

3. MÁQUINAS FERRAMENTAS DE CONTROLE NUMÉRICO

3.1 SISTEMA DE CONTROLE NUMÉRICO (NC)

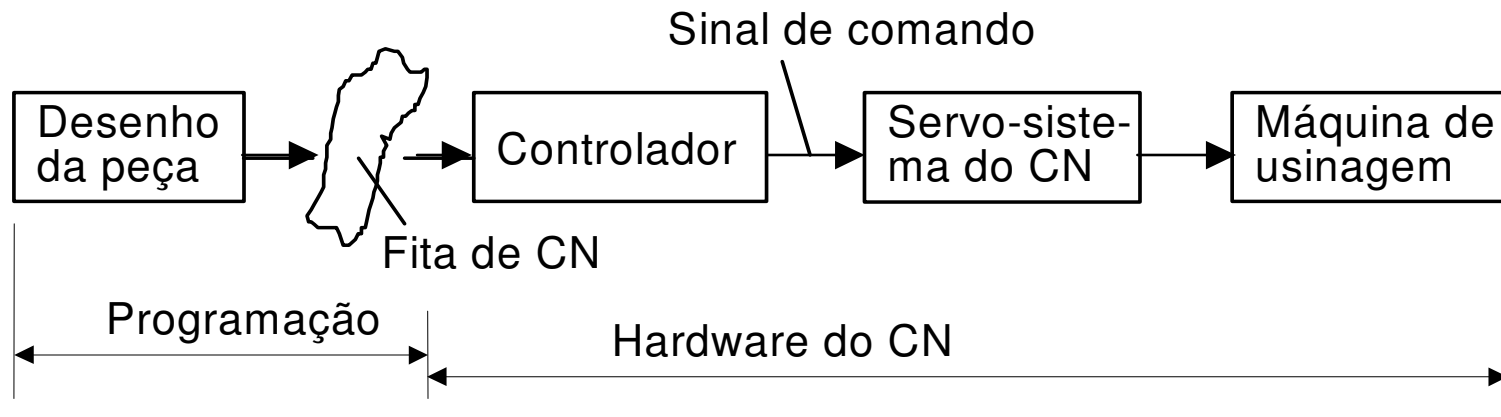


Fig. 3.1 Sistema de Comando Numérico

3.1.1 Características do CN

Características do sinal de comando circuitos digitais: gerar com facilidade sinais de comando com precisão teórica e arbitrária elevada

Versatilidade executar diversos tipos de usinagem, bastando para isso trocar a fita de CN.

Economia da usinagem

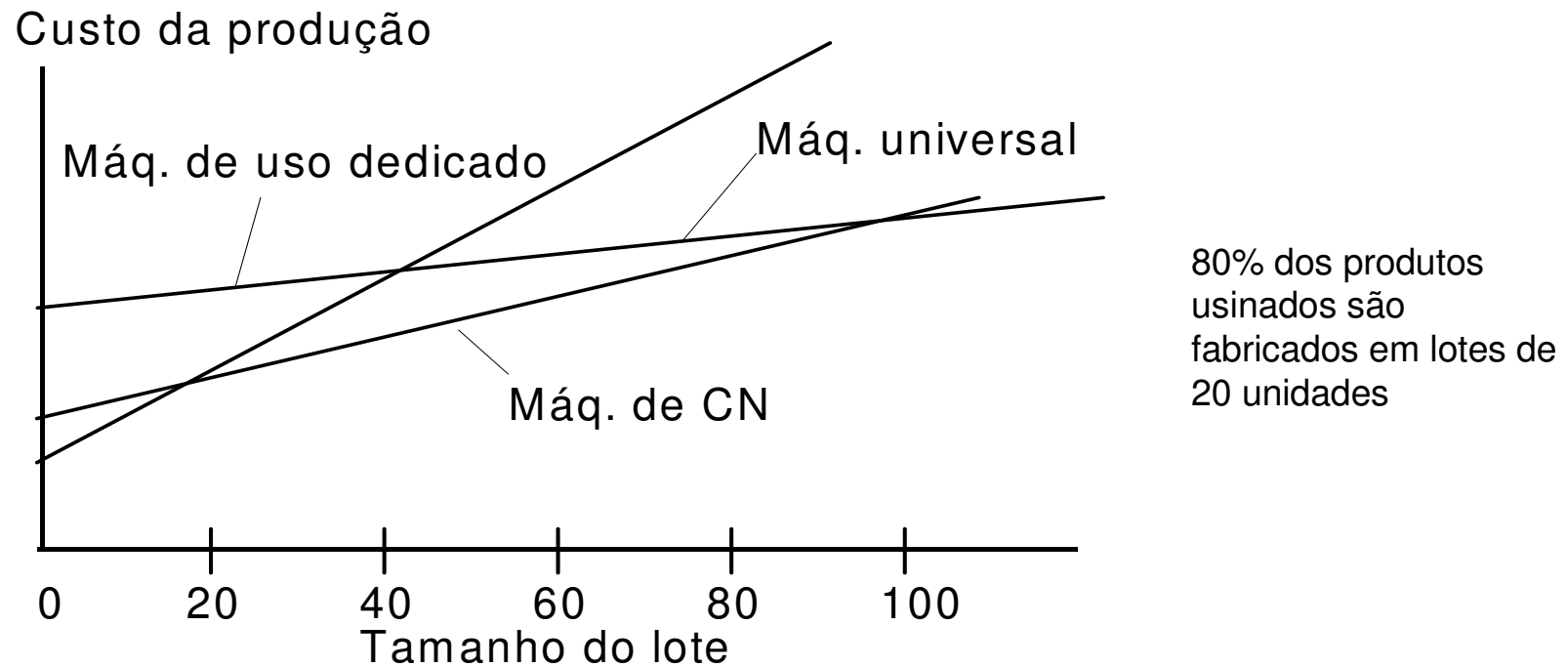


Fig. 3.2 O tamanho do lote e o custo da produção

Outras vantagens

Do ponto de vista da técnica de produção,

Desnecessária a intervenção do operador.

Evitar erros de manuseio da máquina ou erros de leitura nas medições.

Reduzir a quase zero o número de peças defeituosas.

Uniformizar a precisão do produto.

Redução no número de itens a serem inspecionados.

Economia de tempo.

Inspeção cuidadosa somente na primeira peça.

Redução no custo da produção.

Do ponto de vista do gerenciamento da produção

Prever o tempo de usinagem com exatidão.

Eliminar os tempos mortos do processo de fabricação.

Planejamento eficiente da produção.

Produzir novamente um produto já fabricado no passado, a um custo reduzido, bastando para isto guardar a fita de CN. Evitar a conservação de fixadores de alto custo, no caso das máquinas universais.

Reduzir a necessidade de estocar produtos semi-acabados ou acabados, i.e. redução no custo da estocagem.

3.1.2 História do CN

A idéia do CN surgiu com John T. Parsons. Logo após a 2a. Guerra Mundial, a força aérea americana se defrontou com a necessidade de executar repetidamente a usinagem complexa e de alta precisão de peças para a aviação e gabaritos para inspeção. Na ocasião, Parsons trabalhava na construção de uma máquina para usinar gabaritos em forma de placa para inspecionar pás de helicópteros.



John T. Parsons

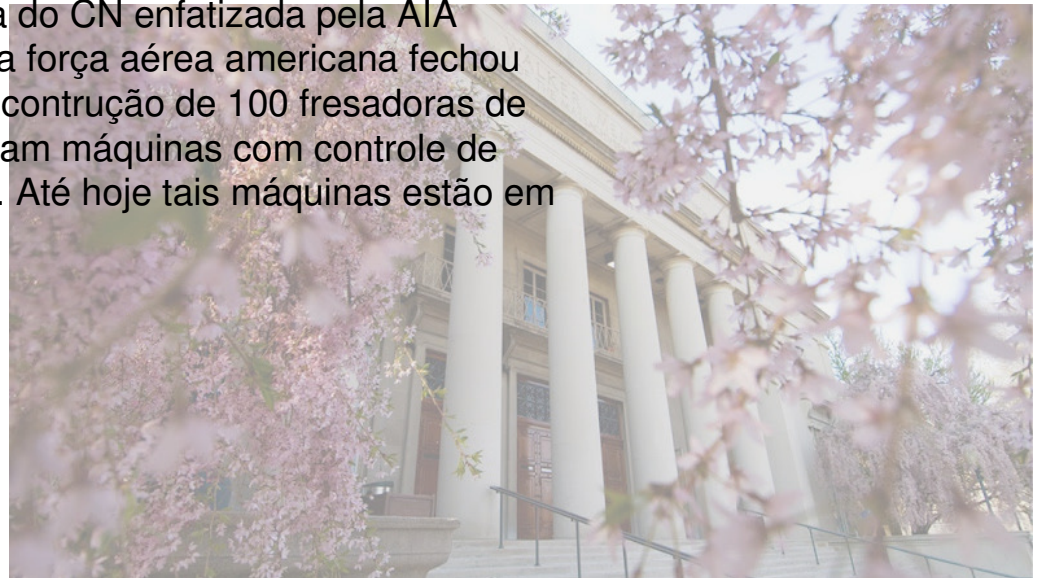
1948: com relação à idéia de Parsons na construção da máquina para usinagem de gabaritos, a força aérea americana decidiu encarregar à Parsons Inc., em Michigan, o desenvolvimento desta máquina. Este foi o ponto de partida para o surgimento do CN.

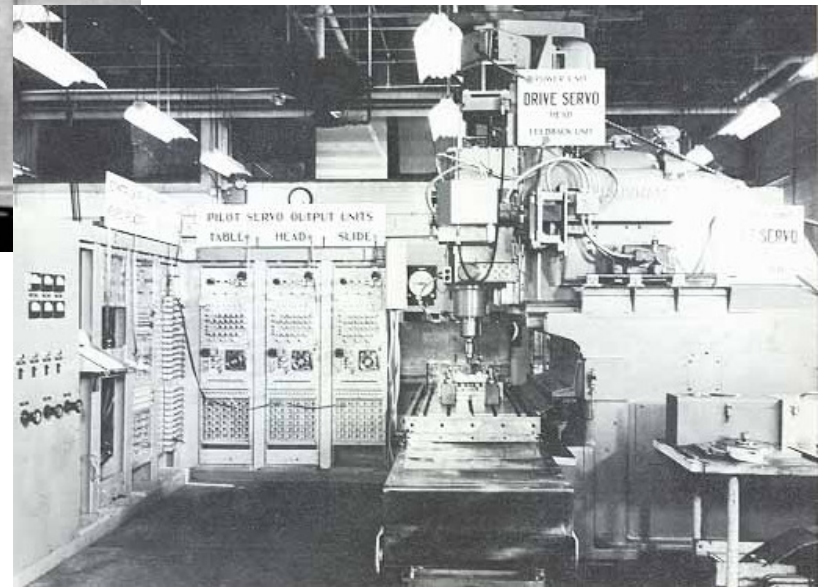
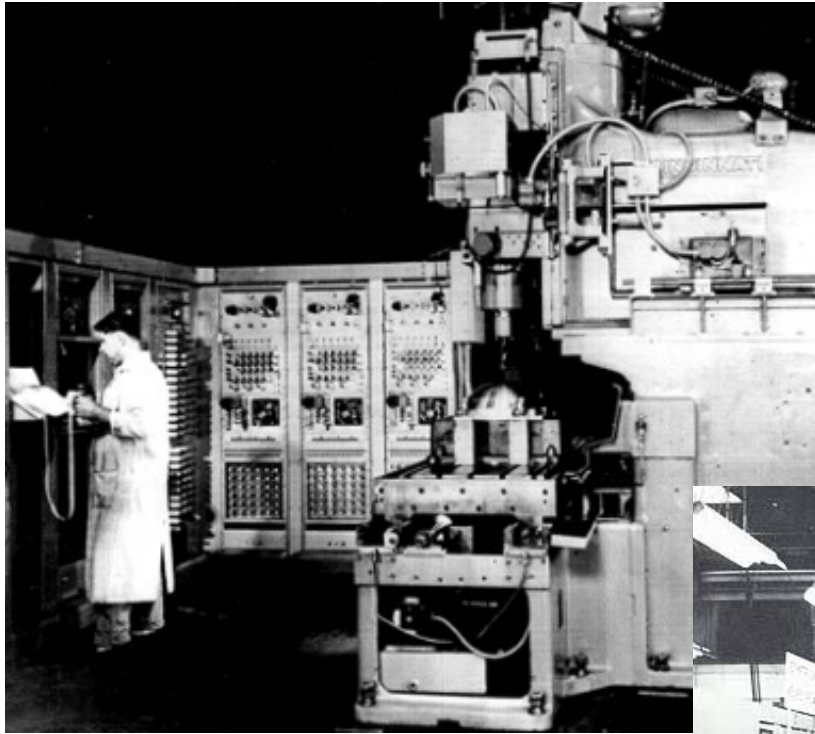
1949: Parsons, na condição de principal subcontratado no projeto, obteve do MIT um acordo de participação e colaboração.

1951: O MIT obteve da força aérea americana o contrato para o desenvolvimento de uma fresadora de CN com 3 eixos controlados.

1952: O Laboratório de Servo-Mecanismos do MIT desenvolveu uma máquina de CN e publicou o fato. Foi o nascimento do CN.

1955: Reconhecendo a importância do CN enfatizada pela AIA (American Industries Association), a força aérea americana fechou um contrato de U\$35 milhões para construção de 100 fresadoras de CN. Grande parte das máquinas eram máquinas com controle de contorno com 54ft de comprimento. Até hoje tais máquinas estão em funcionamento





1957: O Research Laboratory of Precision Machinery and Electronics, do Tokyo Institute of Technology (Japão), desenvolve um torno de CN com controle de contorno em 2 eixos. No servo-sistema do CN foi utilizada uma combinação de um motor de passos e uma transmissão hidráulica. Em dezembro do mesmo ano, a Fujitsu (FANUC) lançou uma prensa revólver de CN.

1958: A Fujitsu juntamente com a Makino Milling Inc. lançou na feira mecânica de Osaka, a 1ª fresadora japonesa de CN

1959: O Institute of Machine Tooling (Japão) expos na Mostra Internacional de Tóquio, uma mandriladora de gabaritos CN equipado com sistema ótico de medição de coordenadas. A Mitsubishi Heavy Ind. adquiriu uma fresadora de CN desenvolvida em conjunto pela Fujitsu e a Hitachi Seiki. Esta deve ser provavelmente a 1ª máquina de CN de uso prático fabricada no Japão. Nos EUA no entanto, a Keaney & Trecker já lançou no mesmo ano a Milwaukee-Matic, uma máquina equipada com um dispositivo de troca automática de ferramenta e que hoje é conhecida como centro de usinagem.

Nos EUA, as máquinas de CN começaram a ser utilizados em escala comercial somente a partir de 1960 e no Japão a partir de 1965. A utilização destas máquinas demonstrou um crescimento muito grande desde então, e a tendência no futuro é a de ocupar quase a totalidade das máquinas ferramentas.



Toda esta evolução deve no entanto ser acompanhada pelo desenvolvimento do software. O desenvolvimento dos métodos para se gerar automaticamente os comandos de CN foram iniciados juntamente com o surgimento das máquinas de CN. O patrocinador foi a AMC (Air Material Command) das forças aéreas americanas, sendo que o eixo da pesquisa era o MIT.

1955: AMC inicia desenvolvimento de um programa de computador para gerar os comandos de CN.

1956: Dentro do projeto, Arnold Siegel do MIT publicou o esboço de um sistema de programação automático de 2 dimensões.

1957: Implantado no AIA um projeto conjunto para o desenvolvimento de um programa mais genérico de CN. E na ocasião foi adotada como base, uma linguagem artificial chamada de APT (Automatically Programmed Tools), desenvolvida pelo MIT.

1958: O resultado do projeto, o APT II, é apresentado aos membros do AIA.

1961: Para ativar ainda mais a pesquisa, a AIA implanta o San Diego Central Project. Com uma equipe de 12 membros, desenvolve em 11 meses um programa totalmente novo chamado APT III. Para dar continuidade ao projeto e para difundir os resultados em outras áreas, é implantado o APT Long Range Program, ALRP. Um escritório central é instalado no IITRI (Illinois Institute of Technology Research Institute para a manutenção, administração e comunicação entre os membros. Mais de 100 órgãos associados.

1965: Um escritório da ALRP é implantado em Paris (APT-Europe) contando com a participação de aproximadamente 20 órgãos.

1967: É instalado no Japão o JADE (Japan APT Deveolpment), um escritório da ALRP.

Assim se deu a evolução da principal linguagem de programação automática, o APT. No entanto, existem inúmeras outras linguagens desenvolvidas pelas empresas que atuam no ramo de CN. No Japão, por exemplo existe a FAPT desenvolvida pela Fujitsu e a HAPT, pela Hitachi.

3.1.3 Eixo de coordenadas numa máquina ferramenta

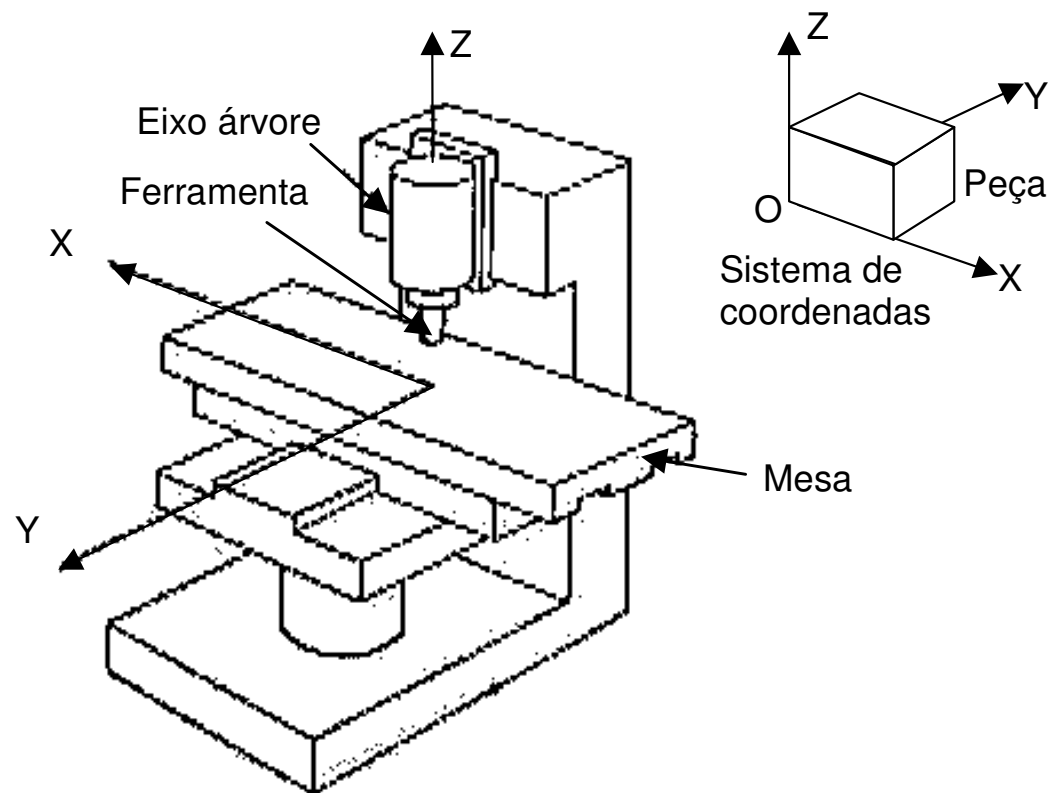


Fig. 3.3 Fresadora do tipo joelho

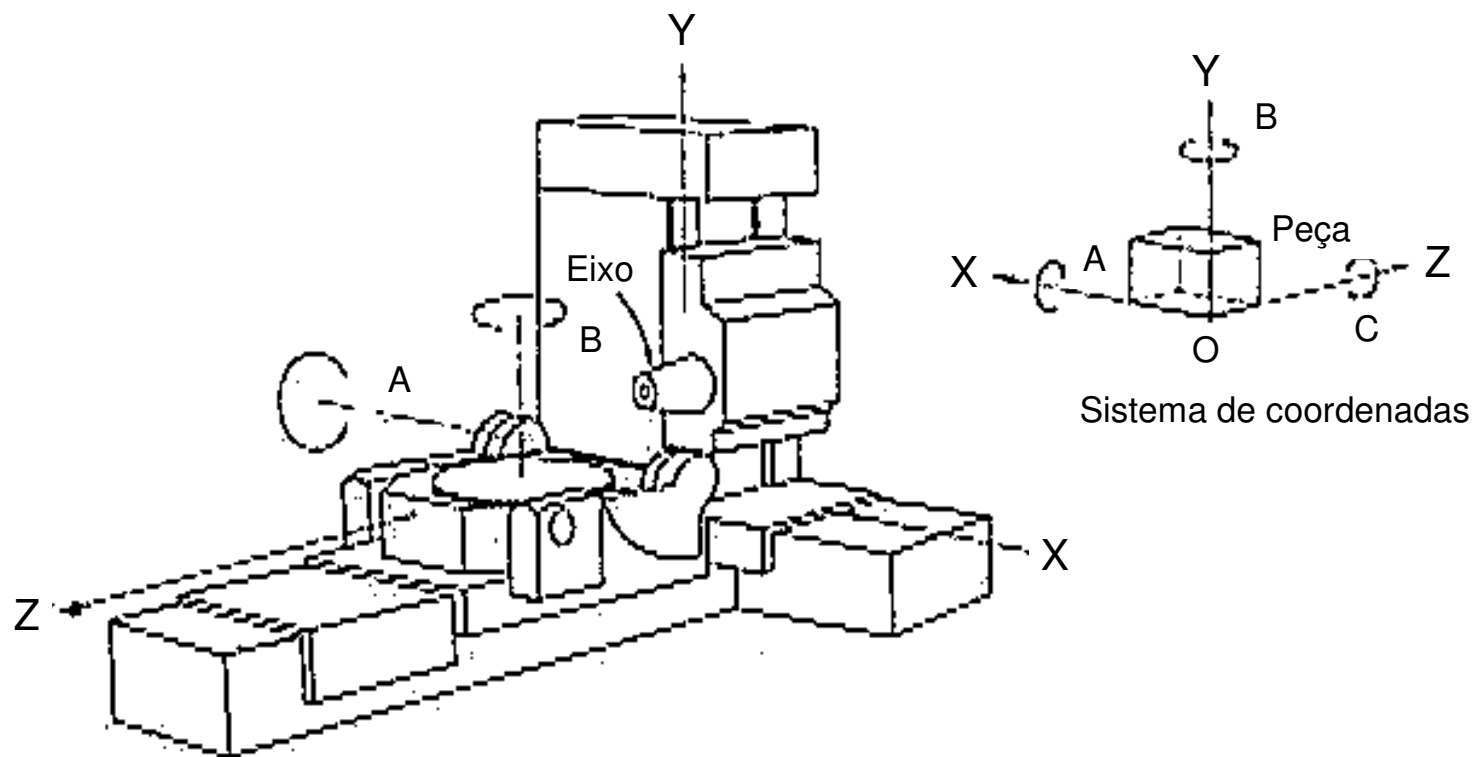


Fig. 3.4 Mandriladora com mesa giratória e basculante (5 eixos)

norma de recomendação da ISO (International Organization of Standardization).

3.1.4 Tipos de máquinas de CN

Máquinas de posicionamento ou de controle ponto-a-ponto (*positioning or point to point control*) : máquinas para mandrilamento (boring) e furação (drilling). Não executar nenhuma função de usinagem durante o posicionamento da ferramenta. Trajetória linear.

Máquinas de posicionamento e corte reto (*positioning and straight cut*) : máquinas que executam além da furação a operação de corte reto, de fresamento (milling).

Máquinas de contorno ou de controle contínuo de trajetória (*contouring or continuous path control*) : máquinas que permitem gerar a forma de uma peça controlando a trajetória da ferramenta em movimento,

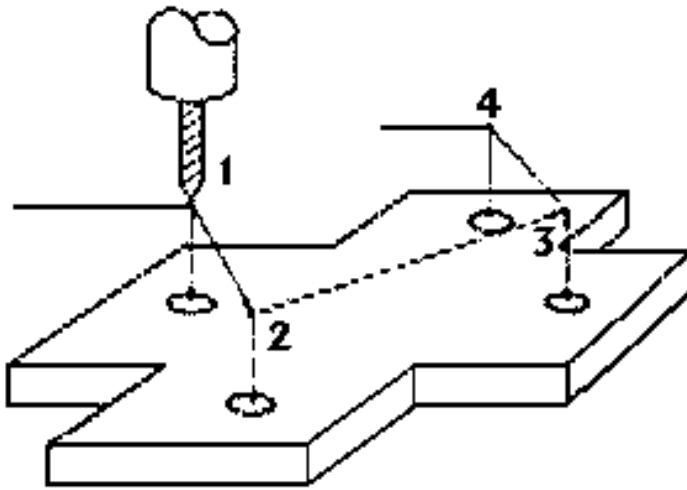


Fig. 3.5 Controle ponto-a-ponto

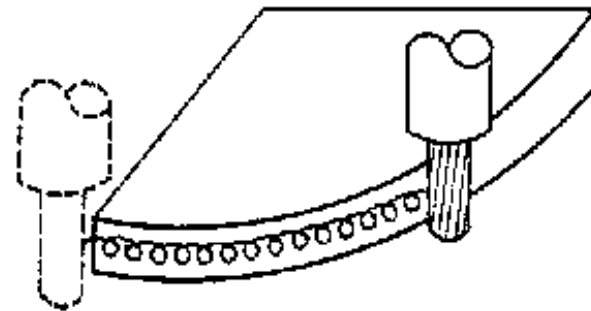


Fig. 3.6 Controle contínuo

Centro de usinagem (*Machining Center*): máquinas equipadas com um trocador automático de ferramenta ou ATC (*automatic tool changer*) e /ou trocador automático de paletes ou APC (*automatic pallet changer*), que com um único ajuste pode executar furação por meio de posicionamento, corte reto, usinagem de várias faces com controle contínuo, etc de forma automática. Aumenta de maneira notável o rendimento das usinagens que empregam várias ferramentas

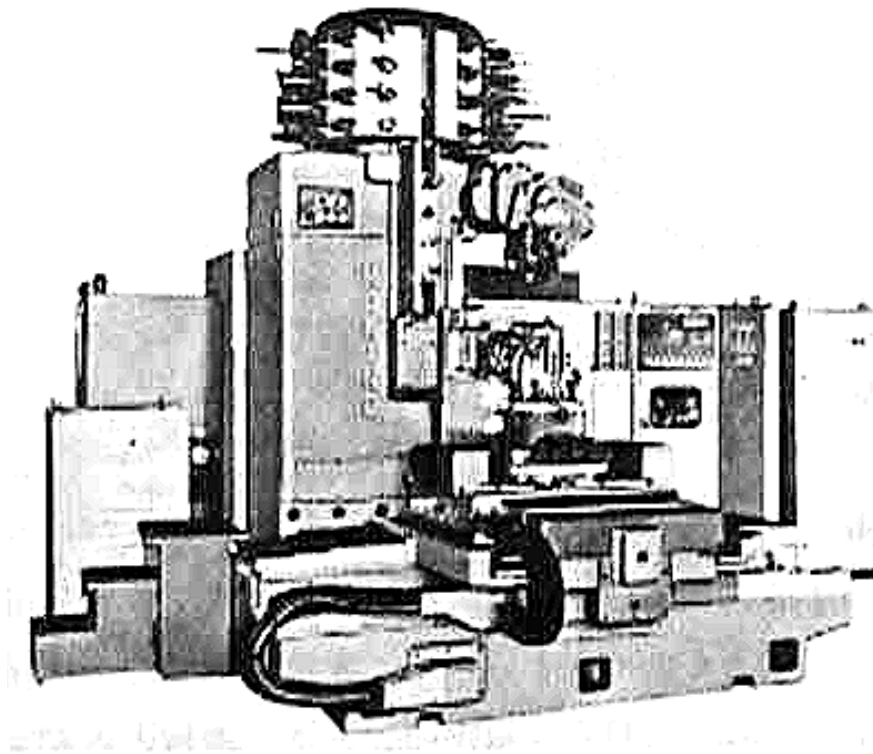


Fig. 3.7 Centro de usinagem

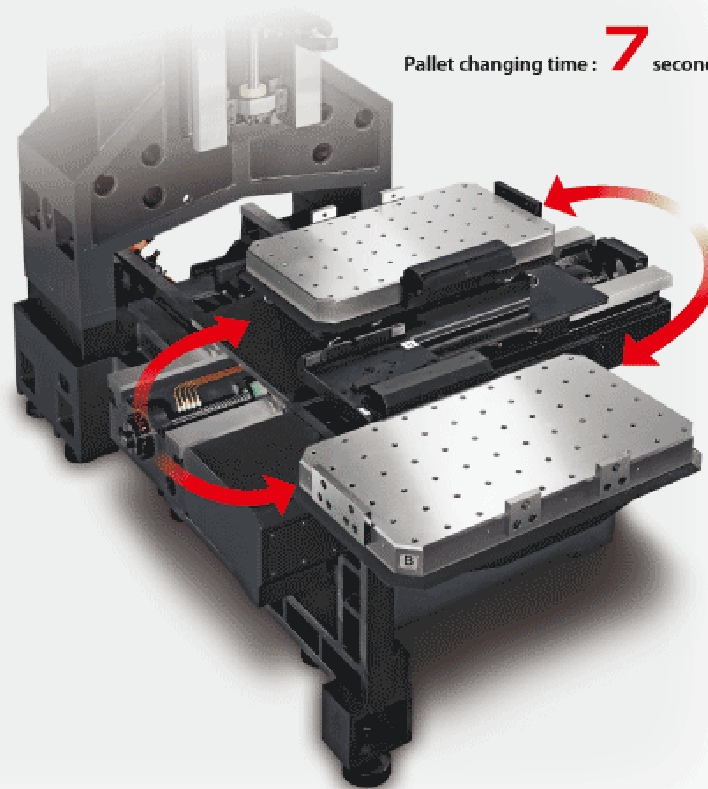
APC

- ▶ Table Size — **800 × 460 mm**
- ▶ Rotation Angle — **180°** (back / forth)
- ▶ Lifting Power — Hydraulic **35 Kg/cm²**
- ▶ Max. Loading — **200 Kg × 2**

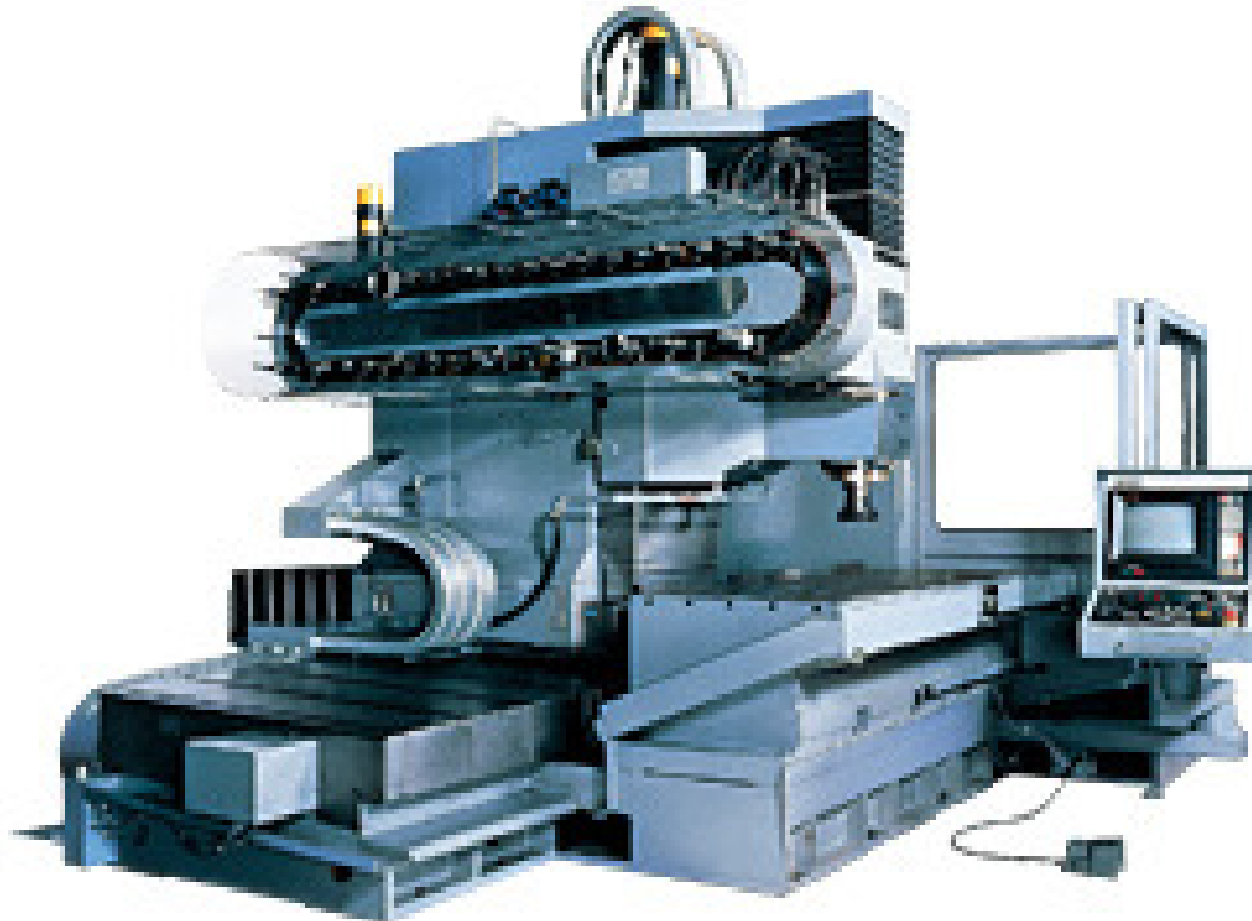
Pallet changing time : **7** seconds



BM850-APC Series



ATC



<http://www.hitachi-metals-techno.com>

3.1.5 Idéia básica do CN

Explicação no caso 2D. Vale o mesmo no caso 3D.

Plano XY: no CN consideram-se somente os nós da matriz não levando em conta os pontos intermediários. Movimento real da ferramenta não é ideal e está sujeito aos erros de movimento da máquina. Tamanho de cada quadrado na matriz é feito menor que o erro admissível. Geralmente 10, 5 ou 1 μm .

CN: Passar de um nó a outro nesta matriz

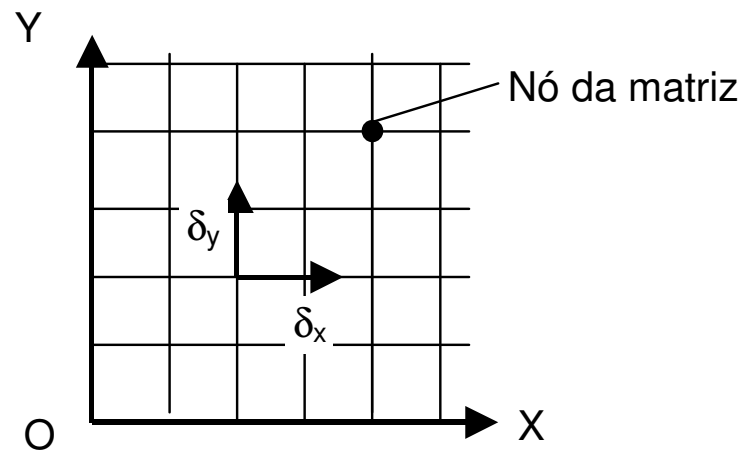
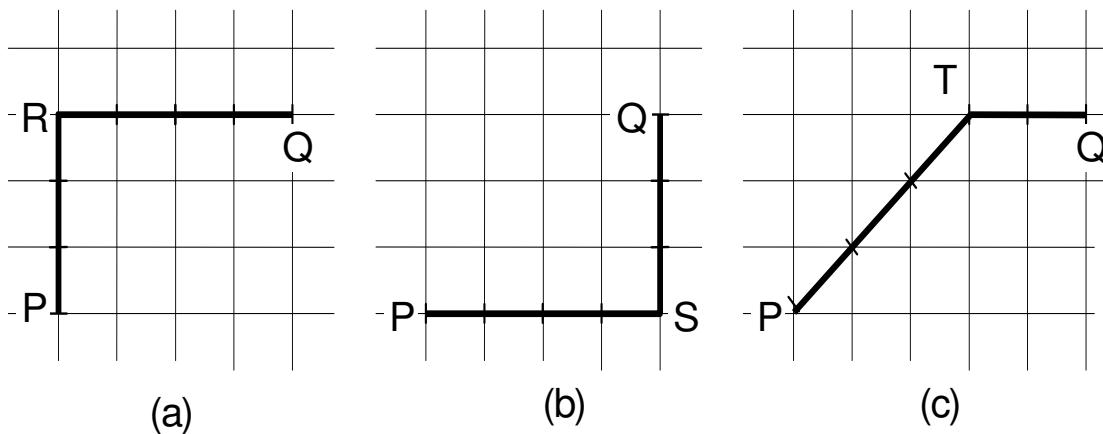


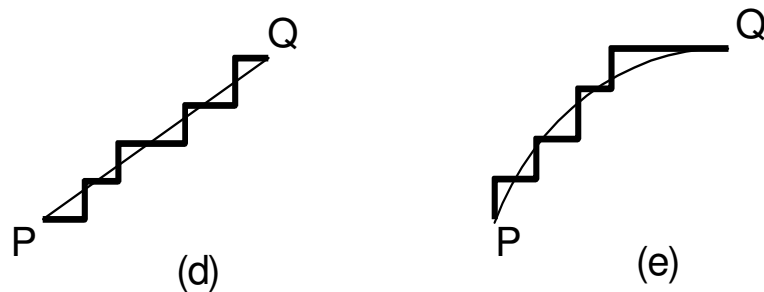
Fig. 3.8 O espaço discretizado

Deslocar do ponto P ao ponto Q:

Possibilidade 1: Não importa a trajetória (controle ponto-a-ponto).



Possibilidade 2: Importa a trajetória (controle contínuo)

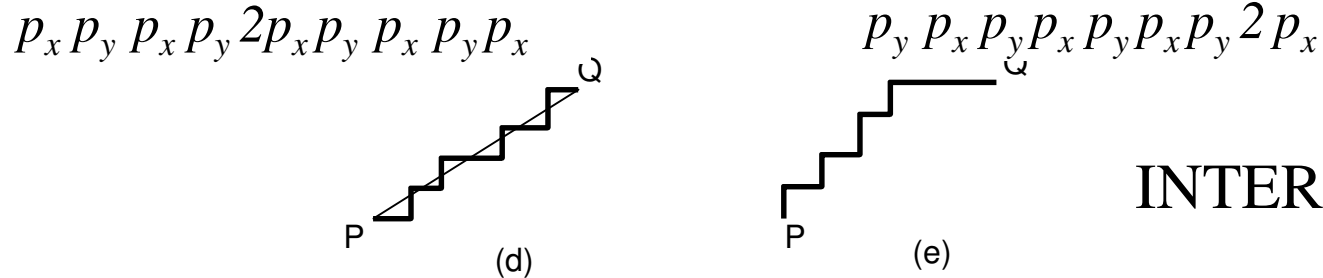
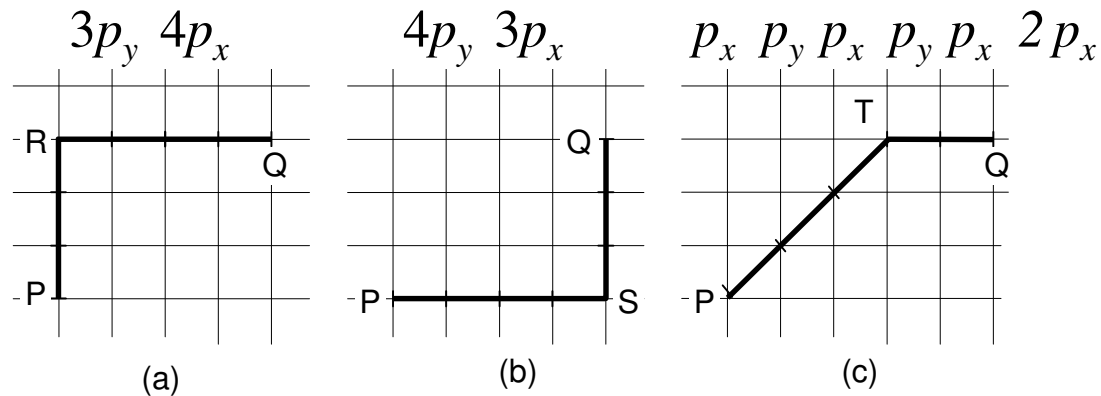


qualquer curva: sequência de movimentos de passo d

Fig. 3.9 Combinação de movimentos unitários

Como realizar isso?

Associar um pulso elétrico p_x e p_y para cada movimento unitário dx e dy
Tecnologia de controle digital.



INTERPOLADOR

Controlador numérico gera uma sequência de pulsos: **pulso de comando** (command pulse).

Pulsos de comando: transformado pelo servo-mecanismo do CN, p_x em dx e p_y em dy , produzindo de fato o movimento da ferramenta.

Ao tamanho do dx e do dy se dá o nome de **unidade de ajuste**.

3.2 EQUIPAMENTO DE CN

3.2.1 Controle de posicionamento

(1) Sistema Incremental

Comando dado na forma do valor a ser acrescentado na coordenada atual.

Programação simples.

O erro cometido num bloco de comando se propaga nos posicionamentos seguintes.

Problema ao pular um bloco de comando

Modificação na sequência de posicionamento exige que todo o programa seja alterado a partir da mudança.

Indicado quando a sequência de posicionamento é fixa.

(2) Sistema Absoluto

Comando de posicionamento é dado com base num sistema de coordenadas fixo.

Não há o problema da propagação do erro cometido num bloco.

Um bloco pode ser pulado sem problemas.

Sequência dos blocos pode ser alterado livremente.

Determinação das coordenadas ser mais trabalhoso.

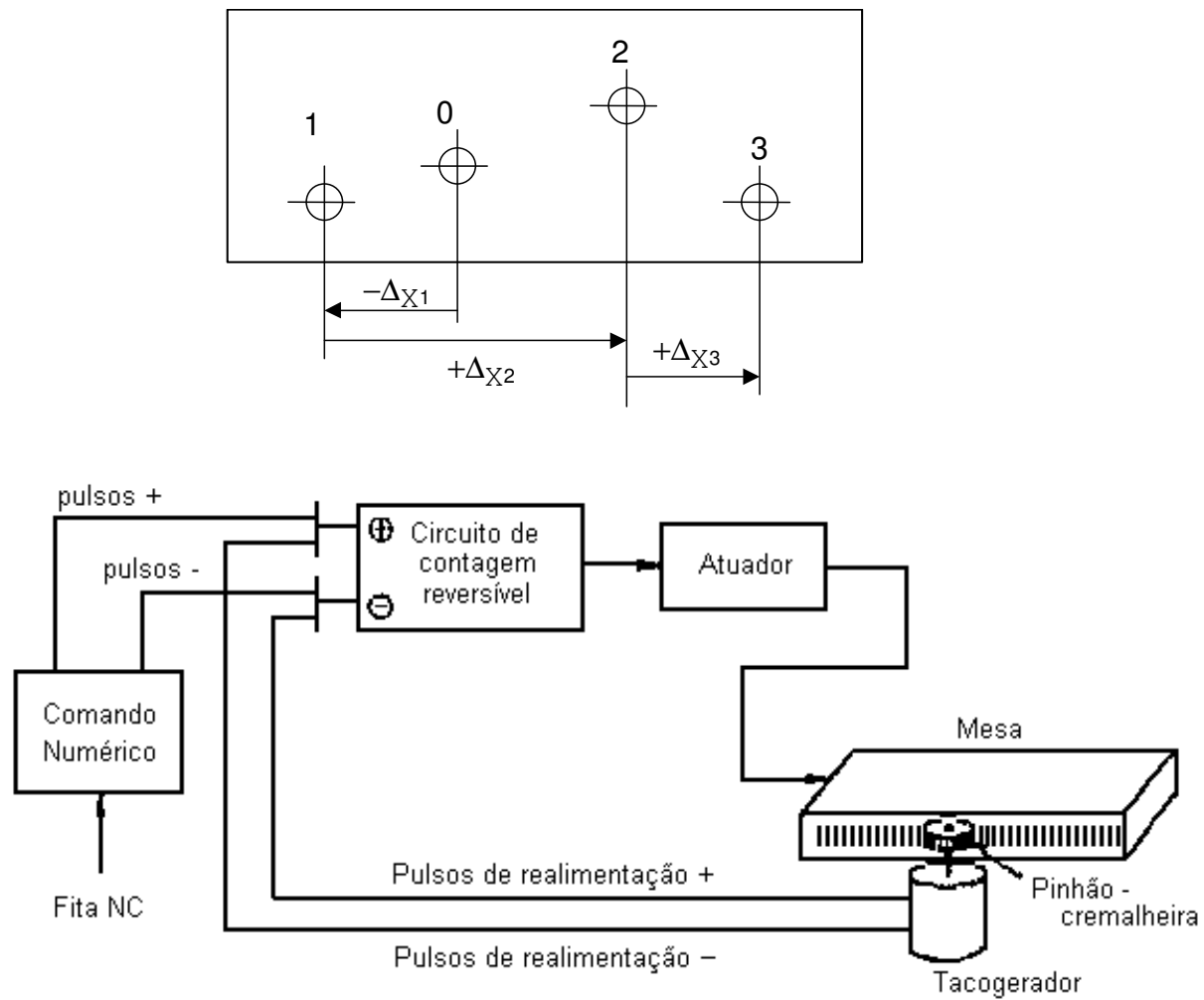


Fig. 3.10 Os comandos no sistema incremental

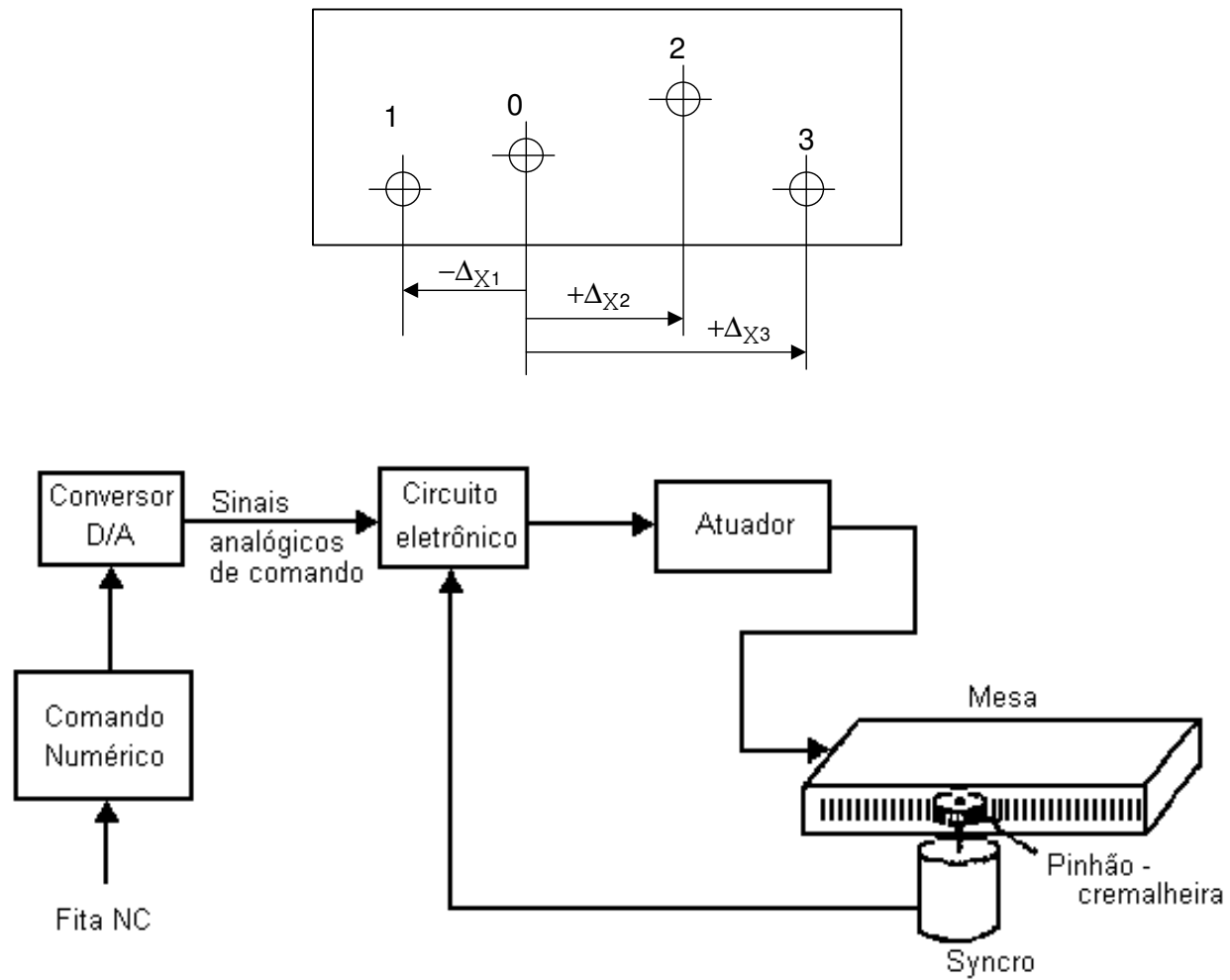


Fig. 3.11 Os comandos no sistema absoluto

3.2.2 Controle contínuo ou de contorno

Qualquer curva é aproximada por uma sequência de movimentos em forma de degraus

Aproximações feitas por um interpolador linear ou circular.

Primeiro interpolador da história: MIT, primeira máquina de CN

Somente a interpolação linear

Trajetória circular aproximado por segmentos.

Baseado em circuitos digitais com lógica TTL.

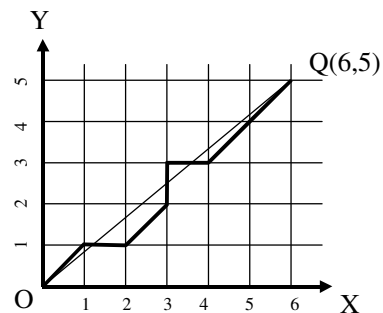
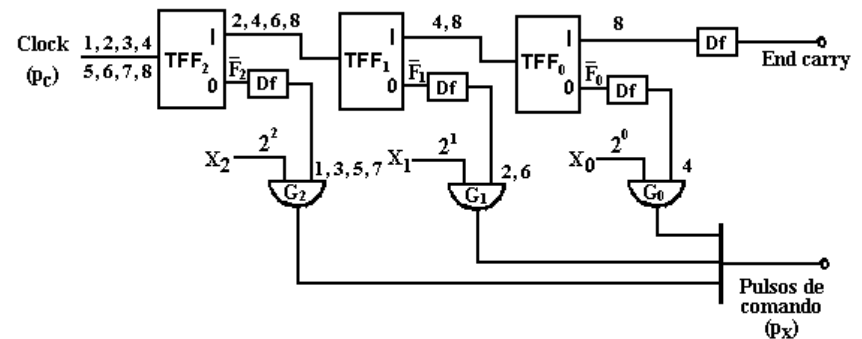
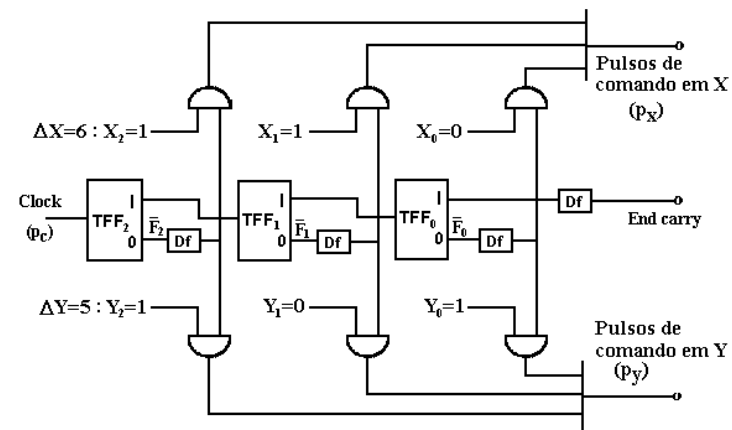


Fig. 3.12-b Interpolação linear (MIT)



Num. de pulsos	Binário										
	X ₂	X ₁	X ₀	1	2	3	4	5	6	7	8
7	1	1	1								
6	1	1	0								
5	1	0	1								
4	1	0	0								
3	0	1	1								
2	0	1	0								
1	0	0	1								

Fig. 3.12-a Princípio de funcionamento do sistema MIT



Outro interpolador bastante: interpolador DDA (digital differential analyzer)
Circuito digital capaz de resolver equações diferenciais
Possível aproximar retas e arcos de circunferência.

Europa e os EUA:
MIT e DDA

Japão:
Interpolador polinomial, circuito digital que resolve a equação de uma reta ou de uma circunferência

Primórdios:
Interpolação por circuitos eletrônicos digitais (TTL)

Atualmente:
Interpolação por microprocessador que executa a interpolação em tempo real .
Maior versatilidade.
Maior variedade de interpolações.
Maior precisão da aproximação
Controladores numéricos com microprocessador ou um computador: **controle numérico computadorizado** ou **CNC**.

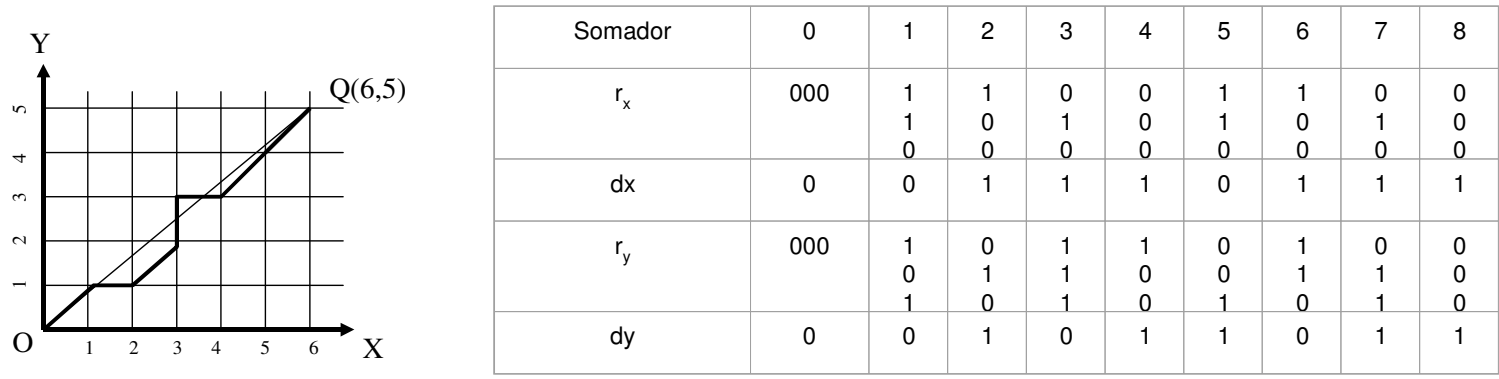


Fig. 3.13-d Interpolação linear (DDA)

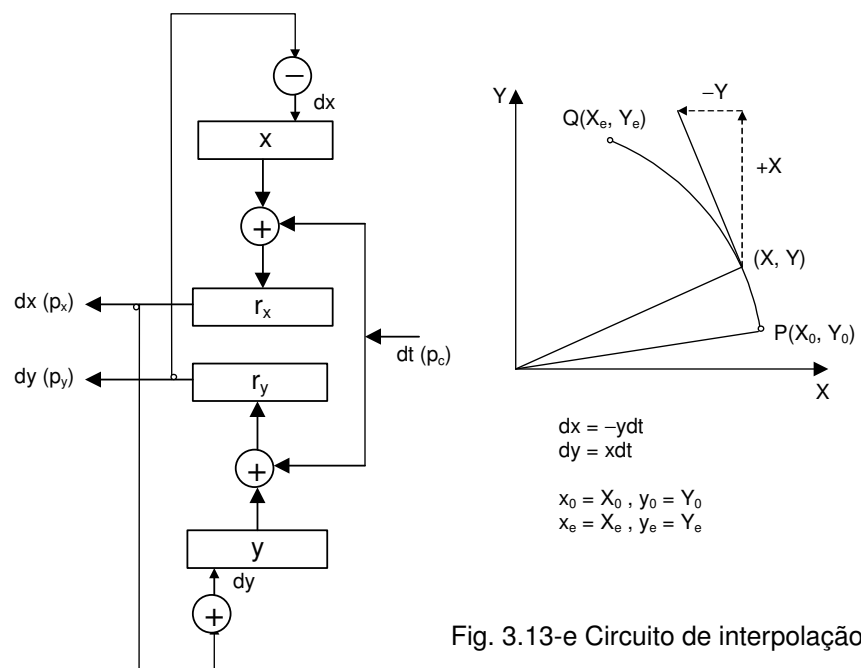
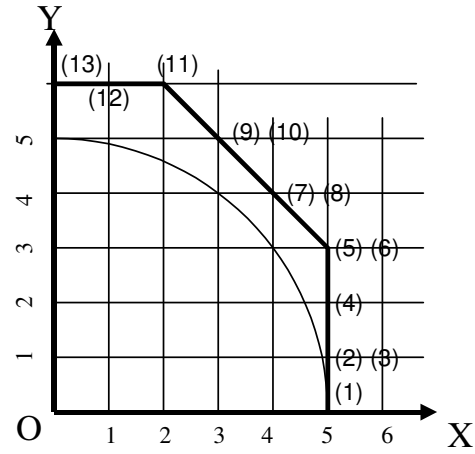


Fig. 3.13-e Circuito de interpolação circular (DDA)



Somador	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1 0	1 1	1 2	1 3
x	1 0 1	1 0 1	1 0 1	1 0 1	1 0 1	1 0 1	1 0 1	1 0 1	1 0 0	1 0 0	0 1 1	0 1 1	0 1 0	0 1 1
r _x	0 0 0	1 0 1	0 1 0	1 1 1	1 0 0	0 0 1	1 1 0	0 1 1	1 1 1	0 1 1	1 1 0	0 0 1	0 1 1	1 0 0
dx(+p _y)	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0
y	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 1	0 0 1	0 1 0	0 1 1	0 1 1	1 0 0	1 0 0	1 0 1	1 0 1	1 1 0	1 1 0
R _y	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 1	0 1 0	1 0 0	1 1 1	0 1 0	1 1 0	0 1 0	1 1 1	1 0 0	0 1 0	0 0 0
dy(-p _x)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1

Fig. 3.13-f Interpolação circular (DDA)

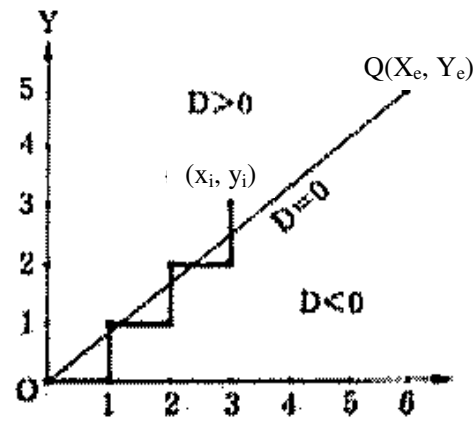


Fig. 3.14-a Interpolação linear (polinomial)

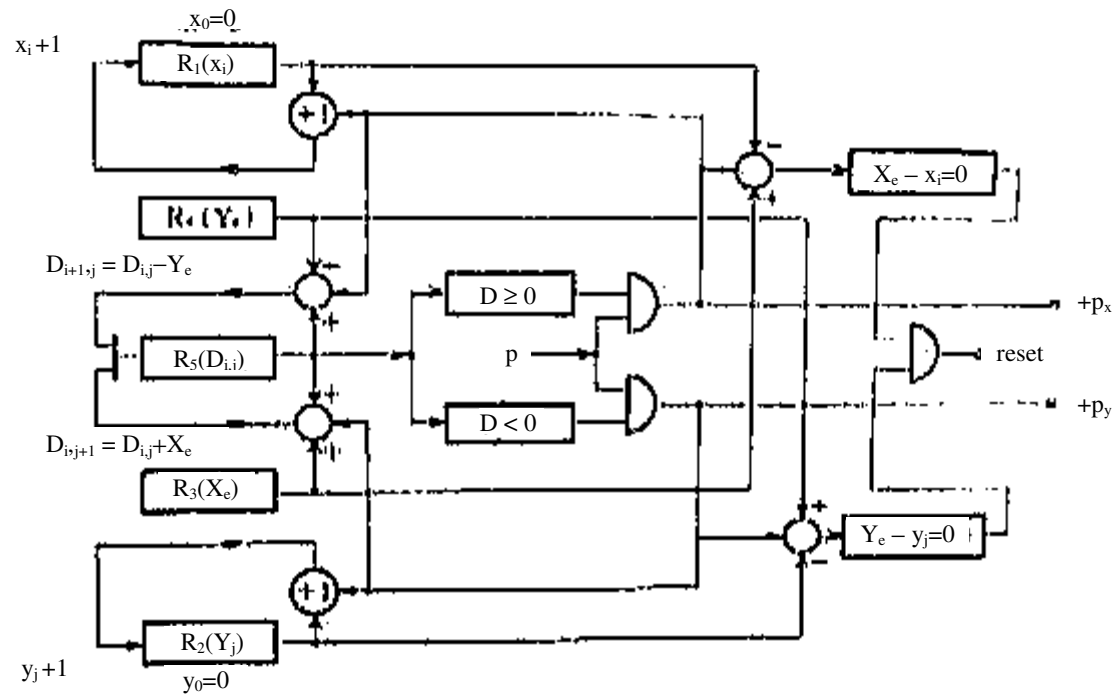


Fig. 3.14-b Circuito de interpolação linear (polinomial)

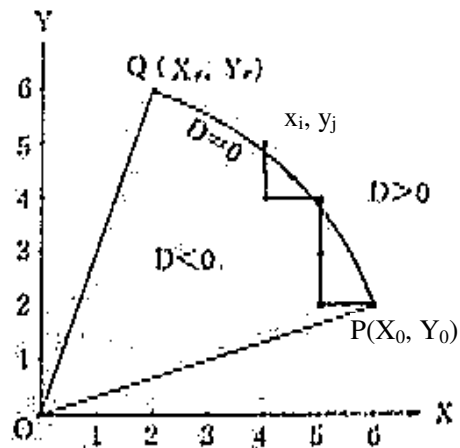


Fig. 3.14-c Interpolação circular (polinomial)

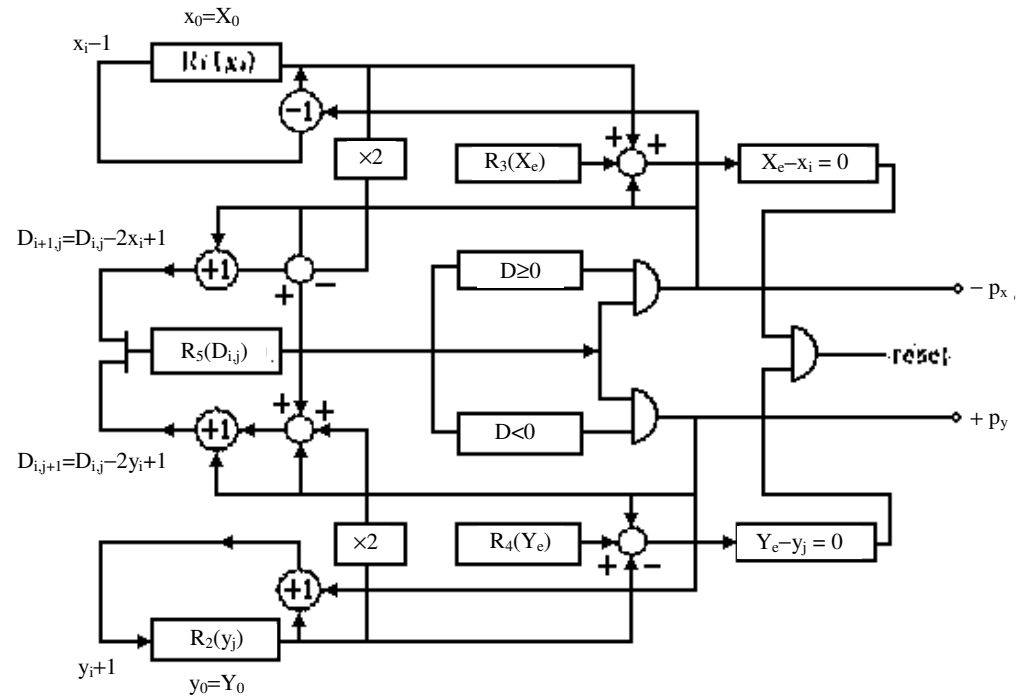


Fig. 3.14-d Circuito para interpolação circular (polinomial)

3.2.3 Compensação da ferramenta

Usinagem do contorno da peça: trajetória do centro da ferramenta deve ser deslocada para fora do contorno de uma distância igual ao raio da ferramenta (**off-set**).

A essa operação se dá o nome de **compensação da ferramenta** (cutter compensation).

Existe ainda a **compensação para o comprimento da ferramenta** que de maneira semelhante ao caso do diâmetro, faz com que a ponta da ferramenta se afaste da peça de um valor igual ao comprimento da ferramenta.

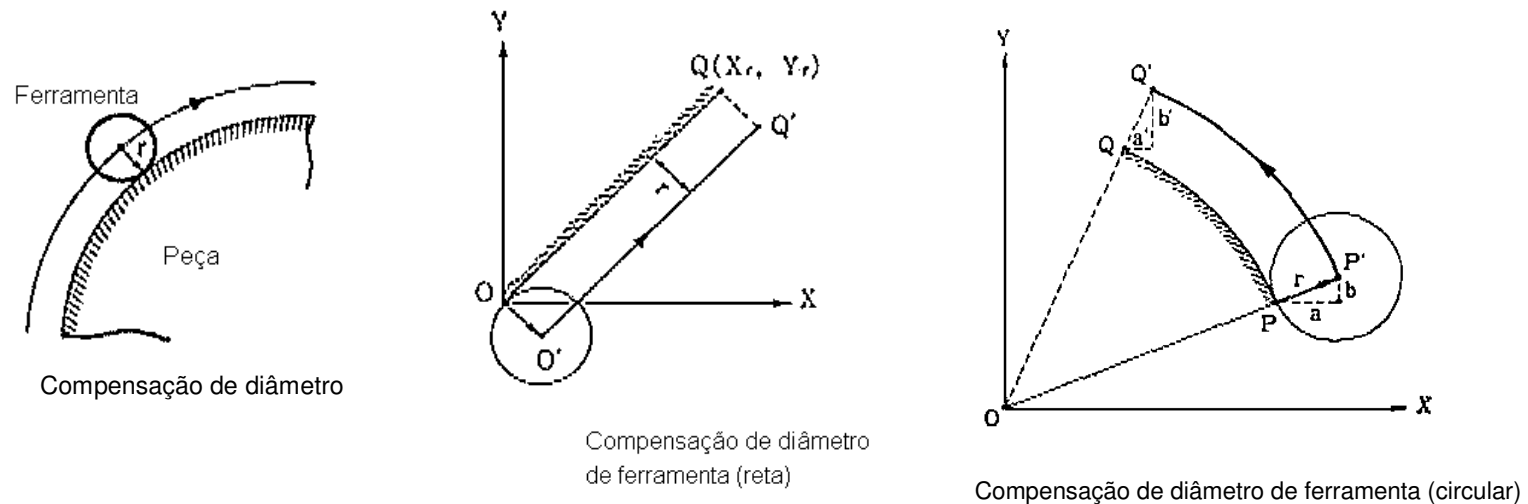
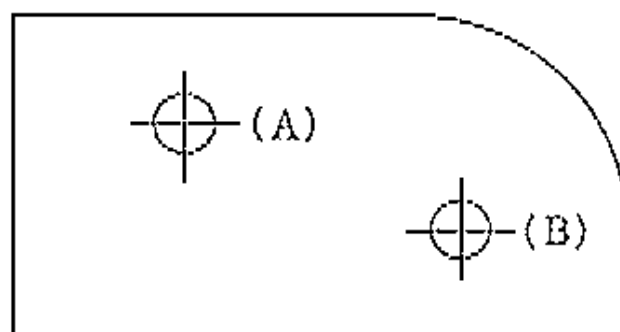


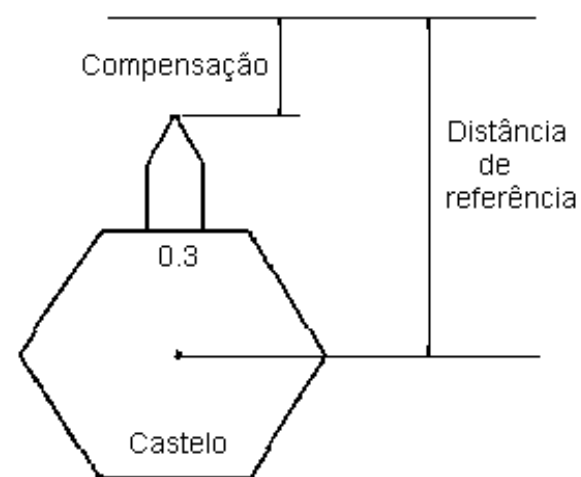
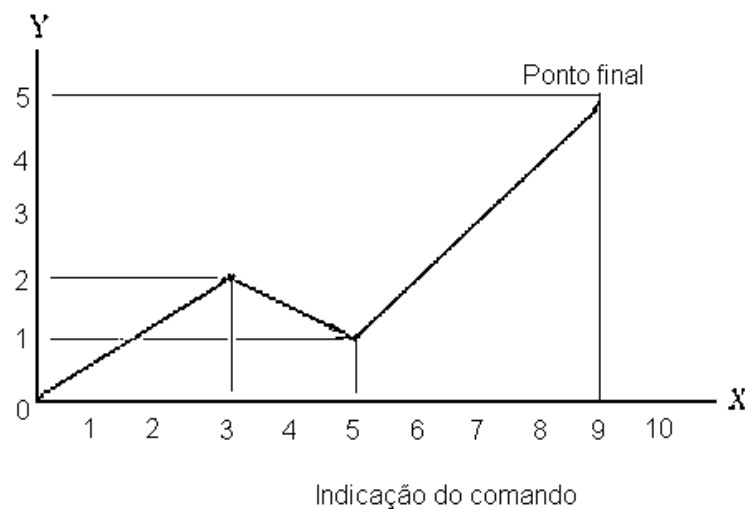
Fig. 3.15 Compensação do diâmetro da ferramenta

3.2.4 Opções do CN

Outras funções do equipamento de CN, que juntas dão à máquina de CN uma utilidade prática.



Salto de bloco



Compensação da posição da ferramenta

3.3 SERVO MECANISMO E SENSORES DE POSIÇÃO PARA O CN

3.3.1 Servo-mecanismo

Converte os sinais de comando do equipamento de CN em movimentos da máquina.

Determina a precisão da usinagem.

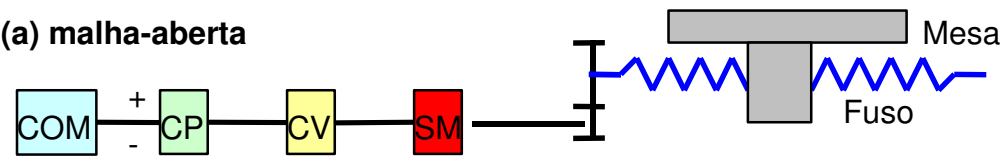
Cada eixo de controle requer um servo mecanismo.

Os varios tipos de servo mecanismos (sistemas).

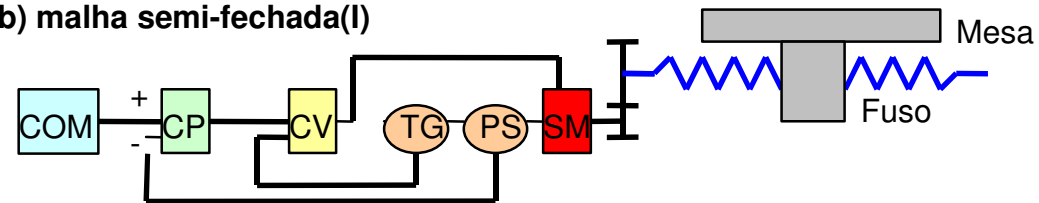
- (a) **malha aberta:** os sinais de comando são somente enviados ao servo-motor não havendo realimentção. Pouco utilizada.
- (b) **malha semi-fechada:** um sensor é acoplado na extremidade do eixo do servo motor ou do fuso de esfera, sendo que o sinal do sensor é realimentado ao sistema. Tem a vantagem de poder utilizar sensores baratos como resolvers e porisso é o sistema mais utilizado hoje em dia. Quando utilizado com um dispositivo eliminador de erro de passo do fuso e da folga do fuso, permite obter uma precisão de $\pm 2\mu\text{m}$. O eliminador de erro de passo do fuso, é um dispositivo que permite em cada posição do fuso, emitir pulsos de comando de forma a eliminar o erro local que é medido de antemão. Já o eliminador de folga no fuso, emite pulsos de correção correspondentes à folga do fuso, cada vez que o fuso muda o seu sentido de rotação.
- (c) **malha fechada:** neste sistema um sensor (uma régua óptica por exemplo) é acoplado ao objeto final do controle de movimento que é a mesa, sendo que a saída do sensor é realimentada ao sistema. Neste sistema é possível eliminar grande parte dos erros, sendo que é utilizado em máquinas de precisão ou máquinas de grande porte.

Fig. 3.16 Tipos de servo-mecanismos

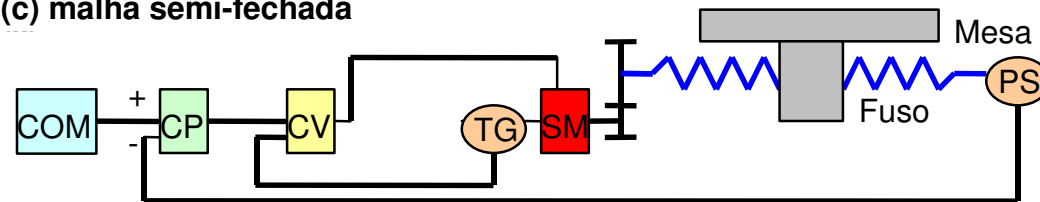
(a) malha-aberta



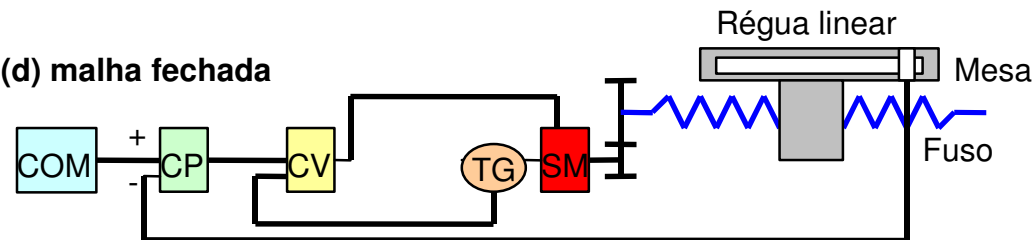
(b) malha semi-fechada(I)



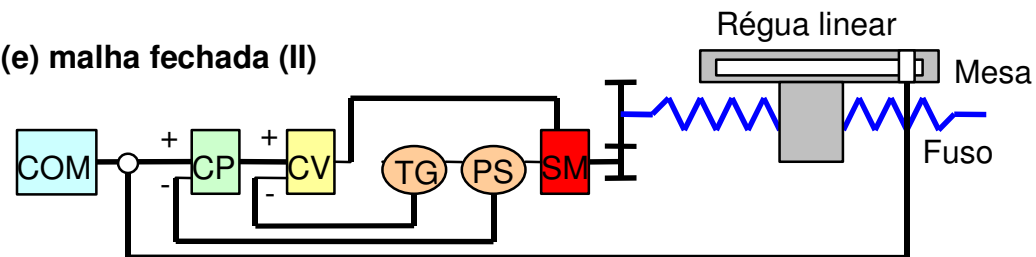
(c) malha semi-fechada



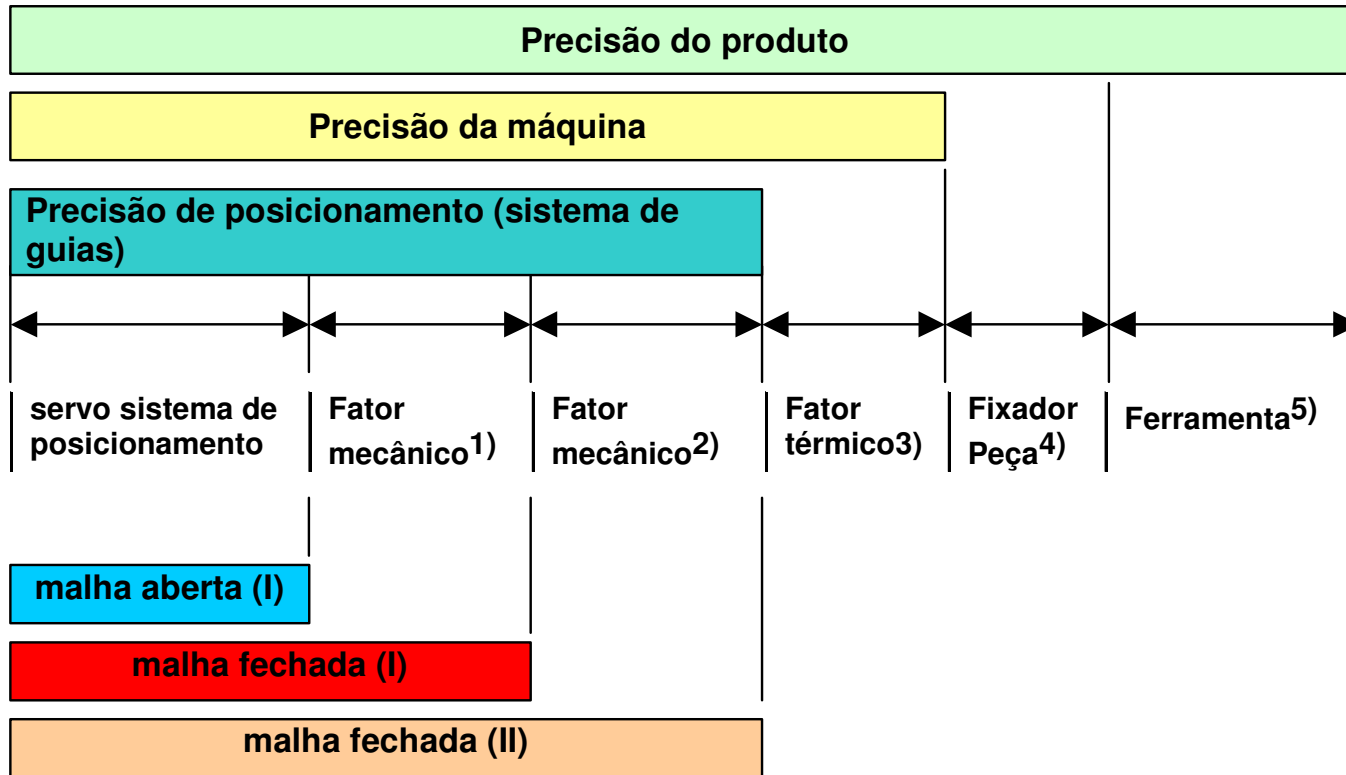
(d) malha fechada



(e) malha fechada (II)



SM: servo-motor
CP: control de pos
CV: control de veloc
TG: taco-gerador
PS: sensor de posição



1)
engrenagem:
folga
engrenagem: erro
de passo
deformação
torcional do fuso

2)
fuso: folga
fuso: erro de
passo
deformação do
suporte
alongamento do
fuso

3)
temp. no
interior da
máquina
temperatura
am-biente

4)
deformação
geométrica
(carga)
dilatação
térmica

5)
deformação
desgaste
dilatação
térmica

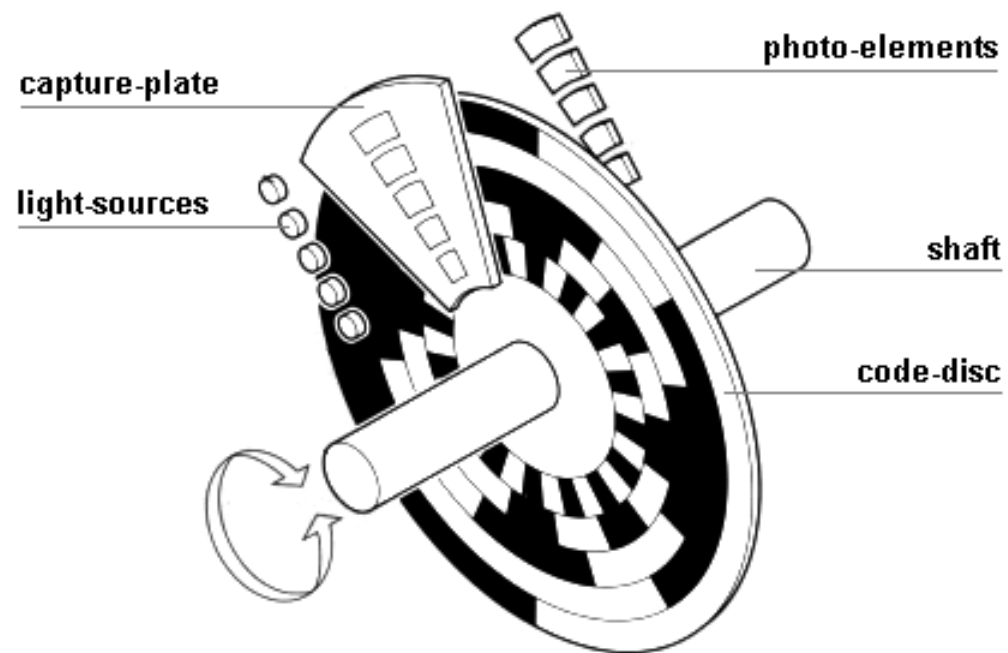
3.3.1 Servo-motores



www.fanuc.com

3.3.2 Sensores de posição

(1) Position coder



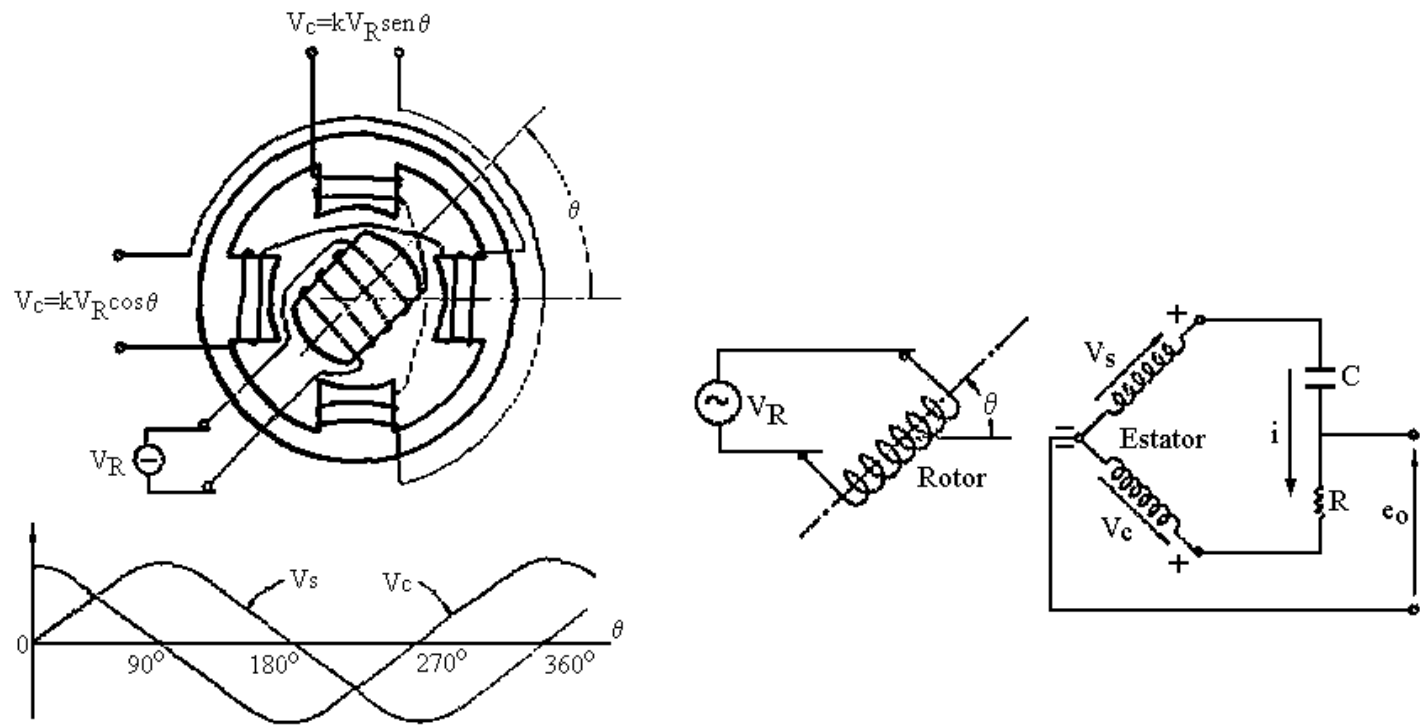


Fig. 3.18 Syncro resolver

(3) Inductosyn

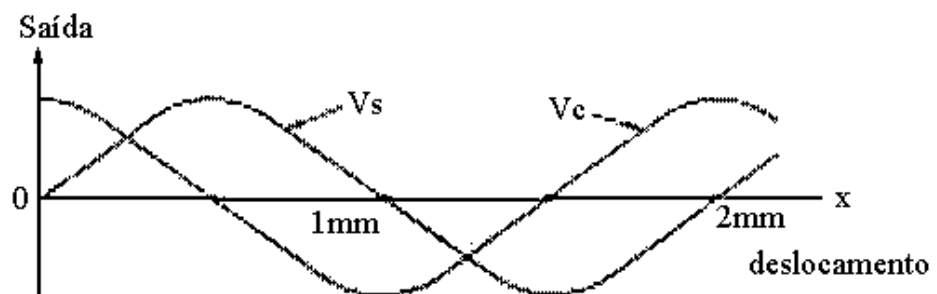
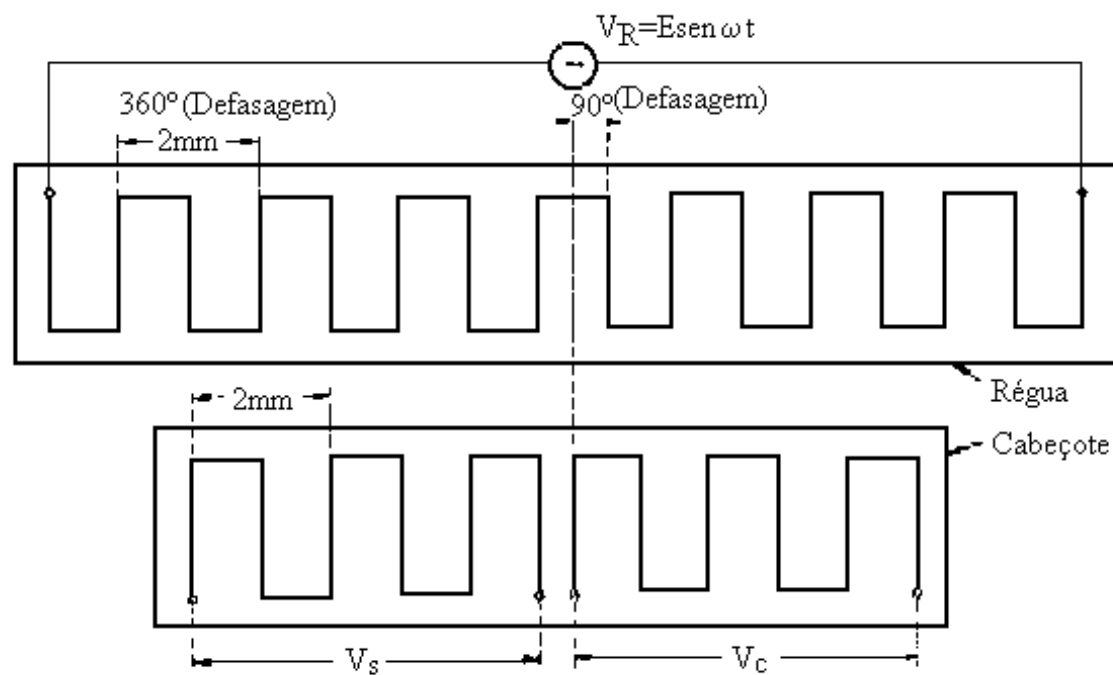


Fig. 3.20 Inductosyn linear

Diagrama de um sistema de gravação magnética. A base é uma camada de material magnético com polos N e S alternados. O intervalo de gravação é definido por uma distância $\lambda_m/2$ entre os polos e uma distância λ entre os polos. A base é composta por uma camada de material magnético e uma base.

Fig. 3.21-a Régua magnética - Cabeçote multi-gap

Fig. 3.21-a Régua magnética -
Cabeçote campo-sensível

(5) Sensor de franjas de Moire

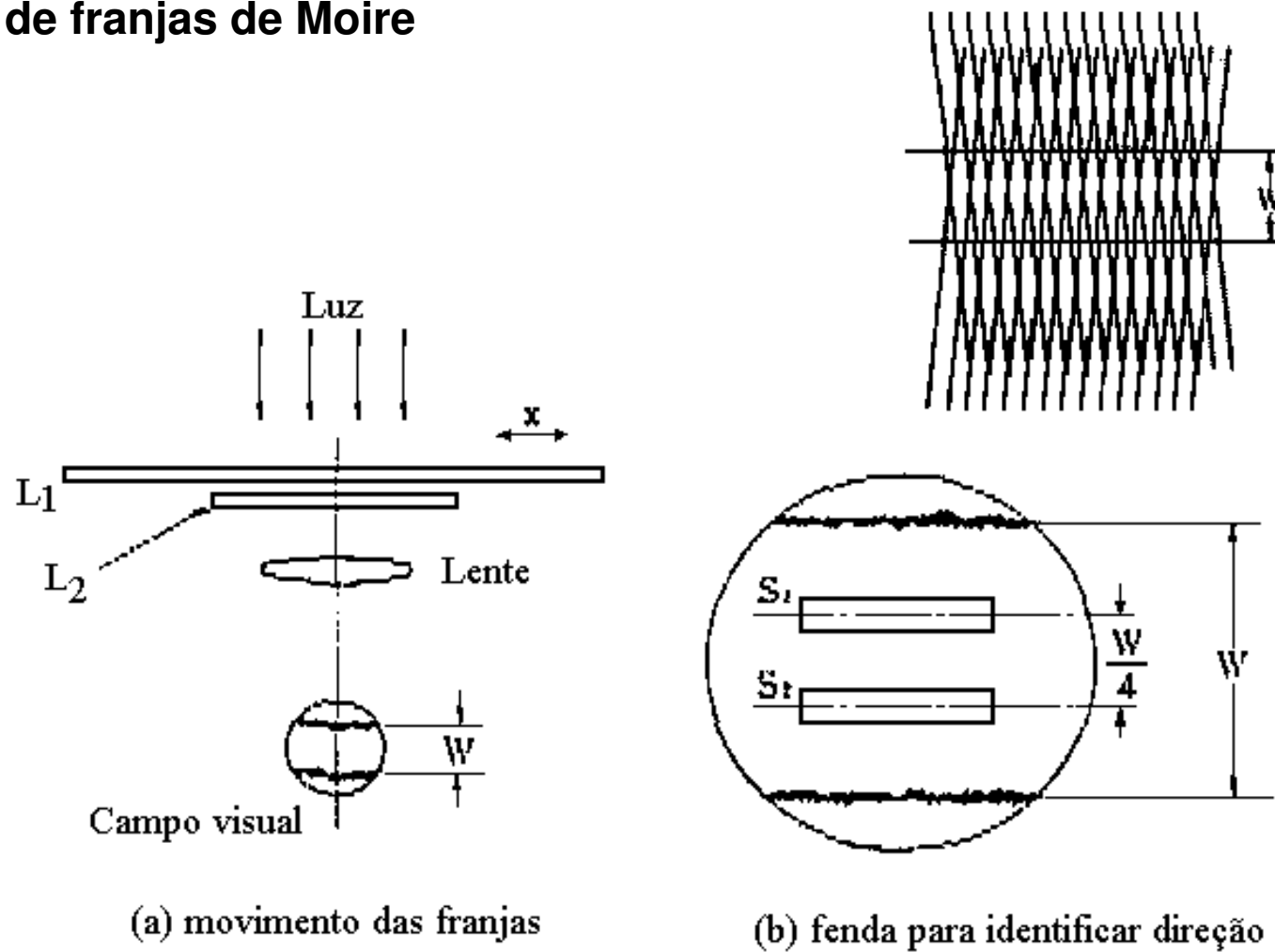


Fig. 3.22 Sensor de franjas de Moire

(6) Encoder óptico

(7) Interferômetro a laser

