verificar Customizar Opções Ajuda

Geometria - Torneamento - 0:00

Sequência

Instruções

- desbaste-fanuc21...
- 1 T7 Ferramenta...
- 2 Movimento Rá...
- 3 Desbaste
- 4 Movimento de...

torneamento (desbaste) - Simulator

Opções de Parada

torneamento

```

N10 G21 G90 G40 G95
N20 G10 T07 X0.0 Z0.0 I0.8 K0.8
N30 G54 (P0JNR-2S25-H15 - GC4015)
N40 T0707 H17
N50 H01
N60 G50 S3780 H44
N70 G97 S2500 H4 H7
N80 G0 X30.0 Z5.0
N90 X27.917
N100 G1 Z-39.9 F0.25
N110 X29.9
N120 G0 X31.9 Z-38.9
N130 Z5.0
N140 X25.934
N150 G1 Z-39.9 F0.25
N160 X27.917
N170 G0 X29.917 Z-38.9
N180 Z5.0
N190 X23.951
N200 G1 Z-37.969 F0.25
N210 X25.4 Z-30.0

```

Dinâmica 3.06

Mill Arc Generator 1.8

Figure out the G2/3 Code

X Center of Arc

Y Center of Arc

Diameter of Arc

Start Angle

End Angle

Direction CCW CW

Feed Value

Starting Point for the Arc

G Code for the Arc

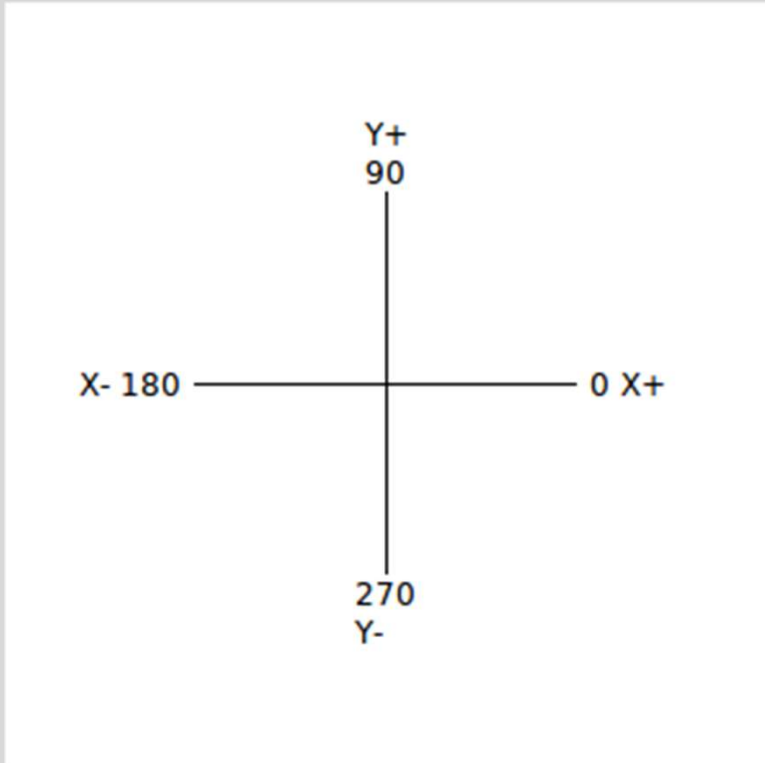
Send All

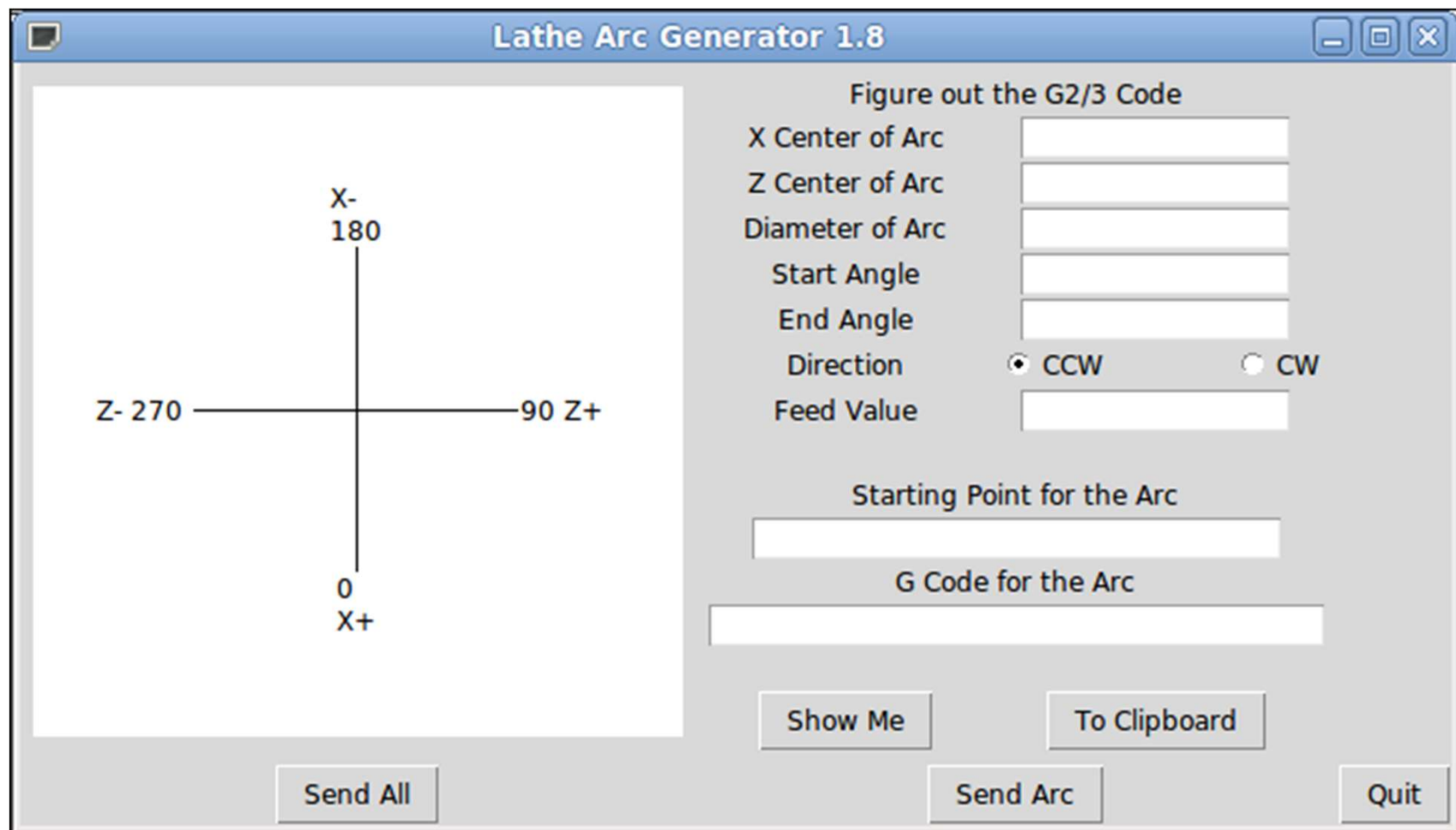
Show Me

To Clipboard

Send Arc

Quit





16.36 G76 Threading Cycle

G76 P- Z- I- J- R- K- Q- H- E- L-

