

Parte 2

Programação Manual de Centro de Usinagem CNC

Parte 2

Programação manual de centro de usinagem CNC

2.1 - Introdução

Este capítulo tem por finalidade apresentar os conceitos fundamentais para programação manual de fresadoras e centros de usinagem CNC. Inicialmente apresenta-se o centro de usinagem Fadal VMC-15 e em seguida discute-se sobre as etapas que estão envolvidas no processo de execução de uma peça com este tipo de equipamento. Na seqüência detalha-se os elementos utilizados na linguagem ISSO e das estruturas padrão na construção de programas. Para assimilação do conteúdo são propostos exercícios com diferentes graus de complexidade. Para finalizar este capítulo tem-se a proposição de um trabalho prático de usinagem bem como uma descrição de uso do software de simulação da Fadal.

2.2 – Fadal VMC-15

A Fadal VMC-15 é uma fresadora CNC com troca automática de ferramenta, e devido a isto é denominada de *centro de usinagem*. Porta ferramenta com capacidade para 21 ferramentas. Área de trabalho é de 508 mm no eixo *X* (20 pol.), 406,4 mm no eixo *Y* (16 pol.) e 406,4 mm no eixo *Z* (16 pol.). Eixo árvore acionado por um motor de 15 CV e pode girar entre 80 e 7.500 rpm. A velocidade de avanço rápido é de 10 m/min. A **figura 2.1** apresenta uma vista geral da Fadal.

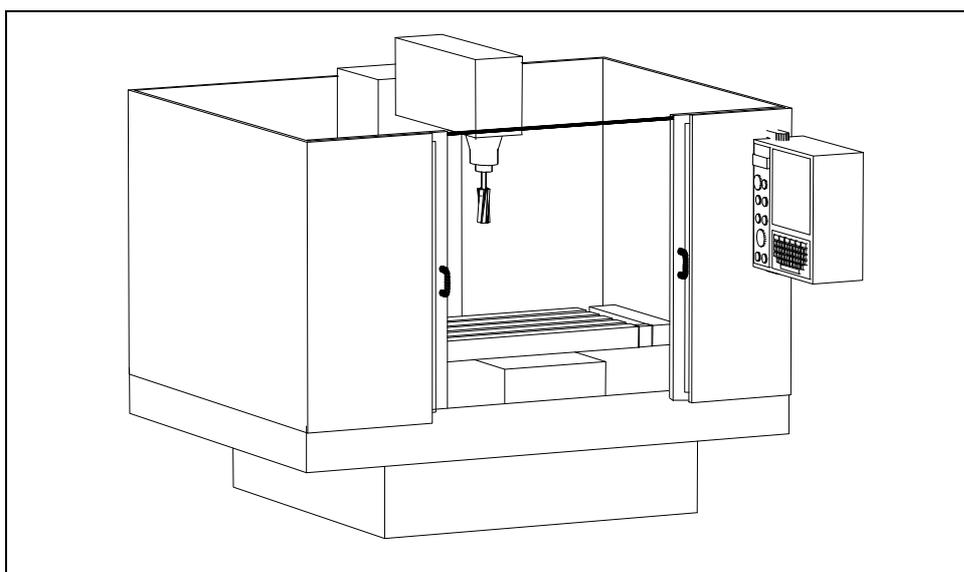


Figura 2.1 – Vista geral da Fadal VMC-15.

A *figura 2.2* mostra o painel de programação e operação. Este painel é dividido em três áreas distintas, que são: monitor de vídeo, teclado de programação, controles de operação.

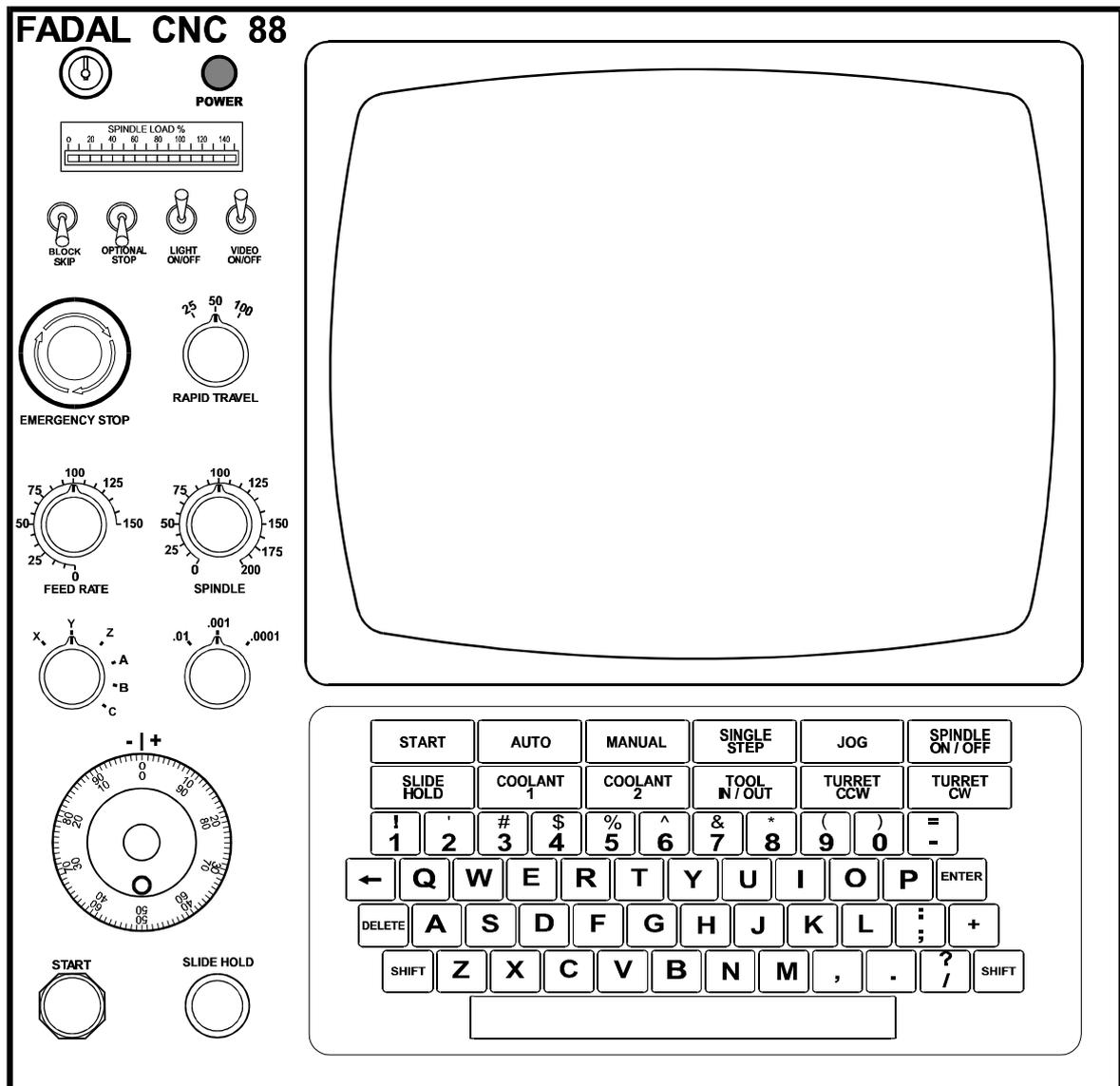


Figura 2.2 – Painel de programação e operação da Fadal.

A maioria dos botões possuem finalidades bem conhecidas e comuns, como a *parada de emergência*, mas alguns podem ser mais específicos e são detalhados a seguir.

Spindle load %: Mostra a utilização da potência do eixo árvore.

Block skip: salta bloco (linha de programa), que iniciem com uma barra (/).

Feed rate: controle da velocidade de avanço (F).

Rapid travel: define o limite da velocidade de posicionamento (G0).

Slide hold: congela os movimentos dos eixos.

Jog: movimentação manual dos eixos.

2.3 - Etapas da usinagem com tecnologia CNC

A tecnologia de comando numérico computadorizado, CNC, trouxe vantagens como velocidade, precisão, repetibilidade e flexibilidade. Mas, ao contrário do que se pode pensar, estas vantagens só tem efeito após a peça piloto ter sido usinada. Isto ocorre devido ao tempo necessário para se obter uma única peça através do CNC, que é bastante longo, chegando a ser superior à usinagem convencional. Normalmente, em CNC, os seguintes passos são seguidos:

2.3.1. Recebimento do desenho

Da mesma forma como no processo convencional, a primeira etapa da usinagem inicia-se através do recebimento do desenho da peça, que deve ser analisado, interpretado e compreendido. É muito importante observar as notas, que algumas vezes trazem detalhes como chanfros ou raios de concordância que não estão graficamente representados.

2.3.2. Desenho em CAD

O ideal para trabalhar em CNC é receber o desenho em CAD. Caso isto não ocorra e dependendo da complexidade da peça, deve-se desenhá-lo pois muitas das coordenadas necessárias à programação estão implícitas nos desenhos cotados de forma padrão, e em muitos casos seu cálculo é complexo e sujeito a erros. Já, a obtenção de dados do desenho em CAD ocorre de forma rápida e precisa.

É de grande importância definir neste momento o ponto de referência que será utilizado para a programação, ou seja, deve-se escolher o ponto *zero-peça*. Caso o desenho tenha sido recebido em CAD deve-se movê-lo de modo que o ponto escolhido seja posicionado nas coordenadas $X=0$ e $Y=0$.

2.3.3. Planejamento do processo

Também, da mesma forma como ocorreria na usinagem convencional, deve-se realizar a etapa do planejamento do processo de usinagem. Esta é, com certeza, a etapa mais importante e mais complexa de todo o procedimento, pois envolve a definição da forma de fixação da peça na máquina, a definição da seqüência de usinagem, a escolha das ferramentas para cada etapa do processo e a determinação dos dados tecnológicos para cada ferramenta (velocidade de corte, velocidade de avanço, rotação da ferramenta, profundidade de corte, número de passadas, rotação da ferramenta, etc.).

Destaca-se nesta fase a definição da fixação da peça na máquina. Dependendo da peça em questão pode-se utilizar dispositivos padrão como uma morsa ou grampos de fixação, mas algumas vezes deve-se projetar e construir um dispositivo específico que atenda a características próprias de cada situação. Exemplo disto seria a necessidade de se soltar a peça no meio do programa para vira-la e fixa-la novamente para continuar a usinagem, mas garantindo as relações geométricas com a fixação inicial.

2.3.4. Levantamento das coordenadas

Conhecida a forma de fixação da peça e o processo de usinagem pode-se voltar ao CAD e realizar o levantamento das coordenadas que serão relevantes na programação. Deve-se prever pontos de entrada e saída da ferramenta e observar possíveis colisões com detalhes da peça e também com o próprio dispositivo de fixação.

2.3.5. Programação

Tendo em mãos as coordenadas obtidas do desenho da peça e conhecendo a seqüência de operações pode-se escrever o programa. É importante que o programa seja bem comentado, facilitando as possíveis alterações e correções que possam ser necessárias. O uso de subrotinas deve ser explorado, tornando-o menor e de mais fácil manutenção.

Deve-se explorar todos os recursos que a máquina oferece para tornar o programa menor e mais eficiente, tais como ciclos de desbastes internos, ciclos de furação, rotação de coordenadas e deslocamento de referência entre outros. No caso de se utilizar um software para a programação, deve-se fazer a transmissão do programa para a máquina.

2.3.6. Simulação gráfica

Na realidade esta etapa ocorre juntamente com a programação, mas devido a sua importância será destacada como uma fase específica. A simulação gráfica é uma ferramenta que deve ser explorada ao máximo pois permite detectar erros de programação que podem por em risco a peça, as ferramentas, o dispositivo de sujeição e até mesmo a máquina.

Deve-se utilizar principalmente o recurso de *zoom* para verificar pequenos detalhes e também a simulação em ângulos diferentes (topo, frontal, lateral, etc.). Mesmo quando se utiliza um software de simulação gráfica, deve-se realizar a simulação fornecida pela máquina, para garantir que o programa está funcional.

Uma observação importante é que algumas funções do programa só podem ser simuladas corretamente após realização do setup de ferramentas (que será discutido mais adiante) pois dependem dos valores do diâmetro para serem calculadas. Mesmo assim, é um bom momento para verificar a existência de erros grosseiros (sinal invertido, coordenadas trocadas, falta de uma linha, etc.).

2.3.7. Montagens

É a primeira etapa de setup da máquina. Deve-se montar o dispositivo de fixação e as ferramentas. A montagem do dispositivo de fixação da peça é cercada de cuidados, pois deve-se limpar cuidadosamente a mesa de trabalho da máquina e a superfície de apoio do dispositivo. Além disto sua fixação deve observar, quando necessário, o paralelismo com os eixos de trabalho, através da utilização de um relógio apalpador (normalmente fixado no fuso da máquina).

Na montagem das ferramentas deve observar uma cuidadosa limpeza dos suportes além de garantir um bom aperto, evitando que ela se solte durante a usinagem. Durante a fixação das ferramentas nos suportes deve-se buscar mante-las o mais curtas possível, de modo a evitar flambagens e vibrações, mas não se pode esquecer de verificar a possibilidade de impacto do suporte da ferramenta com obstáculos oferecidos pela peça ou pela fixação. Por fim, quando da instalação das ferramentas na máquina, deve-se ajustar os bicos de fluido refrigerante de modo que todas as ferramentas sejam refrigeradas.

2.3.8. Setup de fixação e ferramentas

Após a instalação do dispositivo de fixação e do ferramental deve-se informar ao CNC as características que os definem. No caso do dispositivo de fixação deve-se informar as coordenadas X e Y que foram utilizadas como referência na programação, ou seja, deve-se definir o *zero-peça*. Para cada ferramenta deve-se informar o seu diâmetro e o seu comprimento (referência do eixo Z). Após esta etapa pode-se realizar com segurança a simulação gráfica oferecida pelo CNC da máquina.

2.3.9. Execução passo-a-passo

Após realizado todo o setup da máquina e a depuração do programa através da simulação gráfica pode-se finalmente executar a primeira peça, denominada normalmente de *peça piloto*, que sempre que possível não deve fazer parte do lote, já que existe grande possibilidade de

ocorrerem falhas não previstas. Sua execução é realizada no modo passo-a-passo, ou seja, cada linha do programa só será executada após liberação realizada pelo operador.

Além disso a velocidade de movimentação pode ser controlada permitindo realizar aproximações lentas e seguras. Pode-se ligar e desligar o fluido refrigerante a qualquer instante de modo a permitir melhor visualização dos movimentos. Esta etapa permite verificar detalhes não previstos na etapa de programação e não visualizados na simulação.

Quando se encontra alguma linha com algum erro ou necessidade de alteração pode-se parar a usinagem, afastar a ferramenta da peça, alterar o programa e reiniciar a partir desta linha, continuando a analisar o programa.

2.3.10. Execução do lote

Após a execução passo-a-passo ter sido concluída com sucesso e todas as correções necessárias terem sido realizadas pode-se passar a execução das peças do lote. É a etapa final onde as vantagens da tecnologia CNC vão surgir.

Resumindo, tem-se as seguintes etapas:

1. Recebimento do desenho.
2. Desenho em CAD.
3. Planejamento do processo.
4. Levantamento das coordenadas.
5. Programação.
6. Simulação gráfica.
7. Instalação das ferramentas.
8. Setup de ferramentas.
9. Execução passo-a-passo.
10. Execução do lote.

2.4 – Sistema de coordenadas

Um sistema de coordenadas garante a localização de um ponto. Em fresadoras utiliza-se um sistema de três coordenadas, padronizadas de **X**, **Y** e **Z** e que definem um ponto no espaço.

Por convenção o **Z** sempre é o eixo que gira. No caso de uma fresadora vertical o eixo vertical será o **Z** e terá valores positivos para cima. Dos eixos que restam o maior é denominado de **X** e terá valores positivos para a direita (eixo horizontal longitudinal,). Assim fica o ultimo eixo será o **Y** com valores positivos indo em direção à máquina (horizontal transversal). A *figura 2.3* ilustra estes eixos.

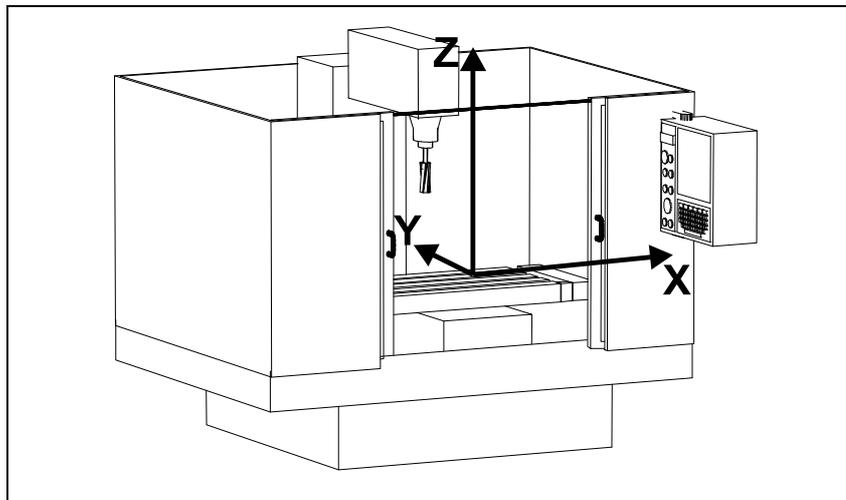


Figura 2.3 – Eixos cartesianos em uma fresadora CNC.

O ponto onde os eixos se cruzam é denominado de origem. A *figura 2.4* apresenta um sistema de coordenadas cartesianas composto pelos eixos X e Y. Estão marcados nele os seguintes pontos: A=(2.0 e 4.0), B=(3.5 e 6.0), C=(7.0 e 4.5), D=(1.0 e 7.5) e E=(7.5 e 1.0).

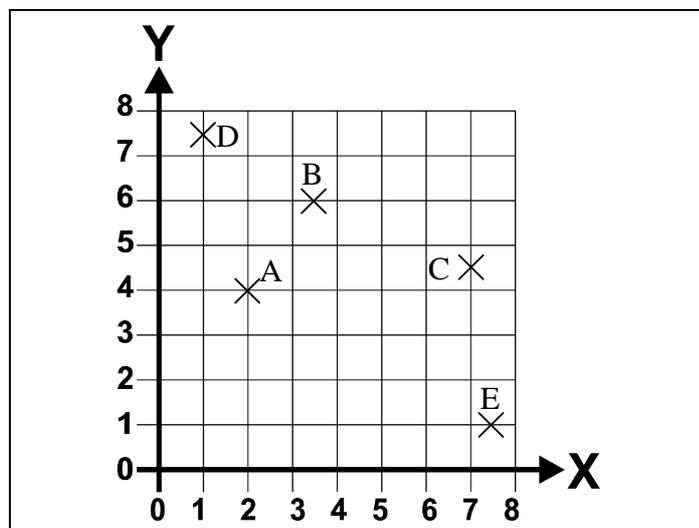


Figura 2.4 – Sistema de coordenadas cartesianas do plano XY.

Para a programação CNC é fundamental conseguir analisar um desenho e obter dele suas coordenadas. Nos desenhos à seguir pode-se observar as coordenadas de uma figura bastante simples em duas situações diferentes. Nestes dois casos o sistema de coordenadas estará desenhado para auxiliar nesta tarefa. Observando o desenho da *figura 2.5*, deve-se analisar os dados da *tabela 2.1* com as coordenadas de cada vértice, indicados pelas letras A até H.

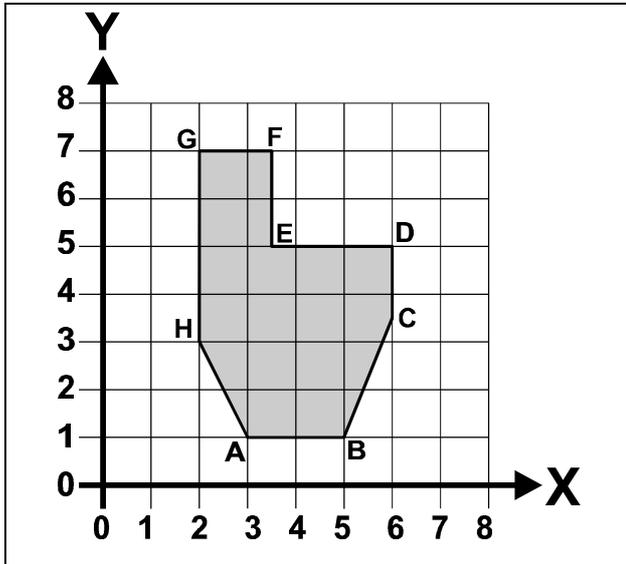


Figura 2.5

Ponto	Coordenada	
	X	Y
A	3	1
B	5	1
C	6	3.5
D	6	5
E	3.5	5
F	3.5	7
G	2	7
H	2	3

Tabela 2.1

Pode-se fazer o mesmo para o desenho da *figura 2.6*, analisando a *tabela 2.2*. Apesar de ser exatamente o mesmo perfil, as coordenadas obtidas são diferentes. Alterando a posição dos pontos em relação a origem tem-se como resultado coordenadas diferentes.

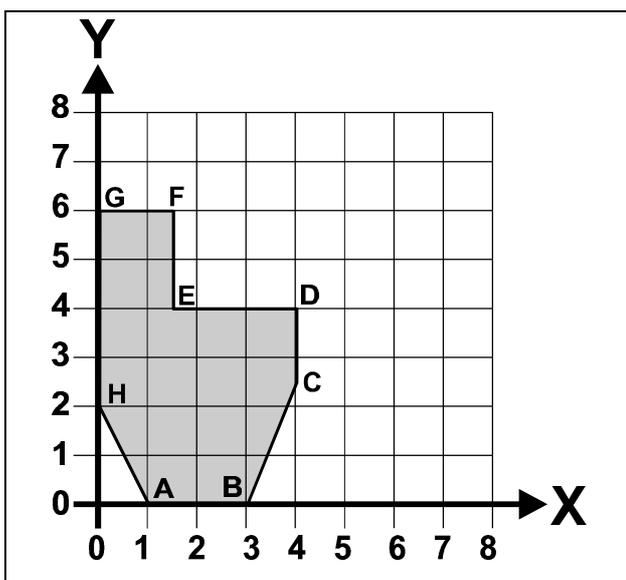


Figura 2.6

Ponto	Coordenada	
	X	Y
A	1	0
B	3	0
C	4	2.5
D	4	4
E	1.5	4
F	1.5	6
G	0	6
H	0	2

Tabela 2.2

Estes exemplos anteriores mostraram o uso de coordenadas absolutas (baseadas em uma referência fixa). Pode-se trabalhar com coordenadas incrementais, que sempre se relacionam com o ponto anterior (em outras palavras, a posição atual é sempre a origem). A *figura 2.7* apresenta um perfil onde considera-se o ponto A como sendo o ponto inicial. A *tabela 2.3* está preenchida com as coordenadas incrementais.

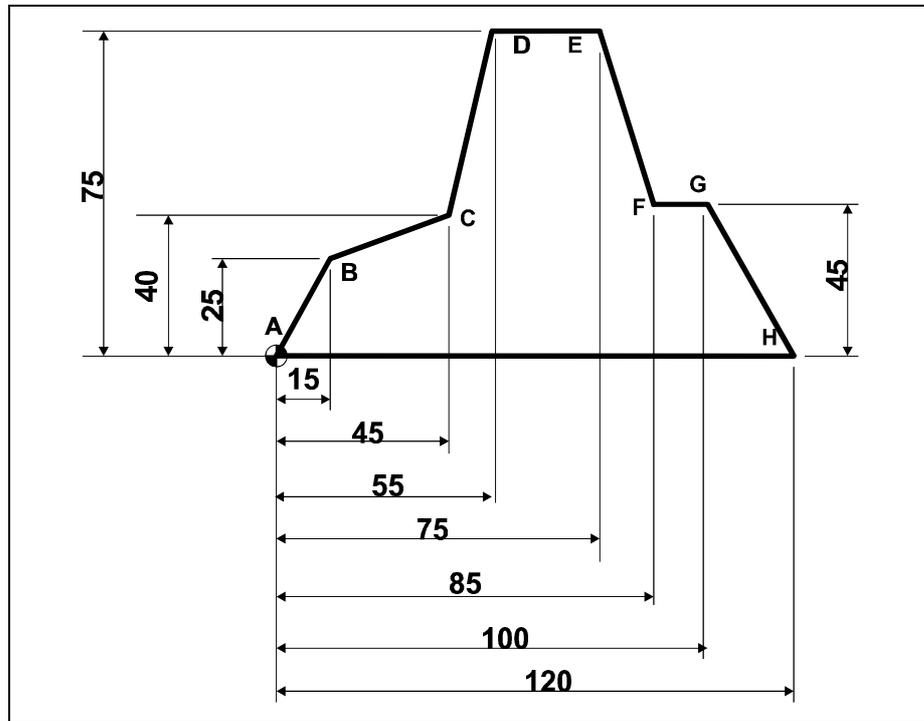


Figura 2.7 – Desenho de uma peça com as suas cotas.

Ponto	Coordenadas	
	X	Y
B	15	25
C	30	15
D	10	35
E	20	0
F	10	-30
G	15	0
H	20	-45
A	-120	0

Tabela 2.3

Durante o desenvolvimento de um programa CNC pode-se utilizar tanto coordenadas absolutas como coordenadas incrementais, e alternar entre dois sistemas a qualquer momento.

Exercício 1 – No desenho da *figura 2.8* escolha um ponto para o zero-peça, ou seja, para a origem do sistema de coordenadas. Em seguida defina um sentido de usinagem e identifique os pontos meta. Para finalizar preencha a tabela de coordenadas utilizando o sistema absoluto.

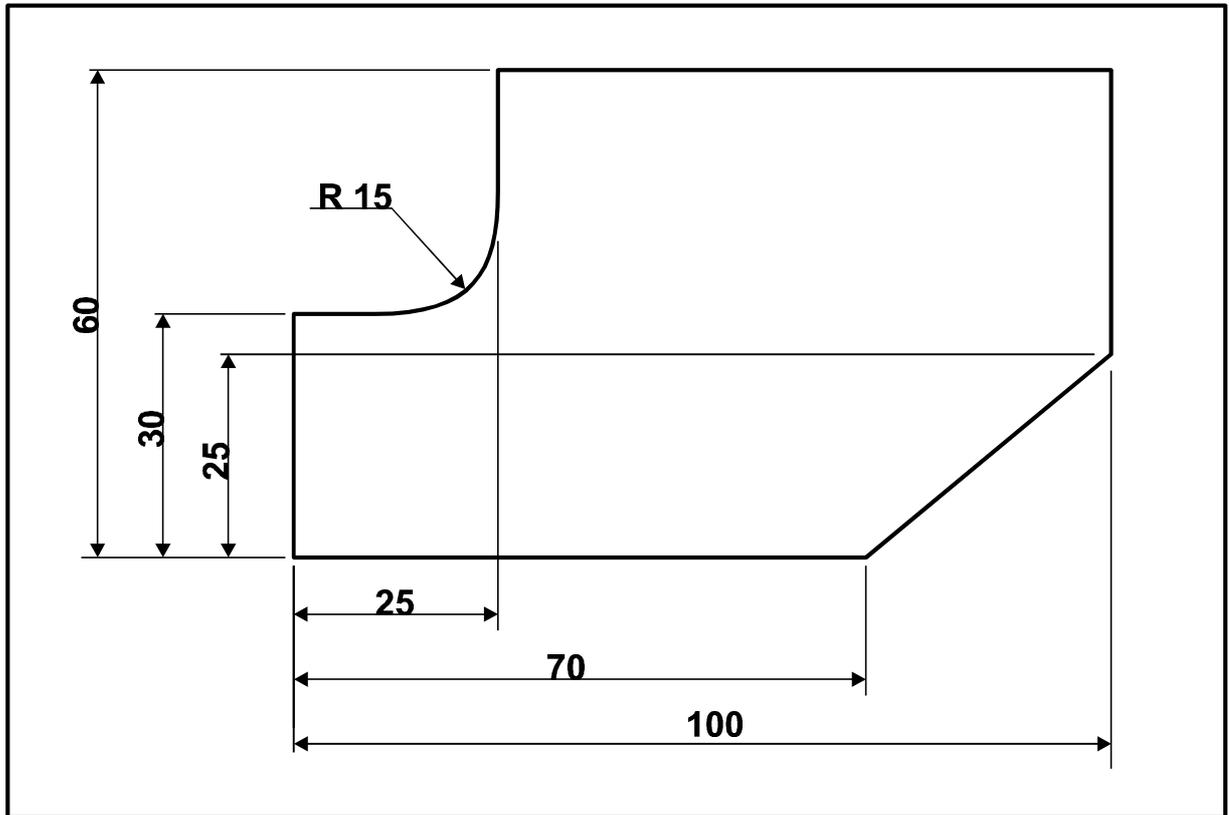


Figura 2.8 – Desenho para o exercício 1.

<u>Ponto</u>	X	Y	R	I	J	Comentário
A						
B						
C						
D						
E						
F						
G						
H						
A						

Exercício 2 – Faça a cotagem do desenho da *figura 2.9* de forma a obter as coordenadas no sistema incremental, considerando o ponto marcado como o início. Depois preencha a tabela.

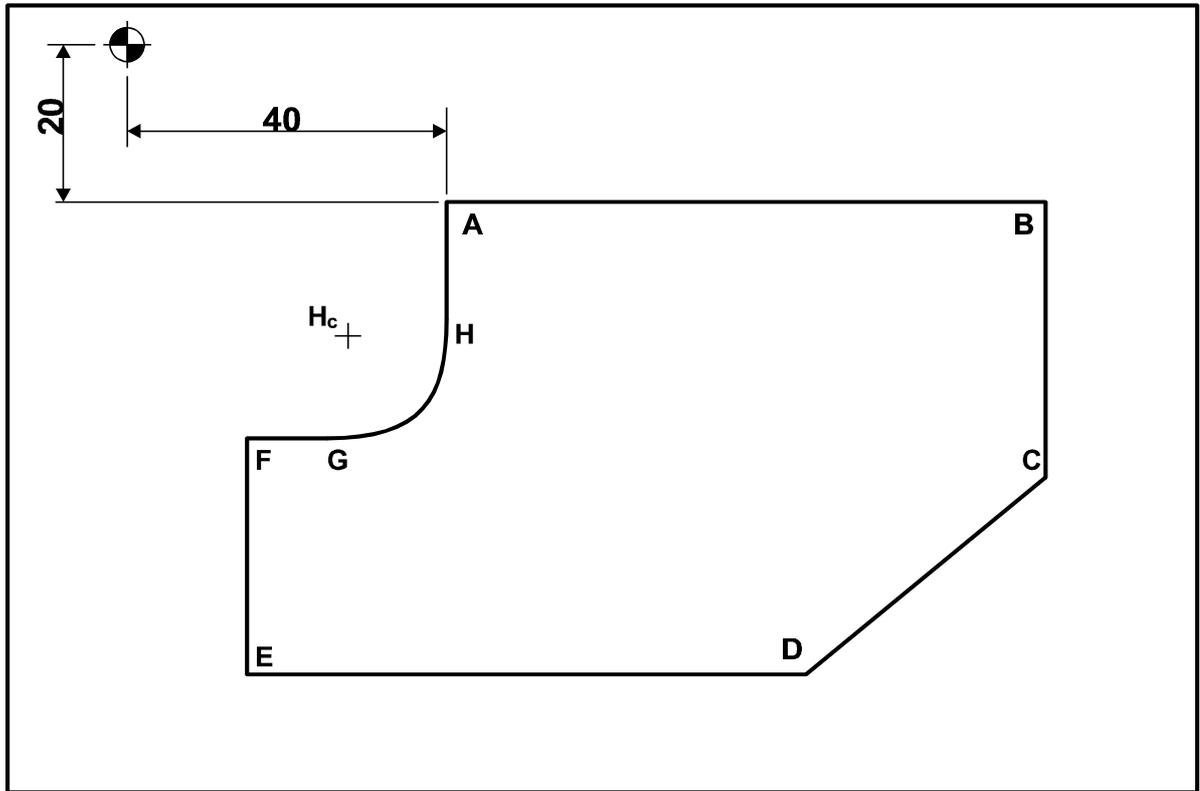


Figura 2.9 – Desenho para o exercício 2.

Ponto	X	Y	R	I	J	Comentário
A						
B						
C						
D						
E						
F						
G						
H						
A						
Início						

Exercício 3 – No desenho da *figura 2.10* identificar os pontos meta no sentido anti-horário, a partir do ponto A já definido e preencher a tabela de coordenadas utilizando o sistema absoluto.

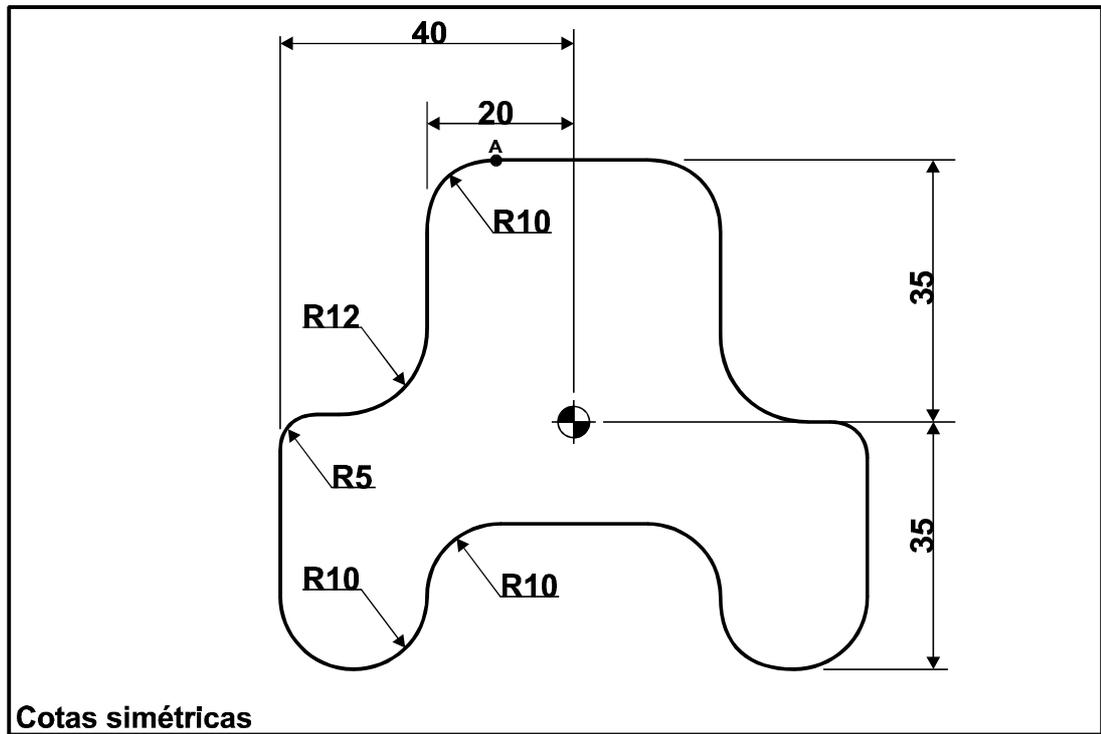


Figura 2.10 – Desenho para o exercício 3.

Ponto	X	Y	R	I	J	Comentário
A						
B						
C						
D						
E						
F						
G						
H						
I						
J						
K						
L						
M						
N						
O						
P						
Q						
R						

Exercício 4 – Cotar e preencher a tabela usando coordenadas incrementais na *figura 2.11*.

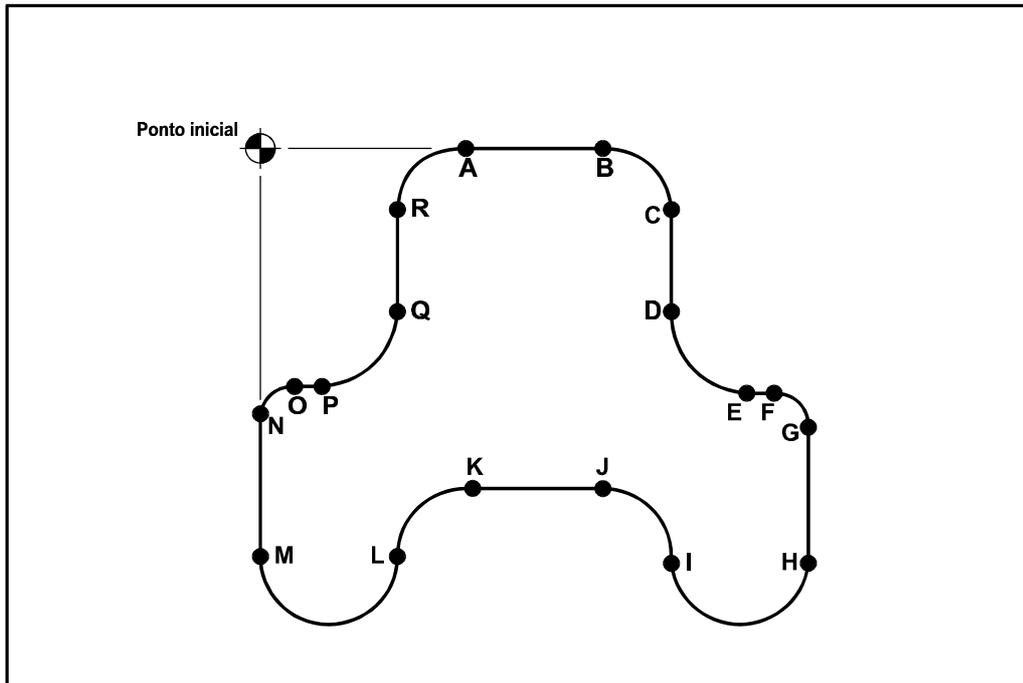


Figura 2.11 – Desenho para o exercício 4.

Ponto	X	Y	R	I	J	Comentário
A						
B						
C						
D						
E						
F						
G						
H						
I						
J						
K						
L						
M						
N						
O						
P						
Q						
R						
A						

Exercício 5 – A peça da *figura 2.12* já está cotada. Preencha a tabela com as coordenadas necessárias. Utilize o sistema absoluto ou incremental conforme for mais indicado.

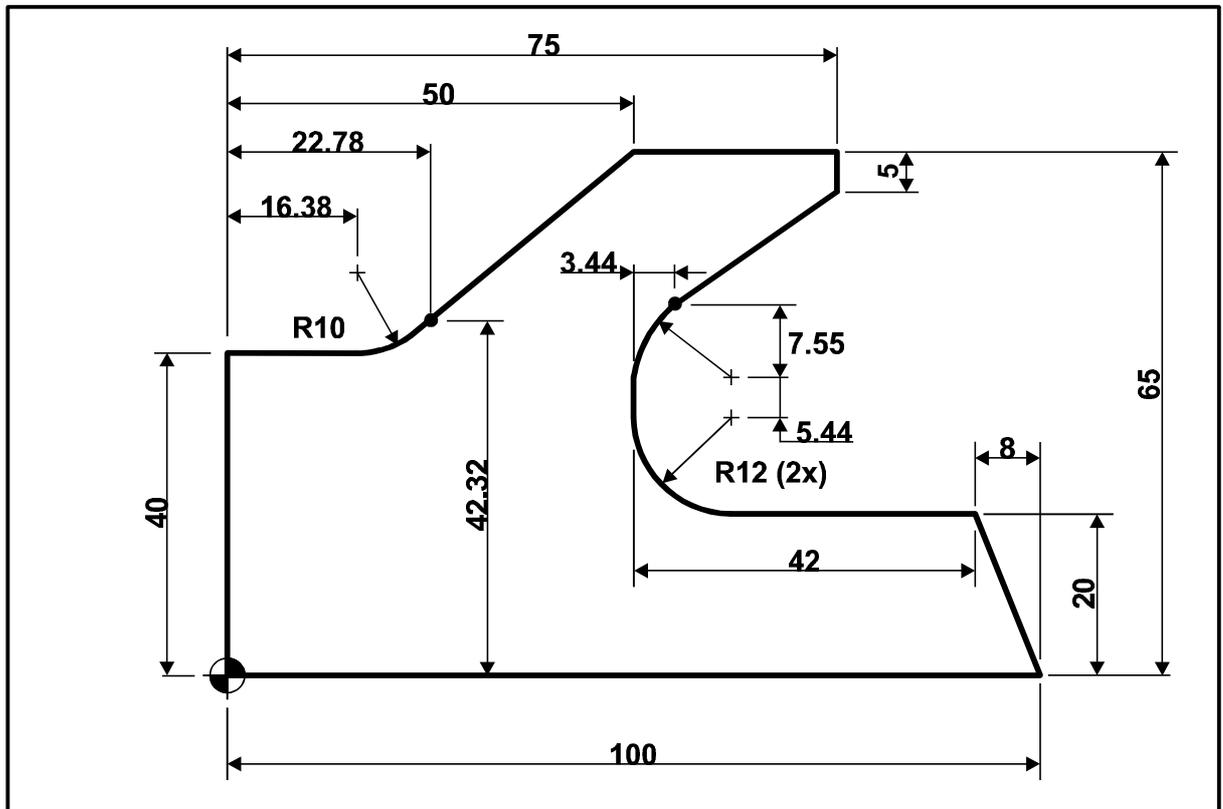


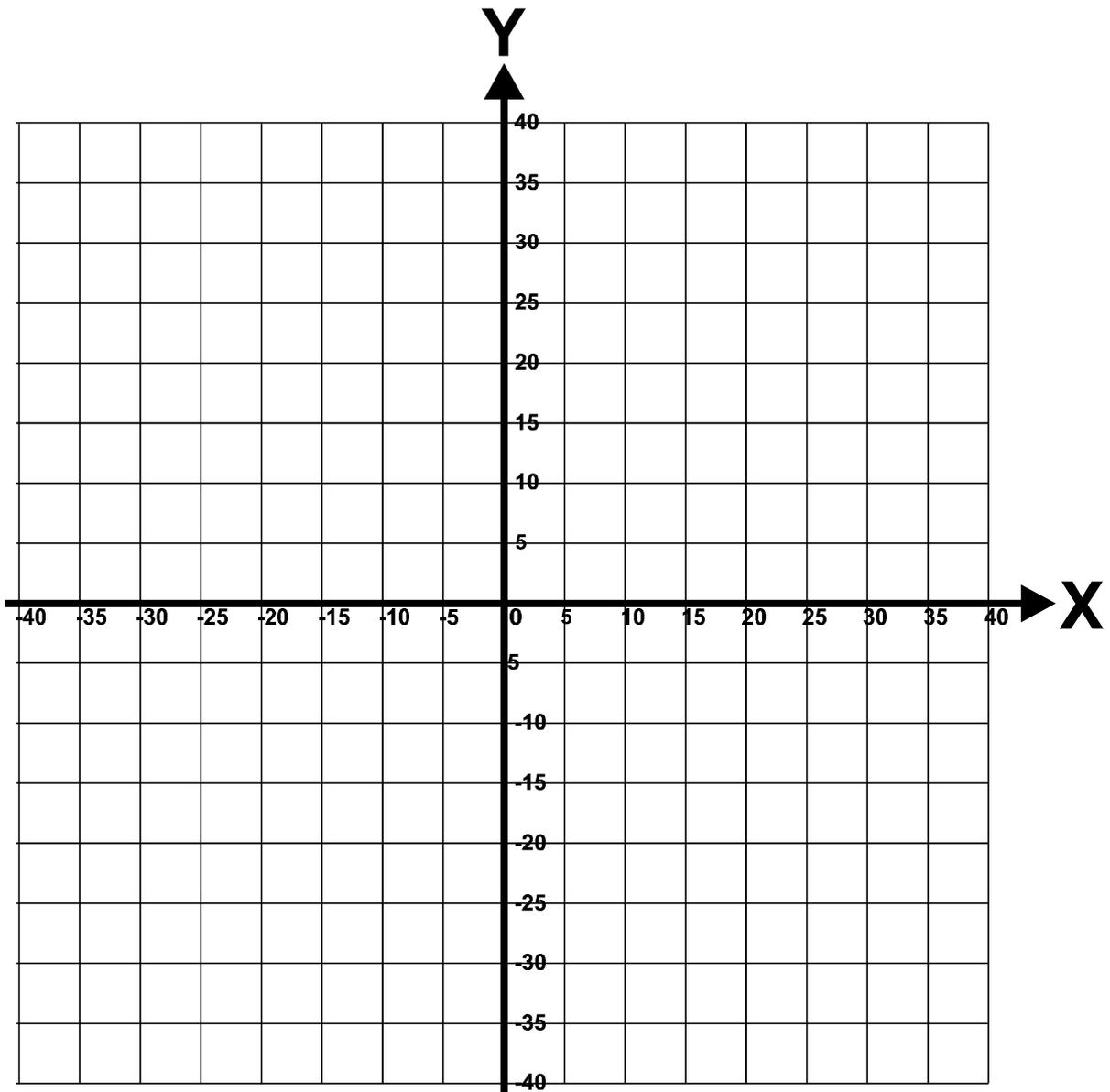
Figura 2.12 – Desenho para o exercício 5.

Ponto	Sistema	X	Y	R	I	J	Comentário
A							
B							
C							
D							
E							
F							
G							
H							
I							
J							
K							
L							
M							

Exercício 6 – Marque as coordenadas da tabela abaixo no gráfico XY e desenhe o perfil da peça correspondente. As coordenadas estão no sistema absoluto.

Ponto	X	Y	R	I	J
A	0	35			
B	15	20			
C	30	20			
D	35	15	5 (h)	0	-5
E	35	-25			
F	15	-25	10 (h)	-10	0
G	15	-10			
H	10	-5	5 (ah)	-5	0
I	0	-5			
J	-10	-15	10 (ah)	0	-10
K	-10	-25			

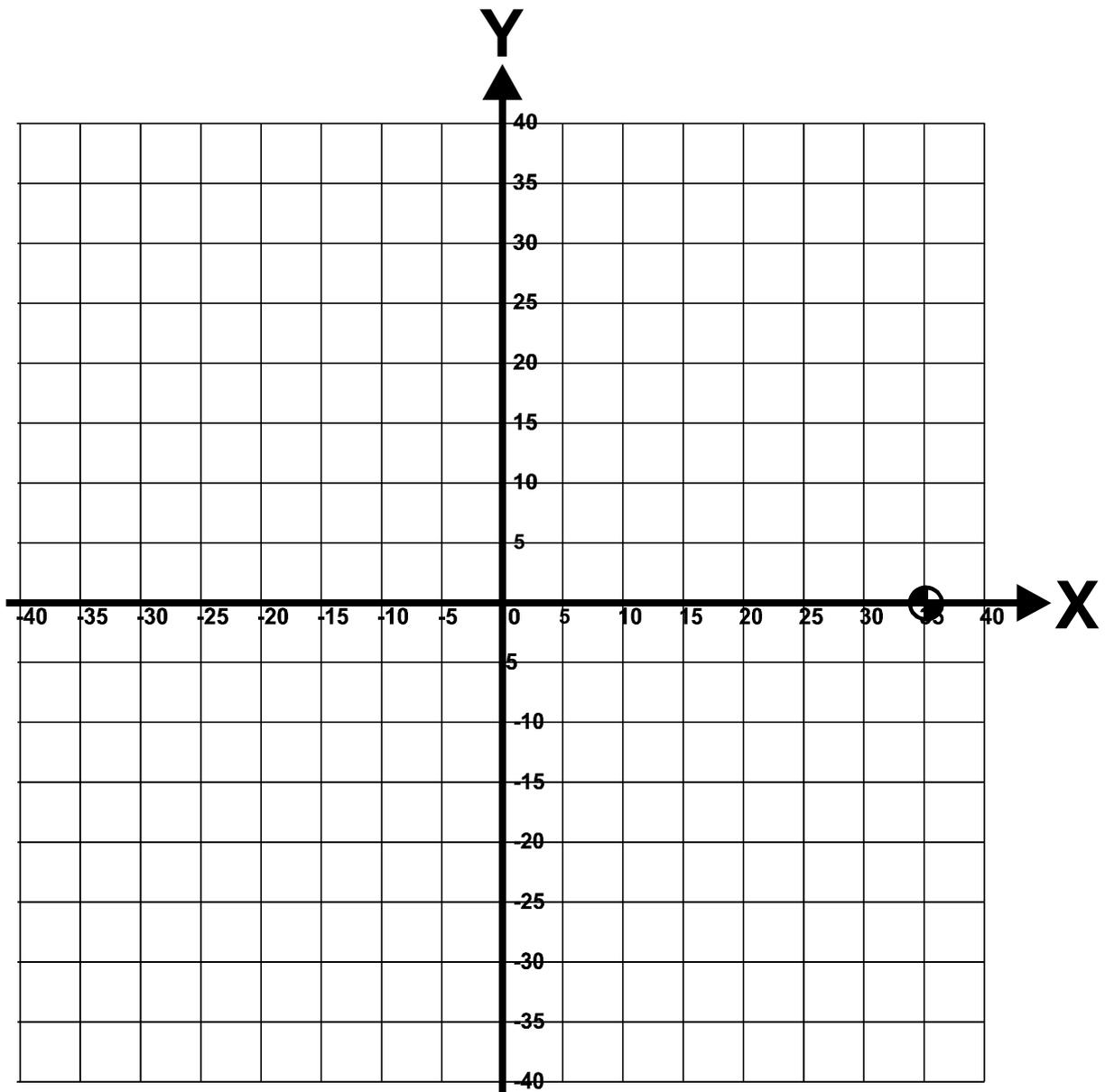
Ponto	X	Y	R	I	J
L	-15	-30	5 (h)	-5	0
M	-25	-30			
N	-35	-15			
O	-35	-5			
P	-25	0			
Q	-25	10			
R	-35	15			
S	-35	20			
T	-30	25	5 (h)	5	0
U	-20	25			
A	0	35			



Exercício 7 – Marque as coordenadas da tabela abaixo no gráfico XY e desene o perfil da peça correspondente. As coordenadas estão no sistema incremental. O ponto inicial está indicado.

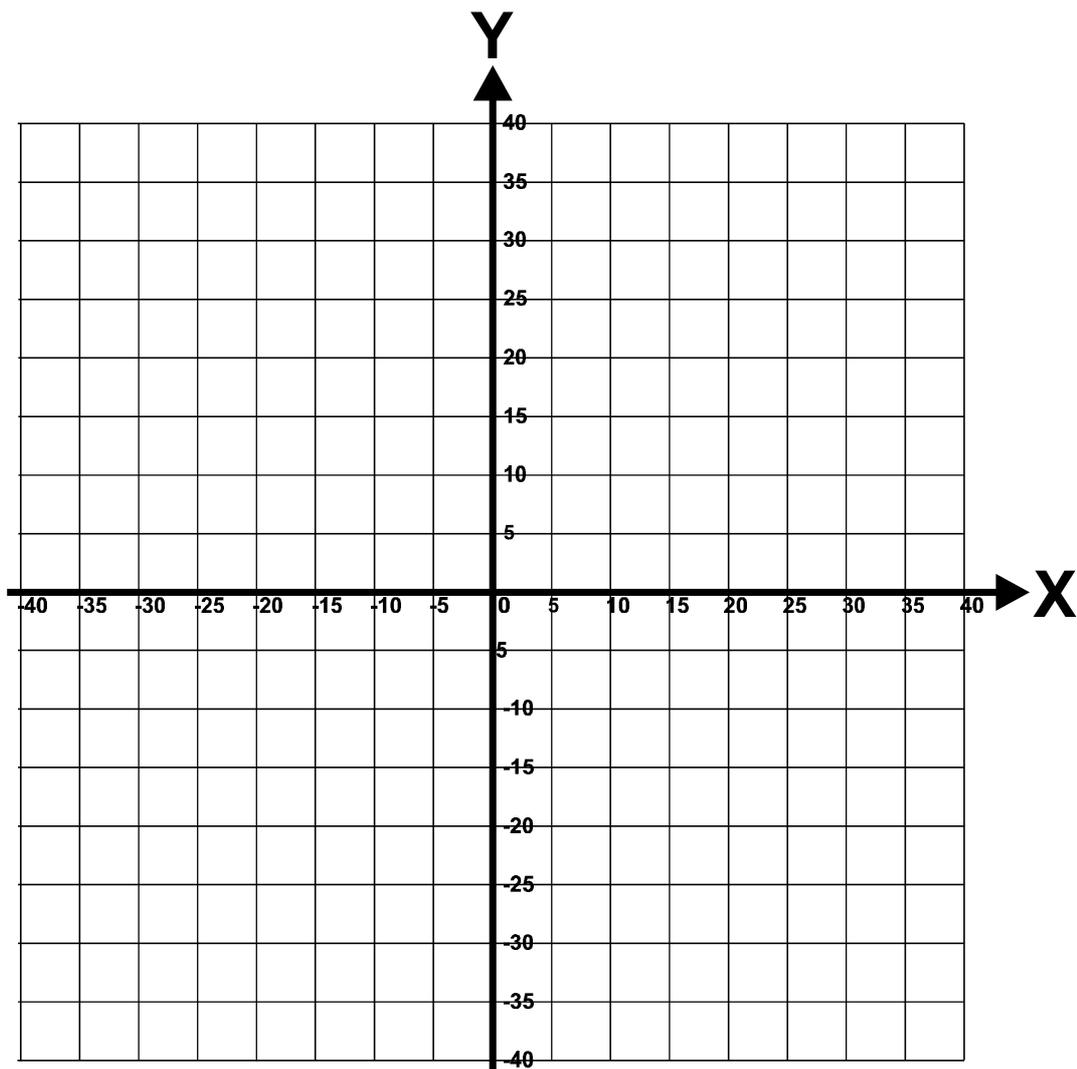
Ponto	X	Y	R	I	J
A	-15	15	15 (h)	0	15
B	0	10			
C	-10	10			
D	-15	0			
E	-15	0	7.5 (h)	-7.5	0
F	-5	0			
G	-10	-10			
H	0	-30			
I	5	-5	5 (ah)	5	0

Ponto	X	Y	R	I	J
J	5	0			
K	5	-5	5 (h)	0	-5
L	5	-5	5 (ah)	5	0
M	10	0			
N	15	-15	15 (h)	0	-15
O	10	0			
P	15	10			
Início	0	25			



Exercício 8 – Marque as coordenadas da tabela abaixo no gráfico XY e desenhe o perfil da peça correspondente. As coordenadas estão nos sistemas absoluto e incremental.

Ponto	Sistema	X	Y	R	I	J
A	A	-35	-25			
B	A	35	-25			
C	I	-10	20			
D	I	-15	0			
E	I	-10	10	10 (h)	0	10
F	I	0	5			
G	I	5,0679	8,6991	10 (h)	10	0
H	A	25	30			
I	I	0	5			
J	I	-20	0			
K	A	-14,3498	21,7492			
L	A	-20	20	10 (h)	-5,6502	8,2508
M	A	-35	20			
A	A	-35	-25			



2.5 - Programação CNC básica

A linguagem de programação CNC mais difundida no Brasil é a linguagem ISO, também muito conhecida por *código G*. Um programa CNC escrito nesta linguagem é composto por linhas, normalmente denominadas de *blocos*. Cada bloco é formado por comandos, também chamados de *palavras*, que controlam as funções da máquina. Essas palavras podem indicar movimentos dos elementos da máquina, coordenadas da geometria da peça e também funções da máquina.

2.5.1 – Informações de geometria

- X** – Movimento horizontal longitudinal. Limite de 508 mm (20 polegadas).
- Y** – Movimento horizontal transversal. Limite de 406.4 mm (16 polegadas).
- Z** – Movimento vertical. Limite de 406.4 mm (16 polegadas).
- R0** – Raio de circunferência (pode ser positivo ou negativo, e o sinal é obrigatório).
- I** – Centro de circunferência no eixo X.
- J** – Centro de circunferência no eixo Y.
- K** – Centro de circunferência no eixo Z.

2.5.2 - Funções auxiliares

- N** – Numeração das linhas do programa.
- O** - Número do programa (até quatro dígitos).
- S** - Rotação do fuso (de 150 até 7500 rpm).
- E** - Ponto zero-peça (de 1 até 48).
- H** - Comprimento da ferramenta (de 1 até 99).
- D** – Diâmetro da ferramenta (de 1 até 99).
- F** – Velocidade de avanço em mm/min.
- Q** – Passo em ciclos fixos.
- (- Comentários

2.5.3 - Códigos M básicos

- M0** - Parada do programa. Aguarda pressionar-se a botoeira START para continuar.
- M1** - Parada condicional do programa. Opera como M0, mas depende de uma chave no painel.
- M2** - Fim de programa.
- M3** - Aciona fuso no sentido horário.

M4 - Aciona fuso no sentido anti-horário.

M5 - Desliga o fuso.

M6 T__ - Troca a ferramenta atual pela ferramenta especificada (1 até 21).

M8 - Aciona refrigerante de usinagem.

M9 - Desliga refrigerante de usinagem.

2.5.4 - Códigos G básicos

Avanço rápido (G0)

Utilizado para posicionar a ferramenta com os eixos se movimentando na maior velocidade fornecida pela máquina. Quando utiliza-se este comando com as três coordenadas primeiro move-se o eixo Z, e em seguida movem-se os eixos X e Y simultaneamente, em 45° até que um dos eixos atinja seu objetivo. O eixo restante segue seu caminho sozinho.

G0 X__ Y__ Z__

Avanço linear (G1)

É o comando utilizado para movimentar a ferramenta com velocidade de avanço controlada pelo parâmetro **F**. Todos os eixos se movem simultaneamente.

G1 X__ Y__ Z__ F__

Interpolação circular horária com definição do raio (G2)

Movimenta a ferramenta em um arco de circunferência de raio programado pelo parâmetro **R0**, no sentido horário. A velocidade de avanço pode ser determinada por **F**. Não é possível executar uma circunferência completa com este comando. Gera-se um erro quando o raio programado não é suficiente para ligar o ponto inicial ao final.

G2 X__ Y__ R0±__ F__ (para o plano XY).

G2 X__ Z__ R0±__ F__ (para o plano XZ).

G2 Y__ Z__ R0±__ F__ (para o plano YZ).

Quando se trabalha com o raio, tem-se duas possibilidades de solução, sendo uma com arco menor que 180° (**R0+**) e outra com mais de 180° (**R0-**). A situação mais comum é a de menor percurso. Na *figura 2.13* à esquerda estão ilustrados os pontos inicial (I) e final (F) do arco a ser executado com raio R e também estão marcados os dois possíveis centros C1 e C2.

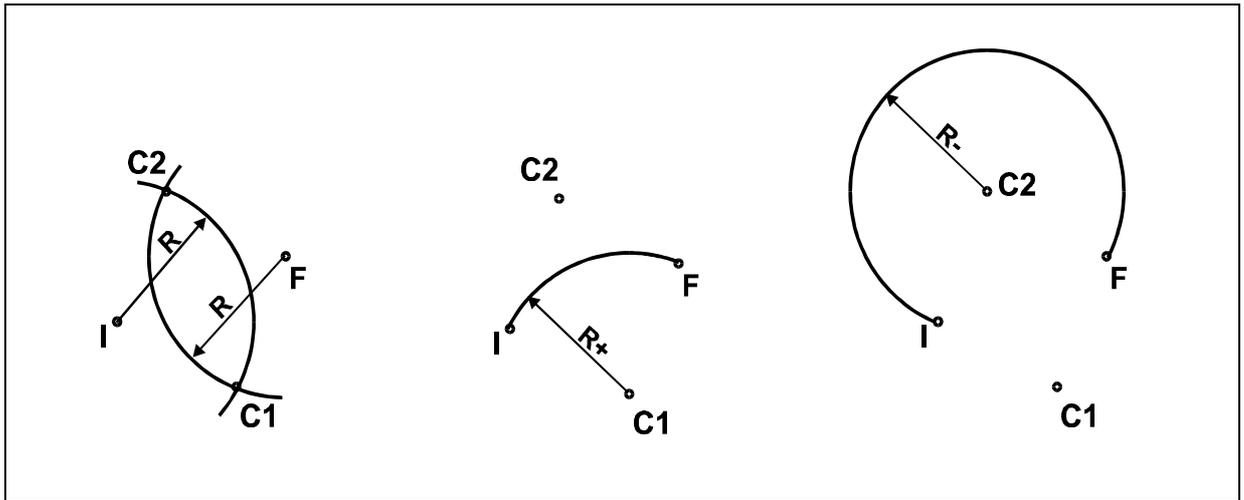


Figura 2.13 – Possibilidades de G2.

No desenho central da **figura 2.13** foi desenhado um arco de circunferência horário com centro em C1, partindo do ponto I e chegando no ponto F. Esse é um arco com menos de 180° de abertura e, portanto, de menor percurso.

Já, no desenho da direita foi desenhado um arco de circunferência horário com centro em C2 que também partiu do ponto I e chegou no ponto F. Como pode-se ver esse arco possui mais de 180° de abertura e sendo assim é o arco de maior percurso.

Interpolação circular horária com definição do centro (G2)

Nesta configuração tem-se o controle da posição do centro da circunferência, colocando-o nas coordenadas **I** (para o eixo X), **J** (para o eixo Y) e **K** (para o eixo Z). Também possui o parâmetro **F** para programação da velocidade de avanço. Com este comando pode-se programar uma circunferência completa. Este comando irá gerar erro caso as coordenadas iniciais, finais e do centro não satisfizerem corretamente as condições matemáticas.

G2 X__ Y__ I__ J__ F__ (para o plano XY).

G2 X__ Z__ I__ K__ F__ (para o plano XZ).

G2 Y__ Z__ J__ K__ F__ (para o plano YZ).

Interpolação circular anti-horária (G3)

É um comando similar ao G2, sendo que a diferença é o sentido em que o giro ocorre. No caso de G3 o sentido é anti-horário. Possui a estrutura que utiliza o raio e também a definição de centro. Maiores detalhes podem ser observados no comando G2.

Pausa do programa (G4)

Em algumas situações é necessário paralisar a execução do programa por um determinado tempo. Através deste comando pode-se programar o parâmetro **P** que definirá, em milésimos de segundo, este tempo de parada.

G4 P__

Plano de trabalho (G17, G18 e G19)

Para o correto cálculo das interpolações circulares é importante que o comando da máquina conheça o plano no qual a usinagem está sendo efetuada. É um comando sem parâmetros. Como são três os possíveis planos de trabalho tem-se três comandos distintos

G17 - Plano de trabalho XY

G18 - Plano de trabalho ZX

G19 - Plano de Trabalho YZ

Unidade de programação (G20 e G21)

Pode-se programar as coordenadas utilizando valores em polegadas ou em milímetros. Os dois códigos são modais e não possuem parâmetros.

G20 – Unidade em polegadas

G21 – Unidade em milímetros

Sistemas de coordenadas (G90 e G91)

A programação CNC envolve coordenadas geométricas. No desenho estas coordenadas podem ser baseadas em um único ponto ou estarem encadeadas umas com as outras. Em outros casos um mesmo desenho pode utilizar as duas técnicas. Sendo assim pode-se optar por utilizar coordenadas absolutas ou incrementais.

G90 - Sistema de coordenadas absolutas

G91 - Sistema de coordenadas incrementais

2.5.5 – Conceitos importantes

Dois conceitos importantes utilizados em CNC são: *default* e *modal*. Um valor *default* é aquele valor que o comando ou parâmetro assume quando nenhum valor lhe é atribuído na programação. Ou seja, se nenhum valor é determinado o comando utiliza o valor *default*.

Um comando ou parâmetro modal é aquele que, quando definido, fica ativo até que outro o substitua. Tem-se os seguintes comandos e parâmetros modais: G0, G1, G2, G3, F, X, Y, Z, I, J, K. Isto significa que, em uma seqüência de linhas, se um determinado valor não muda então não precisa ser digitado. A *tabela 2.4* apresenta no seu lado esquerdo um trecho de programa onde todos os valores são digitados e no lado direito apenas os valores que foram alterados. Em termos de funcionamento os resultados obtidos são idênticos. A vantagem do uso de modais está no fato de se digitar menos (programação mais rápida) e ocupar menos espaço na memória do CNC da máquina.

....
G0 X10. Y20.	G0 X10. Y20.
G0 X10. Y-15.	Y15.
G1 X-100. Y-15. F125	G1 X-100. F125
G1 X-100. Y-35. F125	Y-35.
G1 X-150. Y-35. F125	X-150.
G1 X-150. Y-45. F200	Y45. F200
G1 X-100. Y40. F200	X100. Y40.
....

Tabela 2.4 – Exemplo do uso de modais.

2.5.6 - Estrutura geral de um programa

Para o desenvolvimento de um programa CNC deve-se seguir as regras sintáticas de cada comando e os movimentos determinados pelo processo de fabricação elaborado. Algumas partes do programa são padronizadas, e são apresentadas abaixo. Um detalhe a ser ressaltado é a chamada *linha de segurança*, cuja finalidade é colocar alguns parâmetros e comandos *modais* em valores conhecidos, evitando que valores definidos por programas executados anteriormente mantenham-se ativos.

2.5.6.1 - Início de programa

A primeira linha deve, obrigatoriamente, conter o número do programa, definido pelo comando **O**. Na mesma linha pode-se, após um *parêntesis*, digitar um nome para o programa. Nas linhas seguintes é interessante colocar um conjunto de comentários que descrevam o programa, tornando sua identificação futura mais simples e rápida. Após este conjunto inicia-se o

programa propriamente dito através da *linha de segurança* (linha N9 abaixo). Os comandos da linha de segurança ainda não detalhados serão analisados futuramente. Em seguida tem-se a chamada da primeira ferramenta e um comentário sobre suas características (linha N10). Os comandos seguintes são o acionamento do fuso e a realização do primeiro movimento XY (linha N11). Para finalizar este procedimento de inicialização deve-se buscar os dados de definição da ferramenta (comprimento e diâmetros), acionar o fluxo de fluido refrigerante e realizar a aproximação em Z (linha N12).

```

N1  O___ (_____
N2  (PROGRAMADOR: _____
N3  (CLIENTE: _____
N4  (DATA: ___ / ___ / ___
N5  (PECA: _____
N6  (OPERACOES: _____
N7  (MATERIAL: _____
N8  (
N9  G0 G17 G21 G40 G80 G90 M5 M9 H0 Z0
N10 M6 T___ (_____
N11 S___ M3 E___ X___ Y___
N12 H___ D___ M8 Z___
N13 .....

```

2.5.6.2 - Troca de ferramenta

Para se executar uma troca de ferramentas basta incluir as linhas abaixo, que estão na mesma seqüência do início do programa, ou seja: linha de segurança, chamada de ferramenta, ajuste de rotação, movimento em XY, definição da ferramenta, acionamento do refrigerante e movimento em Z.

```

N__  ...
N__  M5 M9
N__  G0 H0 Z0
N__  M6 T___ (_____
N__  S___ M3 E___ X___ Y___
N__  H___ D___ M8 Z___
N__  ...

```

2.5.6.3 - Fim de programa

Para se finalizar um programa pode-se seguir o modelo abaixo. O procedimento inicia-se desligando o fuso e o fluido refrigerante. Em seguida tem-se a linha de segurança. A linha seguinte tem a finalidade de mover a mesa para o centro em X e para o mais próximo possível da porta, de modo a facilitar a retirada da peça usinada e a colocação de uma nova peça. A mesa permanecerá nesta posição, permitindo a abertura da porta, devido ao comando M0 da linha seguinte, que executa uma interrupção do programa. Desta forma, após a troca da peça deve-se pressionar a botoeira START para o programa prosseguir. A última linha indica que chegou-se ao fim do programa. Este comando leva a mesa para a posição X=0 e Y=0 e prepara o CNC para executar novamente o programa, bastando para isto pressionar-se a botoeira START novamente.

```
N__ ...  
N__ M5 M9  
N__ (  
N__ G0 H0 Z0  
N__ E0 X0 Y200  
N__ M0  
N__ M2
```

2.5.6.4 - Recomendações

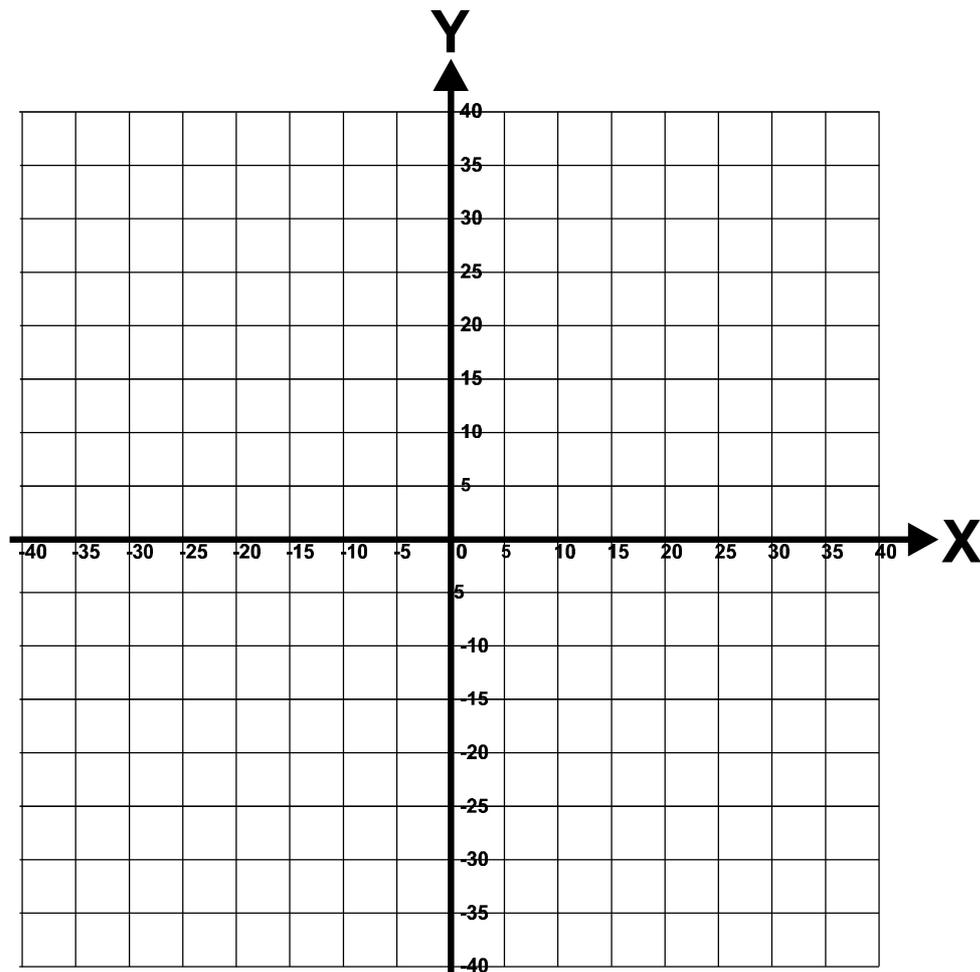
É de grande importância manter comentários no programa. Isto simplifica a procura de falhas, acelera o processo de modificações e permite que outras pessoas entendam mais facilmente seus programas. Como citado anteriormente os lugares ideais para se colocar comentários são:

- início do programa, com dados de identificação;
- na definição de cada subrotina, indicando sua função no programa;
- na chamada de cada ferramenta, especificando suas características;
- no início de cada parte de usinagem de uma mesma ferramenta.

Também é bastante interessante manter uma linha vazia, através do uso do sinal de comentário, entre cada definição de subrotina e entre cada troca de ferramenta. Esta linha vazia é mais facilmente reconhecível no monitor do CNC quando se movimenta o programa para cima e para baixo, buscando localizar um trecho específico.

Exercício 9 – Marque as coordenadas da tabela abaixo no gráfico XY, desenhe o perfil da peça correspondente e escreva o programa. As coordenadas estão nos sistemas absoluto e incremental.

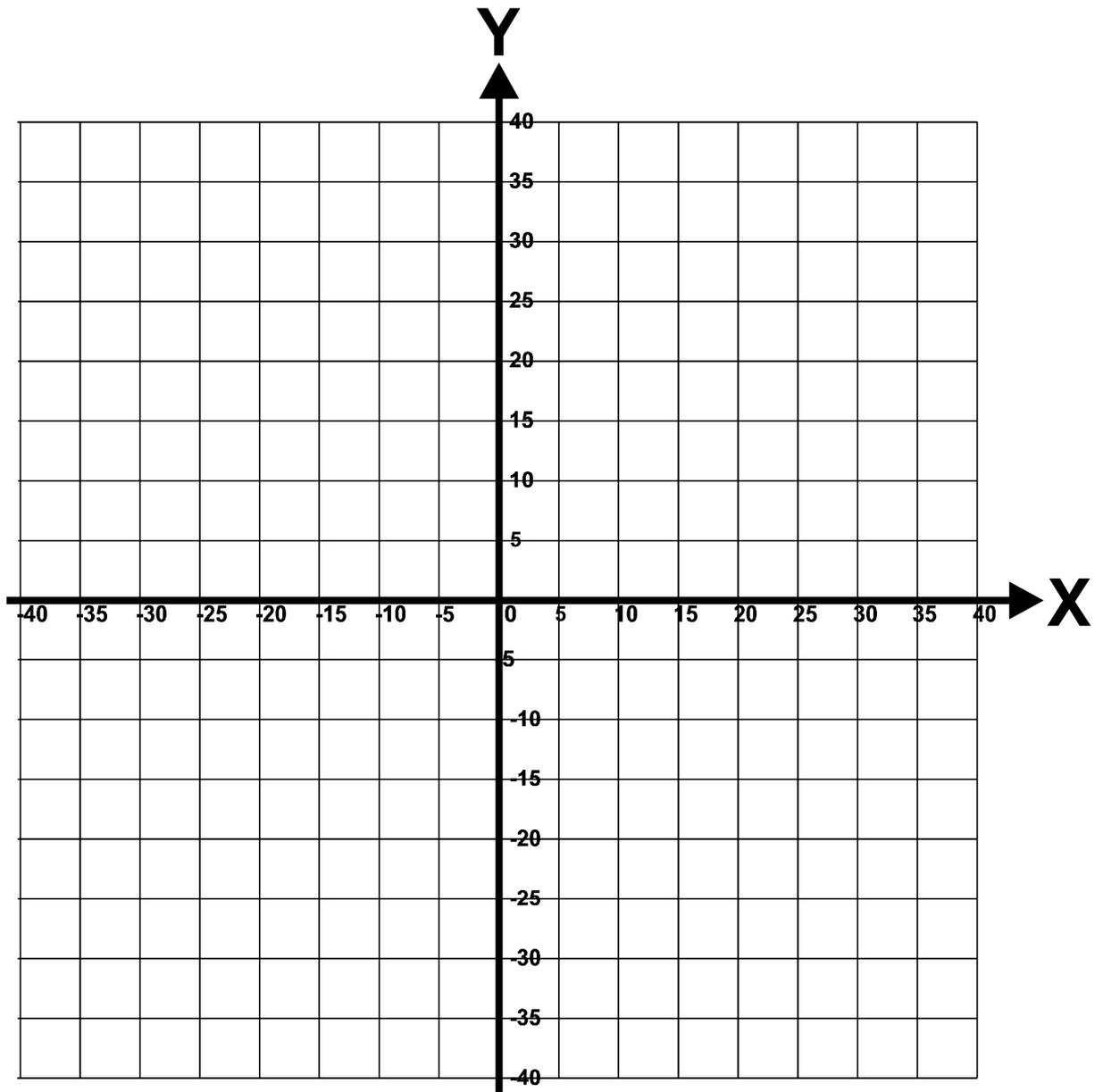
Ponto	Sistema	X	Y	R	I	J
A	A	-5	35			
B	I	15	0			
C	I	15	-15	15 (h)	0	-15
D	I	0	-10			
E	I	10	-10	10 (ah)	10	0
F	A	40	-5			
G	A	40	-20			
H	A	35	-25			
I	A	20	-25			
J	A	10	-35	10 (ah)	0	-10
K	I	-5	-5	5 (h)	-5	0
L	I	-10	0			
M	I	-15	15	15 (ah)	-15	0
N	I	-10	0			
O	I	-10	5			
P	I	0	15			
Q	A	-35	10			
R	A	-25	10			
S	A	-5	30	-20 (ah)	20	0
A	I	0	5			



Exercício 10 – Interprete o programa abaixo preenchendo a tabela de coordenadas e esboçando o perfil da peça (foram utilizados tanto o raio quanto o centro, mas isto não é o correto).

```
O10 (EXERCICIO 10)
(
G0 G17 G21 G40 G80 G90 M5 M9 H0 Z0
T1 M6 (FRESA PANTOGRAFICA
S3000 M3 E1 X15. Y35.
H1 D1 M8 Z2.
G1 Z-0.25 F50.
X-15. F100.
G3 X-23.9443 Y29.4721 R10. I0 J-10.
G1 X-33.9443 Y9.4721
G3 X-31.4939 Y-2.6045 R10. I8.9443 J-4.4721
G2 X-14.9058 Y-30.9661 R50. I-32.4696 J-38.0227
G3 X-10. Y-35. R5. I4.9058 J0.9661
G1 X10. Y-35.
G3 X14.9058 Y-30.9661 R5. I0. J5.
G2 X31.4939 Y-2.6045 R50. I49.0578 J-9.6611
G3 X33.9443 Y9.4721 R10. I-6.4939 J7.6045
G1 X23.9443 Y29.4721
G3 X15. Y35. R10. I-8.9443 J-4.4721
G0 Z2
M5 M9
G0 H0 Z0
X0 Y200
M0
M2
```

Ponto	X	Y	R	I	J
A	15	35			
B					
C					
D					
E					
F					
G					
H					
I					
J					
K					
L					
A					



2.6 - Software de simulação para o centro de usinagem FADAL VMC 15

O programa foi desenvolvido para ambiente DOS, mas funciona sob Windows, e está disponível <http://www.iem.efei.br/gorgulho/download.html>. O software também possui outros utilitários destinados a trabalhar com o centro de usinagem, mas que não serão discutidos. Para instalá-lo no disco rígido deve-se seguir as instruções da página de *download*.

2.6.1 - Acionando o software

Após a instalação deve-se usar o arquivo *fadal.bat*, que se localizará no diretório raiz do disco C. O programa necessita do mouse para algumas tarefas. Para que o programa funcione em DOS deve ser carregado antes um driver de mouse (instalado no diretório raiz). Quando o programa é iniciado apresenta-se um menu, como mostrado pela *figura 2.14*.

A opção **S** aciona o simulador, e será detalhada adiante. A opção **F** traz opções para envio e recebimento de programas através de interface serial, configurações e outras ferramentas. A opção **A** traz algumas opções de ajuda. Para sair do programa e retornar ao DOS (ou Windows) utiliza-se a opção **X**.

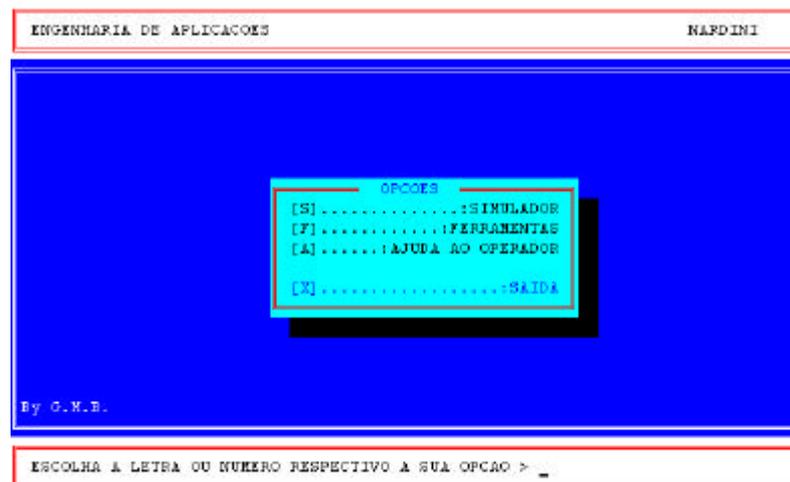


Figura 2.14 - Menu de abertura

2.6.2 - Editor/Simulador

A interface do software é igual a interface real da Fadal, que é composta por uma área onde visualiza-se o programa e a área de menus, na parte inferior da tela. Para alternar entre os menus principais deve-se utilizar a barra de espaços. A *figura 2.15* apresenta o menu de comandos (comandos de operação) e a *figura 2.16* o menu de funções (comandos de edição).

Algumas opções dos menus não são funcionais pois não há como simula-las (na máquina executam alguma atividade e não mostram nada na tela).

```

<N1 O666 (SIMBOLO DA EFEI
N40 G0 G17 G40 G80 G90 M5 M9 H0 Z0
N60 M6 T1
N80 S500 M3 E1 X-8.41 Y49.51
N100 H1 M8 Z3.
N120 (INICIO DA ENGRENAGEM
N140 G1 Z0 F10.
N160 G1 X-8.41 Y49.51 F10.
N180 X-10.29 Y60.58
N200 G3 X-31.88 Y52.53 R0+61.45
N220 G1 X-26.06 Y42.93
N240 G3 X-41.78 Y27.87 R0+50.22
N260 G1 X-51.12 Y34.1
N280 G3 X-60.13 Y12.68 R0+61.45
N300 G1 X-49.14 Y10.36
N320 G3 X-49.44 Y-8.81 R0+50.22
N340 G1 X-60.5 Y-10.78
N360 G3 X-51.5 Y-33.53 R0+61.45
-----PRESS H FOR HELP, SPACE FOR FUNCTION
MENU--
1-SETUP          4-HOME AXES          7-DIAGNOSTICS
2-MEMORY         5-RESET              8-LAST SCREEN
3-MDI           6-COMMAND MODE      9-QUIT TO DOS      V-VIEW GRAPHICS SCREEN

```

Figura 2.15 - Menu de comandos de operação.

```

<N1 O666 (SIMBOLO DA EFEI
N40 G0 G17 G40 G80 G90 M5 M9 H0 Z0
N60 M6 T1
N80 S500 M3 E1 X-8.41 Y49.51
N100 H1 M8 Z3.
N120 (INICIO DA ENGRENAGEM
N140 G1 Z0 F10.
N160 G1 X-8.41 Y49.51 F10.
N180 X-10.29 Y60.58
N200 G3 X-31.88 Y52.53 R0+61.45
N220 G1 X-26.06 Y42.93
N240 G3 X-41.78 Y27.87 R0+50.22
N260 G1 X-51.12 Y34.1
N280 G3 X-60.13 Y12.68 R0+61.45
N300 G1 X-49.14 Y10.36
N320 G3 X-49.44 Y-8.81 R0+50.22
N340 G1 X-60.5 Y-10.78
N360 G3 X-51.5 Y-33.53 R0+61.45
-----PRESS SPACE FOR COMMAND
MENU--
U-UP            F-FUNCTIONS    C-CHANGE        S-SEARCH        N-NUMBER
D-DOWN         G-GRAPHICS    I-INSERT        R-REPLACE       O-COPY
ENTER-PAGE DOWN  BACKSPACE-PAGE UP  DEL-DELETE     P-PROGRAM

```

Figura 2.16 - Menu de funções (comandos de edição).

Os menus são auto explicativos, ou seja, apresentam as ações que cada tecla (número ou letra) executam. No computador há a possibilidade de utilizar as teclas ↑ e ↓ que funcionarão como as teclas U e D.

2.6.3 – Menu de comandos (command menu)

O menu de comandos tem suas opções acionadas pelos números de 1 à 9 (com exceção da opção de visualização da tela gráfica, que utiliza a tecla V). Serão apresentadas apenas as seqüências de opções necessárias para executar as principais tarefas.

Digitar os dados das ferramentas:

1-Setup, 1-Tool, 3-Offset Table.

O setup de ferramentas envolve a digitação do diâmetro e do comprimento em uma tabela (tabela de offset's). A **figura 2.17** ilustra a tela onde estes valores são fornecidos. Para entrar com os dados utiliza-se a opção *I-New Value*, que solicitará o número da ferramenta (offset number) e em seguida o diâmetro (diameter) e o comprimento (length). Para os fins de simulação é interessante deixar o comprimento com o valor zero.

NO.	DIA	LENGTH	NO.	DIA	LENGTH	NO.	DIA	LENGTH
1		13				25		
2		14				26		
3		15				27		
4		16				28		
5		17				29		
6		18				30		
7		19				31		
8		20				32		
9		21				33		
10		22				34		
11		23				35		
12		24				36		
TOOL TURRET LOCATION IS NOT SET								
PRESS: 1- NEW VALUE			2- MODIFY VALUE			MANUAL- ABORT		
ENTER- NEXT PAGE			BACKSPACE- PREVIOUS PAGE<					

Figura 2.17 – Tabela de offset's de ferramentas.

Apagar o programa atual:

2-Memory, 5-Clear, 1-Current program, Y <enter>.

Apagar um programa da memória:

2-Memory, 2-Program Library, 5-Remove Old Program, <nº>,<enter>.

Trocar o programa atual:

2-Memory, 2-Program Library, 1-Switch to another program, <nº>,<enter>.

Listar os programas na memória:

2-Memory, 2-Program Library, 2-Display program numbers

Criar um novo programa:

2-Memory, 2-Program Library, 3-Start a new program, <n°>,<enter>.

Ler um programa do disco:

2-Memory, 3-Input/Output, 1-Input, 1-Begin

A tela de acesso às unidades de disco é apresentada pela **figura 4.18**. Observa-se que do lado superior direito há o nome do programa atualmente selecionado. Abaixo tem-se as linhas iniciais do programa e na parte inferior (nem sempre disponível) o resultado da simulação. No lado esquerdo encontra-se os acessos às unidades de disco, retorno para diretório superior (*Go back a diretory*) e os arquivos do diretório atual. Na parte inferior mostra-se o caminho completo. Os quatro botões na parte superior tem as seguintes funções: *Up* e *Down* fazem a rolagem dos arquivos quando ocupam mais de uma tela, *Type* permite digitar o nome do arquivo desejado e *Abort* sai da tela (o mesmo ocorre com a tecla ESC). Após selecionar o arquivo desejado deve-se clicar com o mouse no nome do arquivo (lado superior direito da tela) para que seja carregado no simulador.

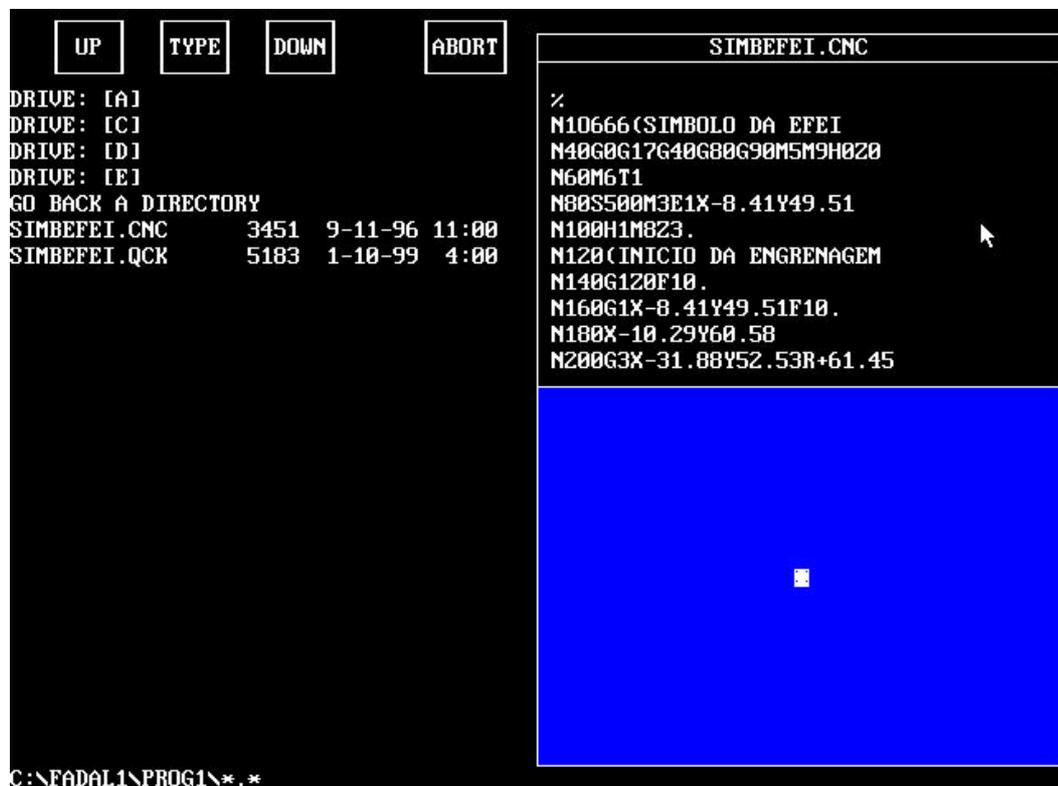


Figura 4.18 – Tela de acesso às unidades de disco.

Gravar um programa no disco:

2-Memory, 3-Input/Output, 2-Output, 1-Begin

Esta opção utiliza a mesma tela apresentada no item anterior. Bastará clicar em *Type* e digitar o nome do arquivo para, em seguida, clicar com o mouse em seu nome e gravar o arquivo no disco.

2.6.4 – Menu de funções (function menu)

O menu de comandos tem suas opções acionadas por letras. São opções bastante simples e devido a isto serão apenas colocadas as principais tarefas.

Iniciar a digitação de um programa

Após criar um novo programa, use a tecla **I** (*insert*) para inserir linhas.

Encerrar a digitação de um programa

Tecele <enter> com a linha vazia.

Adicionar novas linhas ao programa

Posicione o cursor na linha acima de onde quer inserir e use a tecla **I** (*insert*). Uma nova linha será aberta entre a linha onde o cursor se encontrava e a linha seguinte.

Apagar uma linha do programa

Posicione o cursor sobre a linha que deseja apagar, use a tecla **DEL**, e em seguida selecione a opção *1-Current Line* (linha atual).

Apagar várias linhas ao mesmo tempo

Use a tecla **DEL**, e em seguida selecione a opção *2-Multiple Lines* (múltiplas linhas). Em seguida digite o número da linha inicial (*first line number*) e tecele <enter>. Depois digite o número da última linha (*last line number*) e tecele <enter> novamente.

Renumerar as linhas do programa

Use a tecla **R** e em seguida digite o número que deseja para incrementar a numeração (*n-word increment*). Por exemplo, se desejar que as linhas sejam numeradas de 10 em 10, digite 10 e tecele <enter>.

Copiar uma parte do programa

Use a tecla **O**, digite o número da primeira linha da parte que deseja copiar (*first line number*) e tecla <enter>. Em seguida digite o número da última linha (*last line number*) e tecla <enter>. Para finalizar digite o número da linha que antecede a posição onde deseja que as linhas copiadas sejam inseridas (*insert after line number*) e tecla <enter>.

Acrescentar algo em uma linha que já foi digitada

Posicione o cursor na linha que deseja fazer a inclusão e use a tecla **C**. A área de menu será apagada para receber a linha que sofrerá a inclusão. O cursor se posicionará na linha seguinte e aguardará a digitação. Basta digitar e teclar <enter>. A linha que foi copiada para a área de menu é atualizada, e ainda pode sofrer novas inclusões. Após encerrar todas as inclusões tecla <enter> novamente e a linha atualizada será levada para o programa.

Corrigir algo em uma linha que já foi digitada

Posicione o cursor na linha que deseja fazer a correção e use a tecla **C**. A área de menu será apagada para receber a linha que sofrerá a correção. O cursor se posicionará na linha seguinte e aguardará a digitação. Basta digitar novamente apenas o que se deseja alterar na linha e teclar <enter>. A linha que foi copiada para a área de menu é atualizada, e ainda pode sofrer novas alterações. Após encerrar todas as alterações tecla <enter> novamente e a linha atualizada será levada para o programa.

2.6.5 - Simulação gráfica

Para executar-se a simulação gráfica deve-se teclar **G**. É então apresentada uma tela como a da **figura 2.19**. O menu lateral pode ser acionado com o mouse (movimentando-o para cima e para baixo). As opções também são acionadas através das letras maiúsculas. Para executar o programa atual no modo automático tecla **A** (opção *Auto*). A tecla **S** (opção *Single*) executa o programa linha por linha. As trocas de ferramentas são indicadas por um sinal sonoro (*Beep*). O resultado deve ser o mesmo da **figura 2.20**. Para sair tecla ESC.

Para uma correta simulação deve-se ajustar os diâmetros das ferramentas utilizadas na opção **T** (*tools*), como mostrado na **figura 2.21**. Também pode-se alterar as cores com que cada ferramenta aparece na tela. Deve-se lembrar de não escolher a cor azul para a ferramenta pois como o fundo da tela de simulação é dessa cor, não será possível ver sua geometria.

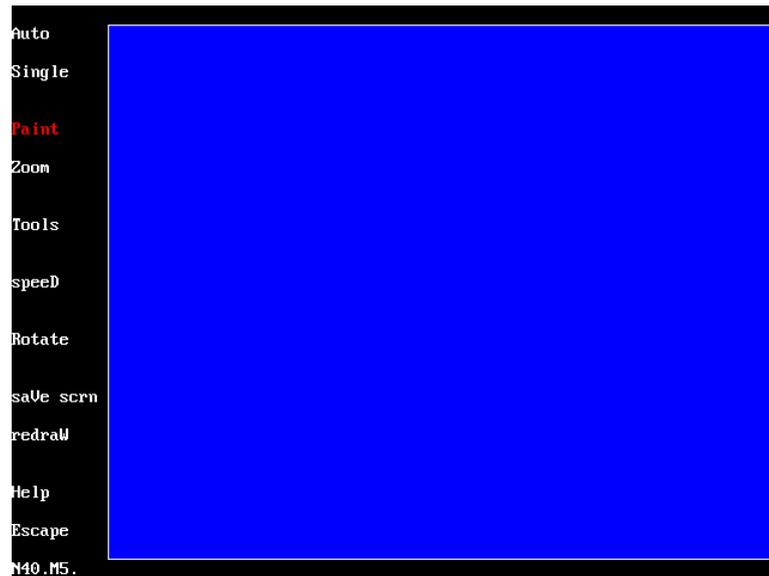


Figura 2.19 - Tela do simulador gráfico.



Figura 2.20 - Simulação do programa.

Movimentando o mouse para esquerda tem-se acesso ao menu (onde movimentando para cima e para baixo seleciona-se a opção desejada). Movimentando o mouse para a direita tem-se acesso a tabela de ferramentas. Nesta tabela o número da esquerda indica o número da ferramenta, enquanto a coluna central mostra o diâmetro atualmente definido. Clicando neste número pode-se digitar novo valor para o diâmetro. A coluna da direita apresenta a cor atualmente relacionada a ferramenta. Para altera-la basta clicar sobre a cor atual e o cursor saltará para o lado direito da tela onde é possível selecionar a nova cor. Deve-se tomar o cuidado de não escolher para a ferramenta a mesma cor do fundo da área de simulação.

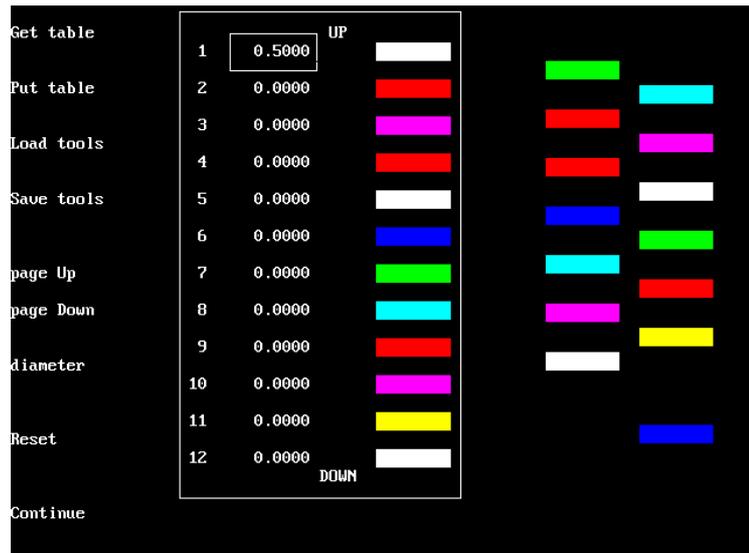


Figura 2.21 - Definição das ferramentas do simulador.

Esta tela acima não existe no simulador real da Fadal, que possui menos recursos. Desta forma, a simulação no computador permite uma melhor depuração do programa. Mas, além de definir os diâmetros das ferramentas nesta tela, deve-se informá-los na opção 1 (*setup*) do menu de comandos, como explicado anteriormente. A opção **Get Table** (primeira desta tela) busca os valores diretamente da tabela de ferramentas.

Uma observação importante deve ser feita com relação a opção **Rotate** (a sétima opção, de cima para baixo, do menu da *figura 2.19*). Esta opção abre um novo menu que permite rotacionar os eixos e possibilitar a visualização da simulação por um outro ponto de vista. A *figura 2.22* ilustra a rotação XZ CW em três cliques do mouse combinada com a rotação YZ CW também com três cliques.

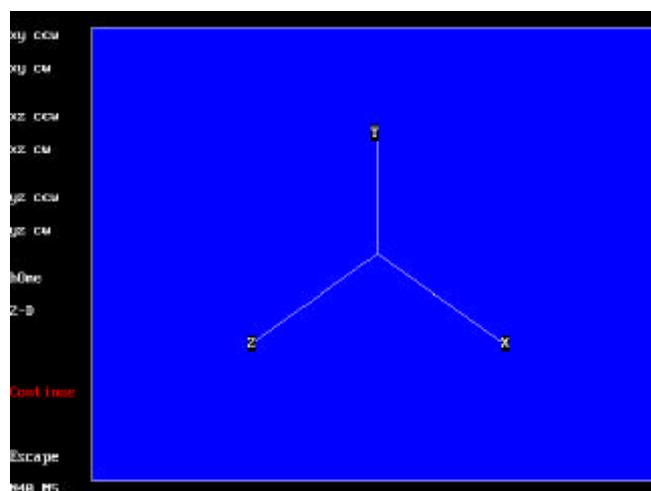


Figura 2.22 – Definindo um novo ponto de vista para a simulação.

É muitas vezes de extrema importância executar a simulação em vistas laterais para certificar que a ferramenta está posicionada corretamente no eixo Z. Esta é uma possibilidade oferecida apenas no simulador do PC. O simulador do comando real só executa as simulações em vista de topo e vista isométrica.

Outra ferramenta importante é a simulação com o desenho do diâmetro da ferramenta ou apenas o caminho do centro dela. Isto é selecionado também na opção **Rotate**, pelos itens **hOme** e **2-D**. Usando a opção **home** tem-se o desenho do caminho do centro da ferramenta. A opção **2-D** desenha o diâmetro da ferramenta. A **figura 2.23** ilustra uma parte do desenho executado com as duas opções (o desenho da direita foi feito com o diâmetro de 2 mm).

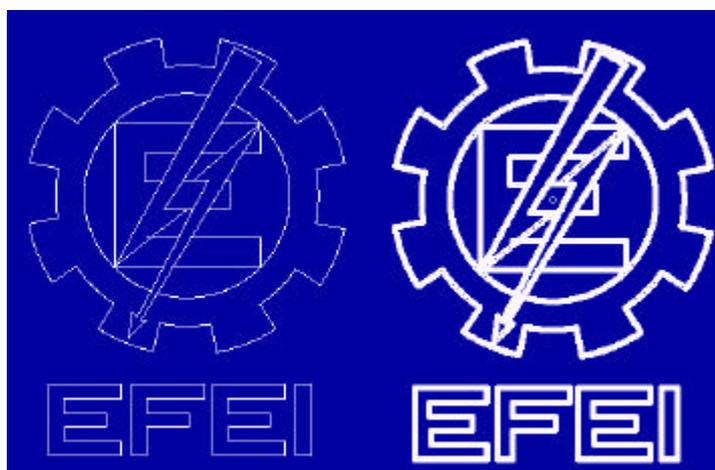


Figura 2.23 – Simulações nas opções *home* e 2-D.

A opção **2-D** é afetada pela opção **Speed** do menu principal, que permite selecionar entre **Fast** (rápido), **Médium** (intermediário) e **Slow** (lento). O ideal é utilizar a opção **S** (*slow*) sempre, pois gera melhor definição e não prejudica o tempo de simulação com o poder de processamento disponível atualmente.

A opção **Zoom** permite ajustar o quanto da área de simulação vai ser apresentada. O zoom apresenta a opção **Full Table** que mostra toda a área de simulação. Para definir a região de zoom deve-se clicar com o mouse no canto superior esquerdo e, mantendo o botão do mouse pressionado, move-lo até o canto inferior direito. Em seguida utilize a opção **Continue** do menu.

A opção **Save scrn** (salva a tela), é acionada pela tecla **V**, e salva a imagem gráfica que poderá ser visualizada posteriormente também pela tecla **V** do menu de comandos. Além disso, durante o uso do simulador pode-se teclar **<alt-g>** para obter uma janela com a listagem dos códigos CNC aceitos e seus parâmetros.

2.6.5 – Guia de consulta rápida para simulador Fadal

Digitar os dados das ferramentas: 1-Setup, 1-Tool, 3-Offset Table.

Apagar o programa atual: 2-Memory, 5-Clear, 1-Current program, Y.

Apagar um programa da memória: 2-Memory, 2-Program Library, 5-Remove Old Program.

Trocar o programa atual: 2-Memory, 2-Program Library, 1-Switch to another program.

Listar os programas na memória: 2-Memory, 2-Program Library, 2-Display program numbers

Criar um novo programa: 2-Memory, 2-Program Library, 3-Start a new program.

Ler um programa do disco: 2-Memory, 3-Input/Output, 1-Input, 1-Begin

Gravar um programa no disco: 2-Memory, 3-Input/Output, 2-Output, 1-Begin

Como inicio a digitação do programa? Após criar um novo programa, use a tecla **I** (insert).

Como encerro a digitação de um programa? Tecele <enter> com a linha vazia.

Como adiciono novas linhas ao programa? Tecele **I** para inserir linhas abaixo da linha do cursor.

Como apago uma linha do programa? Posicione o cursor na linha, use a tecla **DEL**, e a opção **1**.

Como apago várias linhas ao mesmo tempo? Use a tecla **DEL**, e a opção **2-Multiple Lines**.

Como acertar a numeração das linhas do programa? Use a tecla **R**.

Como copiar uma parte do programa? Use a tecla **O**.

Como se acrescenta ou corrige algo em uma linha que já foi digitada? Use a tecla **C**.

Como pode-se acessar a tela de simulação? Use a tecla **G**.

Como executa-se a simulação no modo automático? Use a tecla **A**.

Como executa-se a simulação no modo passo-a-passo? Use a tecla **S**.

Desejo ver o diâmetro da ferramenta na simulação. Use a tecla **R** e em seguida a tecla **D**.

Desejo apenas o caminho do centro na simulação. Use a tecla **R** e em seguida a tecla **O**.

Simulação usando diâmetros de ferramenta errados. Use a tecla **T** (tool) e em seguida a opção **Get Table**.

Como observar a simulação de um outro ponto de vista? Use a opção **Rotate** (tecla **R**).

A simulação não é visível ou é parcialmente mostrada. Use a opção **Zoom** (tecla **Z**) e em seguida a opção **Full Table**. Tecele **A** para simular novamente. Use novamente a tecla **Z** e com o mouse marque a área de interesse. Use a opção **Continue** e tecele **A**.

2.7 - Compensação do raio da ferramenta

Para acionar a compensação, primeiro, deve-se posicionar a ferramenta próximo a peça. Em seguida utiliza-se G41 ou G42, conforme a *figura 2.24*. Depois programa-se um movimento de compensação (normalmente G1) e em seguida executar todos os movimentos do perfil a ser acabado. Ao final do perfil programa-se G40 para desligar a compensação e em seguida um movimento de afastamento da peça. A *tabela 2.5* apresenta todos estes passos.

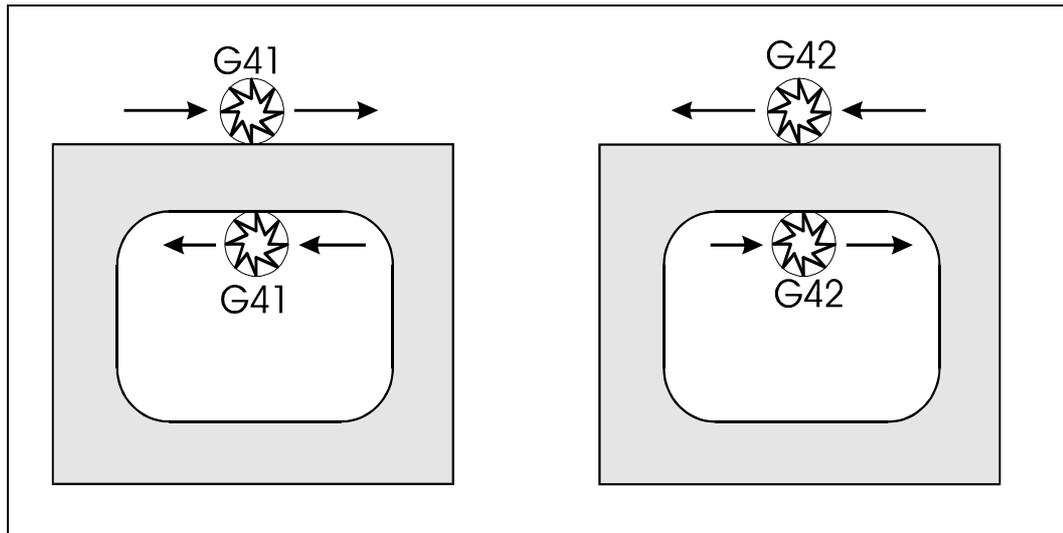


Figura 2.24 - Utilização da compensação de raio.

Compensação à esquerda	Compensação à direita	Comentário
.....	Programa antes da compensação
G41	G42	Aciona a compensação
G1 X___ Y___ F___	G1 X___ Y___ F___	Movimenta compensando
.....	Usinagem com compensação
G40	G40	Cancela a compensação
G1 X___ Y___	G1 X___ Y___	Movimenta descompensando
.....	Programa depois da compensação

Tabela 2.5 – Sequência de passos para trabalhar com compensação.

Durante os movimentos em compensação deve-se manter o mesmo sentido de usinagem. Também é muito importante verificar se o número do corretor de ferramenta (D___) corresponde à ferramenta em uso.

G40 – Desliga a compensação do raio da ferramenta

G41 – Compensação do raio com a ferramenta à esquerda da peça

G42 – Compensação do raio com a ferramenta à direita da peça

2.8 – Ciclos de furação

Ciclos de furação são comandos que automatizam uma série de movimentos, simplificando a programação desta operação muito utilizada e repetitiva. Um ciclo funciona da seguinte maneira:

- posiciona-se a ferramenta próximo a peça;
- faz-se a chamada do ciclo desejado (que fica ativo);
- move-se a ferramenta para todas as coordenadas onde deseja-se a execução do ciclo;
- cancela-se o ciclo fixo (com o comando **G80**).

Após a execução de cada furo a ferramenta retorna automaticamente para uma altura Z. Esta altura pode ser definida por G98 ou G99. Com G98 (*plano inicial*) após executar o furo a ferramenta irá retornar para a mesma altura onde estava antes do ciclo ser chamado. Esta forma é a *default* (e modal). Com G99 define-se o plano para qual a ferramenta deve retornar após o furo pelo parâmetro **R0**, definido na linha de comando do ciclo.

Os comandos G98 e G99 podem ser programados na linha que define o ciclo fixo ou em linhas de coordenadas de furos. Um exemplo interessante de sua aplicação é a furação de uma peça com um obstáculo a saltar. Para exemplificar isto, observe a peça da *figura 2.25*.

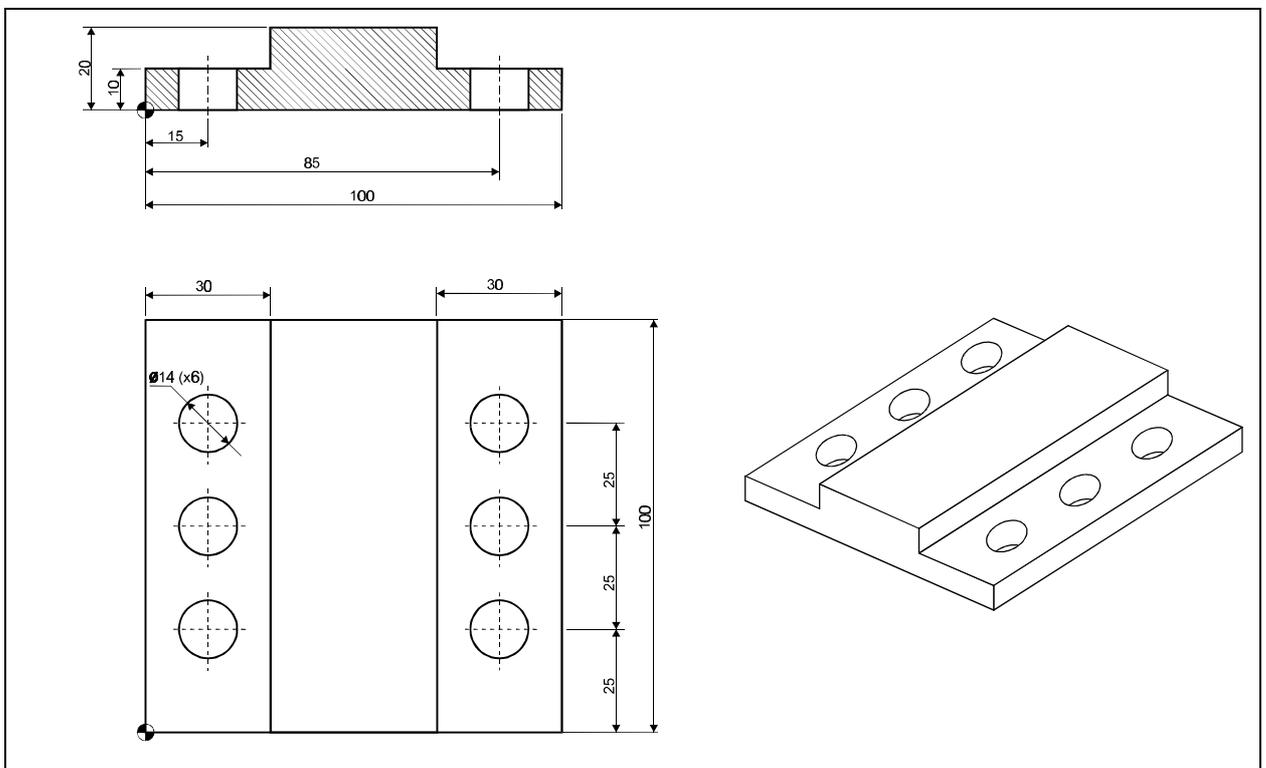


Figura 2.25 – Peça para exemplificar o uso de G98 e G99.

O processo para executar os seis furos da peça apresentada na *figura 2.25* é apresentado e explicado no trecho de programa listado na *tabela 2.6*.

G0 X15. Y76. Z22.	Posiciona a ferramenta em XY próximo ao primeiro furo. Define o plano inicial em Z22.
G81 G99 R0+12. Z-5. F200.	Define o ciclo fixo (G81). Retorno ao plano de referência (G99) posicionado em Z12 (R0). Profundidade a ser atingida é de 5 mm (Z) com avanço de 200 mm/min (F).
G0 Y75.	Movimento rápido para X15 (modal) e Y75. Com o ciclo fixo ativo, será executado um furo nesta posição. A ferramenta voltará para o plano de referência (G99).
Y50.	Movimento rápido (G0 modal) para X15 e Y50, onde é executado o segundo furo.
G98 Y25.	Movimento para X15 e Y25. Execução o terceiro furo. A ferramenta retorna para o plano inicial (G98).
G99 X85.	Movimento para X85 e Y25. Execução do quarto furo. A ferramenta retorna para o plano de referência (G99).
Y50.	Movimento para X85 e Y50. Execução do quinto furo.
Y75.	Movimento para X85 e Y75. Execução do sexto furo.
G80	Cancelamento do ciclo fixo.

Tabela 2.6 – Exemplo de utilização de G98 e G99.

Existem diversos ciclos disponíveis, e sua utilização é muito similar. Sendo assim apenas os ciclos mais utilizados serão apresentados. As descrições dos ciclos utilizarão G99 e R0, mas que podem ser substituídas por G98. Todos os ciclos são cancelados com o comando G80, que não possui parâmetros.

Furação pica-pau (G73)

Sua função é fazer um furo até a profundidade definida pelo parâmetro **Z**, em passos de **Q** milímetros a **F** mm/min. Depois de cada passo a ferramenta retorna alguns milímetros (parâmetro interno da máquina), em avanço rápido, para quebrar o cavaco. Quando a ferramenta volta a se aprofundar para realizar um novo passo seu movimento também ocorre em avanço rápido até faltar **P** milímetros para a profundidade do passe anterior. A partir deste ponto a velocidade de avanço volta a ser o valor programado por **F**. A *figura 2.26* ilustra o seu funcionamento.

G73 G99 R0__ Z__ F__ Q__ P__

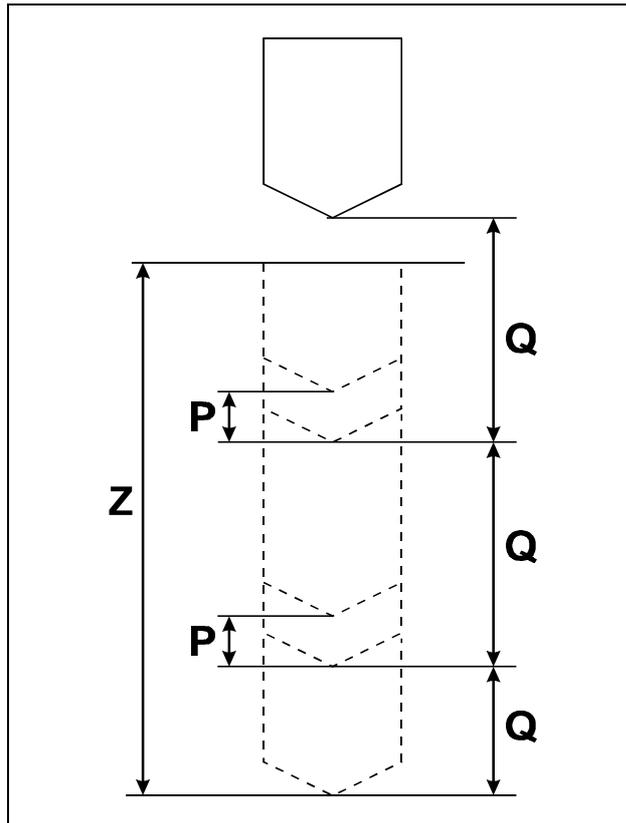


Figura 2.26 – Operação do G73.

Furação simples (G81)

Executa o furo em apenas uma passada (um aprofundamento). A profundidade a ser atingida é definida por **Z** e a velocidade de avanço é programada em **F**.

G81 G99 R0__ Z__ F__

Furação simples com pausa (G82)

É um ciclo fixo similar ao **G81**. A diferença é que a ferramenta ficará girando no fundo do furo por um tempo definido pelo parâmetro **P**, que é programado em milisegundos.

G82 G99 R0__ Z__ F__ P__

Furação profunda (G83)

É um ciclo muito similar a furação pica-pau (**G73**). A diferença está na posição de retorno da ferramenta após cada passe de aprofundamento. Enquanto em **G73** o retorno é de alguns milímetros, neste ciclo a ferramenta volta para o ponto inicial, auxiliando muito na retirada dos cavacos.

G83 G99 R0__ Z__ F__ Q__ P__

2.9 – Programação CNC avançada

A linguagem ISO (código G) padroniza diversos comandos, tais como G0 e G1, entre outros. Entretanto, permite que cada fabricante adicione comandos específicos para seus equipamentos, de modo a facilitar o processo de usinagem. Estes comandos variam muito de máquina para máquina. Os recursos de programação avançada da Fadal serão apresentados neste item.

2.9.1 - Códigos M avançados

M48 – Permite o uso dos potenciômetros.

M49 – Bloqueia o uso dos potenciômetros.

M66 até M69 – Acionamento de dispositivos externos.

M80 – Abre a porta automática.

M81 – Fecha a porta automática.

M96 – Contorno do canto programado, sempre tocando a peça.

M97 – Usinagem do canto com precisão.

2.9.2 - Códigos G avançados

Cancelamento do espelhamento (G50.1)

Este comando, que não possui parâmetros, cancela o comando de espelhamento de coordenadas. Não é possível desligar o espelhamento de apenas um eixo quando o espelhamento foi feito em dois.

G50.1

Espelhamento (G51.1)

O espelhamento de coordenadas é um recurso que permite que um trecho de programa (normalmente uma subrotina) seja executada de forma espelhada com relação ao eixo X ou Y, ou ainda, com relação aos dois eixos simultaneamente. A *linha de espelho* é definida pelas coordenadas da ferramenta no momento de acionamento do comando de espelhamento. Os parâmetros do comando sempre recebem valor zero.

G51.1 X0 – espelho no eixo X

G51.1 Y0 – espelho no eixo Y

G51.1 X0 Y0 – espelho nos eixos X e Y

Deslocamento do sistema de coordenadas (G52)

Desloca incrementalmente o atual sistema de coordenadas para uma nova posição. Pode-se mudar apenas um dos eixos ou qualquer combinação entre eles. Para retornar ao valor original deve-se utilizar o mesmo comando com os valores de coordenadas iguais a zero.

G52 X__ Y__ Z__

Rotação do sistema de coordenadas (G68)

A finalidade deste comando é girar o sistema de coordenadas. O ângulo de giro é fornecido ao parâmetro **R0**. As coordenadas do pivô (centro da rotação) são definidas pelos parâmetros **X** e **Y**. Se um novo giro for aplicado, será em relação à situação atual dos eixos e não à original, anterior à primeira rotação.

G68 X__ Y__ R0__

Cancelamento da rotação do sistema de coordenadas (G69)

Sua finalidade é retornar o sistema de coordenadas a sua posição original, antes de ser aplicado a primeira rotação. Não possui parâmetros.

G69

2.9.3 – Subprogramas e subrotinas

É muito comum ter-se seqüências de comandos repetidas em um mesmo programa. Desta forma a utilização de subprogramas e/ou subrotinas contendo estas seqüências traz grande economia de tempo de digitação e espaço ocupado na memória da máquina. Também simplifica alterações pois apenas um lugar deve ser alterado. Alguns exemplos de utilização são:

- Quando os movimentos para execução de um conjunto de furos devem ser repetidos para mais de uma operação.
- Quando um perfil deve ser repetido ou espelhado, seus comandos devem estar em um subprograma/subrotina.
- Quando um perfil deve ser usinado em várias profundidades, deve-se utilizar a repetição do subprograma/subrotina e utilizar um avanço incremental logo em seu início.

Um subprograma é um arquivo separado do programa principal. Pode ser chamado por qualquer outro programa. Já, uma subrotina é um conjunto de linhas de programa que estão colocadas dentro do próprio programa principal, e só poderá ser utilizado por este. Um programa principal pode conter várias subrotinas e também fazer uso de subprogramas.

Para simplificar o entendimento do programa principal e também dos subprogramas e subrotinas, é sempre importante colocar comentários indicando sua função ou a que programa principal pertence.

2.9.3.1 - Subprogramas

M98 – Chamada de subprograma

O comando M98 faz com que o processamento do programa passe a ser executado no subprograma indicado pelo parâmetro **P**. Além disto pode-se definir quantas vezes o subprograma será executado através do parâmetro **L** (se for omitido será considerado como L1, ou seja, será executado uma vez).

M98 P___ L___

M99 – Retorno ao programa principal

No final de um subprograma deve-se utilizar este comando, que não possui parâmetros, para que o processamento retorne ao programa que o chamou, para a linha logo após G98.

M99

2.9.3.2 - Sub-rotinas

As sub-rotinas de um programa devem ser definidas logo em seu início. Uma subrotina é definida pelo comando Lxx00, onde xx pode variar de 01 até 80. Cada subrotina é encerrada com o comando M17. Quando todas as subrotinas estiverem definidas deve-se encerrar o bloco com M30. O texto abaixo apresenta a estrutura do início de programa com uso de subrotinas.

```
N1 O___ ( _____
N2 (PROGRAMADOR: _____
N3 (CLIENTE: _____
N4 (DATA: _____
N5 (PECA: _____
N6 (MATERIAL: _____
N7 (
N8 Lxx00 ( _____
N9 ...
N_ M17
N_ (
N_ Lxx00 ( _____
N_ ...
N_ M17
N_ M30
N_ (
N_ G0 G17 G21 G40 G80 G90 M5 M9 H0 Z0
N_ M6 T___ ( _____
N_ S___ M3 E___ X___ Y___
N_ H___ D___ M8 Z___
N_ .....
```

Define subrotina modal (G66)

Este comando define a subrotina L como sendo modal, ou seja, após cada comando que gera um movimento dos eixos a subrotina definida será executada.

G66 L___

Cancela a subrotina modal (G67)

Este comando cancela a utilização da subrotina modal. Não possui parâmetros.

G67

2.9.3.3 - Subrotinas fixas

O CNC da Fadal possui algumas subrotinas fixas que auxiliam muito no processo de programação, permitindo economizar tempo e linhas de programa. Por serem internas ao CNC, não necessitam ser declaradas no início do programa.

Serialização e gravação

Esta subrotina permite que, através de uma única linha de programa, escreva-se uma palavra ou frase com até 63 caracteres. Também pode ser utilizada para serializar peças.

L9201 R0__ R1__ R2__ R3__ R4__ Z__ F__ (_____

Onde: R0: altura do plano de retração da ferramenta (coordenada Z quando sobe);

R1: seleção da fonte e modo de trabalho (gravação ou serialização);

R1+0 = Fonte tipo 1 para gravação

R1+1 = Fonte tipo 2 para gravação

R1+2 = Fonte tipo 1 para serialização

R1+3 = Fonte tipo 2 para serialização

R2: altura do caracter a ser gravado (é influenciado pelo diâmetro da ferramenta);

R3: ângulo para a gravação;

R4: incremento para serialização, de 1 até 9;

Frase: tudo que for digitado após o sinal de parêntesis será escrito na usinagem.

Para sua utilização deve-se posicionar a ferramenta nas coordenadas X e Y do início da palavra (lado inferior esquerdo) na altura R0. Na serialização os últimos caracteres da frase é que serão incrementados. Deverão ser caracteres numéricos e sua quantidade indica o último número da série. O primeiro número da série será o que estiver digitado na linha de comando. A *figura 2.27* apresenta os caracteres aceitos pelos dois tipos de fontes disponíveis no CNC Fadal.

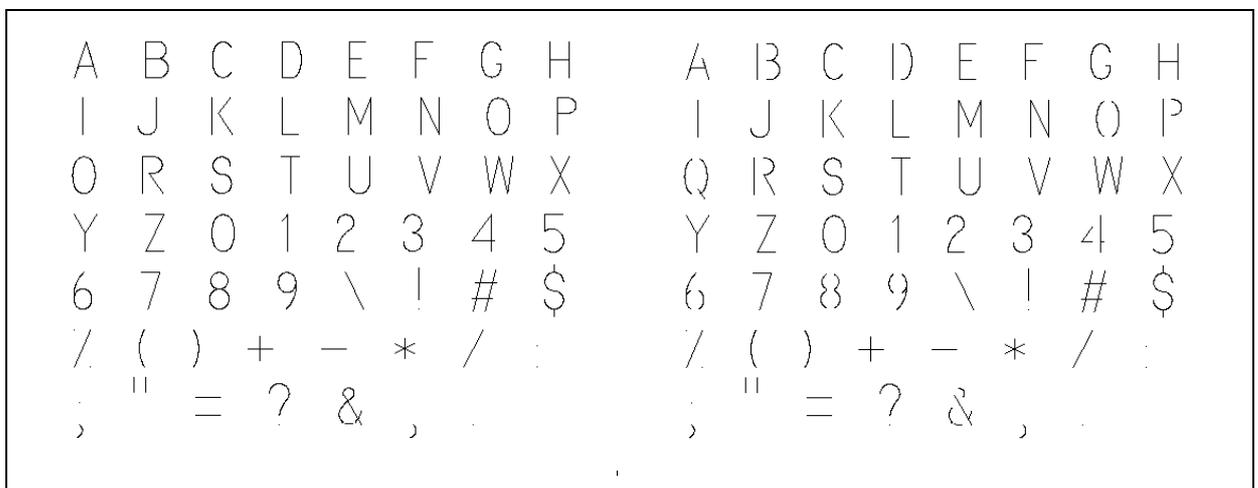


Figura 2.27 – Fonte tipo 1, à esquerda e tipo 2, à direita.

Círculo de parafusos

Esta subrotina é utilizada com ciclos fixos de furação. Sua função é gerar as coordenadas X e Y de furos igualmente espaçados sobre um círculo, que pode ser completo ou não. A linha de programação para esta subrotina é:

L93xx R0__ R1__ R2__

Onde: xx: Número de furos;

R0: Distância em X do ponto inicial ao centro do círculo;

R1: Distância em Y do ponto inicial ao centro do círculo;

R2: Incremento angular entre furos. Valores positivos indicam sentido horário.

Para se utilizar esta subrotina deve-se:

- posicionar a ferramenta em X e Y nas coordenadas de um dos furos. Este é o chamado ponto inicial, que define o último furo a ser executado;
- Aproximar na coordenada Z acima da peça;
- Selecionar um ciclo fixo (G73 – G76 e G81 – G89);
- Acionar a subrotina de círculo de parafusos;
- Cancelar o ciclo fixo.

Deve-se observar que as coordenadas X e Y do ponto inicial são incrementais, independente do uso de G90 e G91. A **figura 2.28** ilustra o resultado do comando com xx=08 e R2=45.

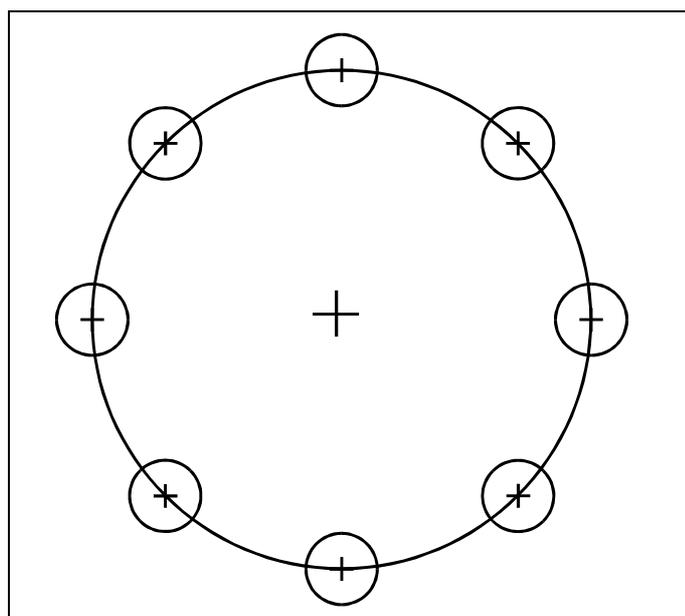


Figura 2.28 – Círculo de parafusos.

Fresamento de bolsão circular

A função desta subrotina é dar acabamento em bolsões circulares, com aproximação e afastamento tangencial calculados automaticamente em função dos diâmetros do bolsão e da ferramenta. Pode-se realizar esta tarefa tanto no sentido horário quanto no anti-horário, e para isto conta-se com duas subrotinas, que são:

Anti-horário: **L94xx R0__ R1__**

Horário: **L95xx R0__ R1__**

Onde: xx: Número de repetições da usinagem;

R0: velocidade de avanço (normalmente programado pela letra F);

R1: diâmetro do bolsão.

Para se utilizar esta subrotina deve-se anteriormente posicionar a ferramenta no centro do bolsão (X e Y), na profundidade desejada (Z). Ao final da usinagem a ferramenta voltará para este mesmo ponto.

A *figura 2.29* ilustra os movimentos realizados pelos comandos. No lado esquerdo tem-se o movimento executado por L94xx, que é anti-horário. No lado direito é apresentado o movimento de L95xx, que ocorre no sentido horário.

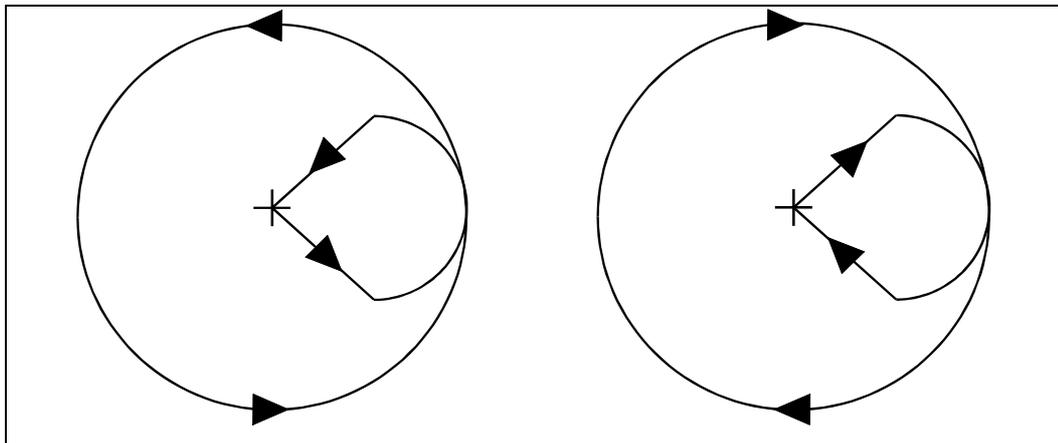


Figura 2.29 – Movimentos de L94xx e L95xx.

Durante o movimento linear que vai do centro até o arco de tangenciamento de entrada ocorre o acionamento da compensação do raio da ferramenta. Da mesma forma, do arco de tangenciamento de saída até o centro é desacionada a compensação.

Abertura de bolsão retangular/quadrado

Como o próprio nome diz, trata-se de uma subrotina capaz de abrir um bolsão retangular. Depende da informação de diâmetro da ferramenta. Pode-se executar esta tarefa no sentido horário ou anti-horário. Tem-se portanto duas possibilidades:

Anti-horário: **L9601 R0__ R1__ R2__ R3__**

Horário: **L9701 R0__ R1__ R2__ R3__**

Onde: R0: avanço de usinagem (em outras situações programado através de F);

R1: raio de canto da ferramenta;

R2: comprimento do bolsão no eixo X;

R3: comprimento do bolsão no eixo Y.

O procedimento para sua utilização é:

- Posicionar a ferramenta no centro do bolsão (XY);
- Posicionar a ferramenta na profundidade desejada (Z);
- Iniciar a subrotina.
- Após encerrar a usinagem a ferramenta voltará para o ponto inicial.

A *figura 2.30* apresenta os movimentos executados por L9601, do lado esquerdo, e L9701, do lado direito.

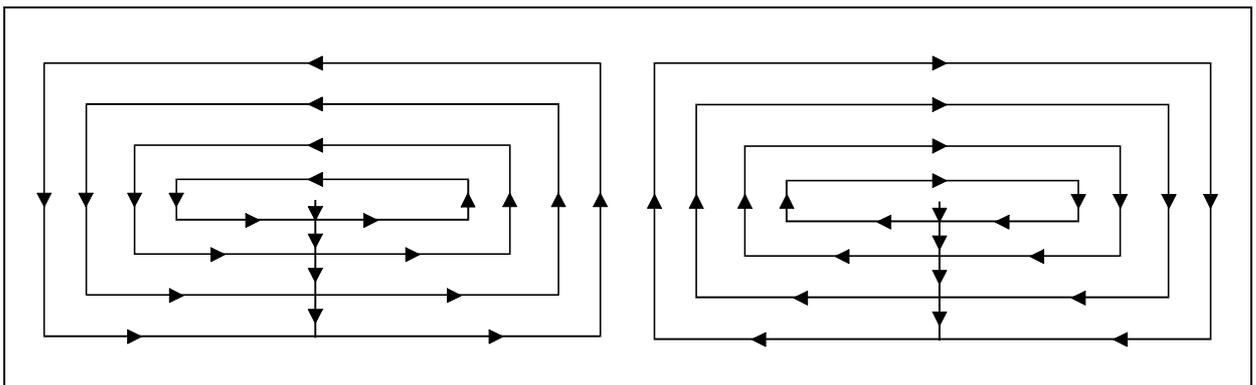


Figura 2.30 – Movimentos de L9601 e L9701.

O parâmetro R1 (raio de canto da ferramenta) pode receber valores que vão de zero até praticamente o raio da ferramenta em uso. Se R1 for zero o avanço lateral da ferramenta será igual ao valor de seu raio. Quanto maior o valor de R1, menor será o avanço lateral. Não pode receber o valor do raio pois geraria um avanço nulo.

Abertura de bolsão circular

Sua função é realizar a abertura de bolsões circulares. Depende da informação de diâmetro da ferramenta. Tem-se duas possibilidades de execução, sendo uma no sentido horário e outra no anti-horário:

Anti-horário: **L9801 R0__ R1__ R2__**

Horário: **L9901 R0__ R1__ R2__**

Onde: R0: avanço de usinagem (normalmente programado através da letra F);

R1: raio de canto da ferramenta;

R2: diâmetro do bolsão.

O procedimento para sua utilização é:

- Posicionar a ferramenta no centro do bolsão (XY);
- Posicionar a ferramenta na profundidade desejada (Z);
- Iniciar a subrotina.
- Após encerrar a usinagem a ferramenta voltará para o ponto inicial.

A *figura 2.31* ilustra a seqüência de movimentos realizados por L9801, à esquerda, e por L9901, à direita.

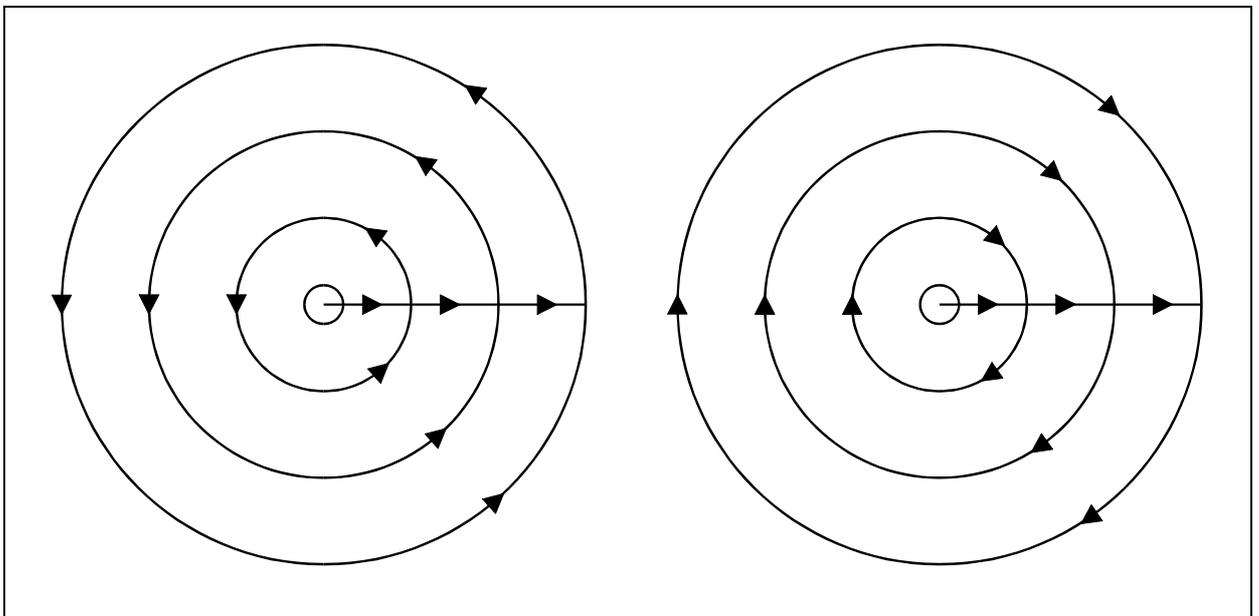


Figura 2.31 – Movimentos de L9801 e L9901.

O parâmetro R1 comporta-se da mesma forma como apresentado para L9601 e L9701.

2.9.4 – Macros e programação paramétrica

Macros são funções que permitem realizar cálculos, receber valores via teclado, enviar mensagens para o operador e tomar decisões lógicas durante a execução de um programa CNC. O termo programação paramétrica indica que, através de parâmetros (valores) passados pelo operador ao programa, este executa a mesma usinagem, mas de forma diferente. Por exemplo, a parametrização mais comum é relacionada a escala da peça.

Toda linha de programação que conter uma macro deverá ter em seu início o caracter #. Para trabalhar com macros pode-se utilizar até 100 variáveis de memória, indicadas de V1 até V100. Além disto pode-se trabalhar com outras variáveis internas do CNC:

D1 até D99: diâmetros de ferramenta;

H1 até H99: comprimentos de ferramenta;

FX1 até FX48: zero-peça em X;

FY1 até FY48: zero-peça em Y;

AX, AY e AZ: posição atual dos eixos;

TN: número da ferramenta em uso;

R0 até R9: variáveis paramétricas (podem ser utilizadas com os comandos CNC).

Nos comandos CNC o parêntesis indica comentário, mas nas linhas de macros sua finalidade é a de realizar agrupamentos de funções matemática. Nas macros comentários são definidos pelo caracter *apóstrofo*. Além das operações aritméticas usuais (+ - * /), as funções matemáticas disponíveis são:

ABS: valor absoluto;

INT: valor inteiro;

ATN: arco tangente;

RND: arredondamento;

COS: coseno;

SQR: raiz quadrada;

SIN: seno;

SGN: sinal de um valor.

Também existem comandos específicos para o controle lógico do programa, permitindo tomar decisões que levarão a novos caminhos. São eles:

SET DEGREES ou SET RADIANS

Define se os ângulos serão tratados em graus ou radianos.

CLEAR

Zera o conteúdo de variáveis V. Utilizado sozinho, zera todas as variáveis. Se for especificado uma variável, apenas ela será zerada. Pode-se zerar uma faixa de variáveis utilizando um sinal de menos entre a primeira e a última. Também é possível especificar várias variáveis e várias faixas simultaneamente, bastando para isto separá-las por vírgula.

GOTO

Permite saltar diretamente para uma linha específica do programa, indicada por seu número (não esquecendo o caracter **N**) ou através de um label. Um label é uma referência textual que deve sempre iniciar com o caracter *dois pontos*. Deve-se dar preferência ao uso de labels pois quando um programa é renumerado a linha indicada por este comando não é atualizada.

IF – THEN

Permite comparações para tomada de decisão. Utiliza para as comparações os sinais >, <, =, >=, <= e <>. Também podem ser utilizadas as funções lógicas AND, OR e NOT.

INPUT

Permite a entrada de valores através do teclado. Usado sempre com variáveis V.

PRINT

A finalidade desta função é enviar mensagens e dados para a tela do comando. Para enviar um texto ele deve estar fechado por caracteres *aspas*. Pode-se numa mesma linha enviar vários textos e vários dados (variáveis), bastando para isto separa-los por *virgula*.

SET RNDx

Determina em qual casa decimal, indicada por **x**, será realizado o arredondamento quando for utilizada a função RND.

Observação

As variáveis paramétricas não podem receber o conteúdo de uma expressão aritmética. Sendo assim deve-se armazenar o resultado da expressão em uma variável **V** e na linha seguinte transferir seu conteúdo para uma variável paramétrica **R**. Veja o exemplo abaixo:

```
#V1=((V2*3)+(V3/4))*COS(V5)
```

```
#R9=V1
```

```
G0 X+R9
```

2.10 - Trabalho prático de CNC

Como avaliação final deste assunto deve ser elaborado um programa CNC que execute um desenho. A *figura 2.32* apresenta exemplos de desenhos usinados por alunos que já passaram por esta disciplina.

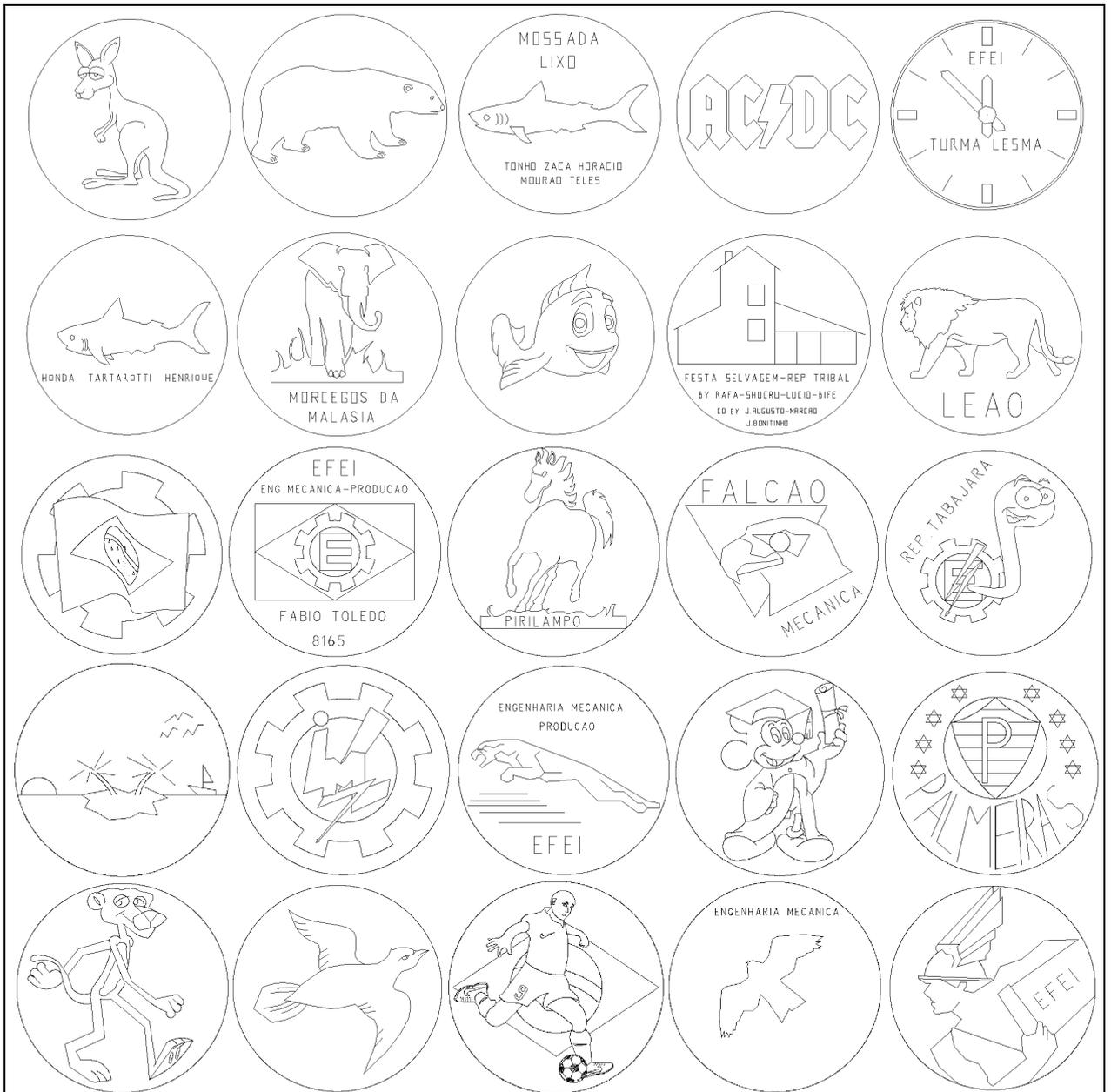


Figura 2.31 – Exemplos de figuras usinadas.

Os desenhos apresentados na *figura 2.31* aparentam uma grande complexidade de programação, mas podem ser realizados através de muitas linhas retas (comandos G1). A *figura 2.32* ilustra o desenho do leão, destacando as extremidades de cada reta.

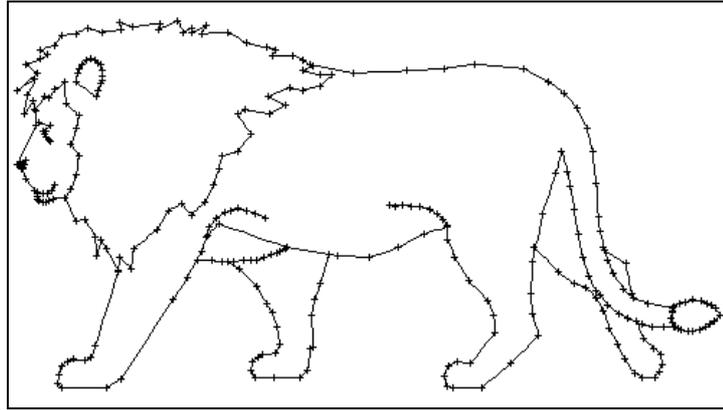


Figura 2.32– Figura do leão em detalhes.

A **figura 2.33** mostra em detalhe parte da cabeça, a ponta da cauda e a orelha. É possível notar que realmente todos os elementos que compõe a figura são linhas retas.

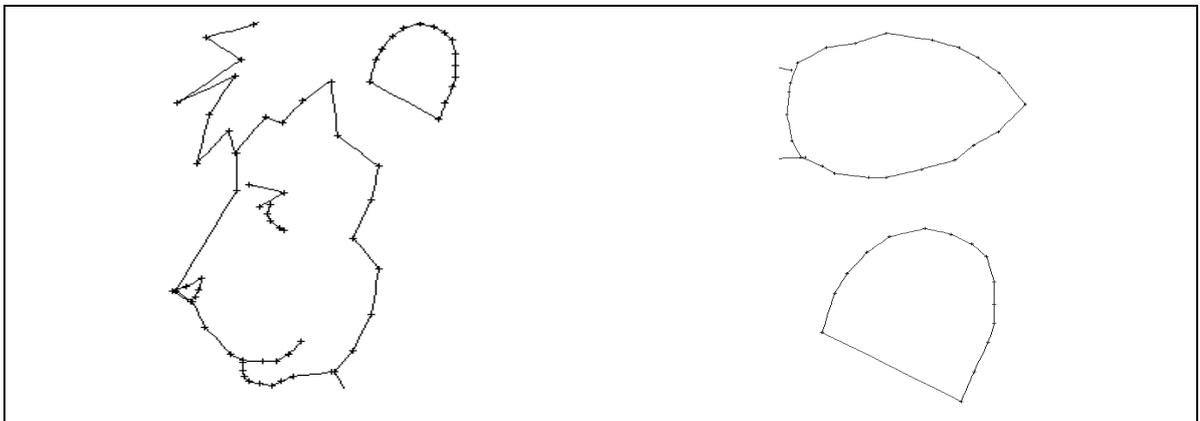


Figura 2.33 – Figura do leão em detalhes.

Há muitas formas de se obter as coordenadas de cada extremidade de cada linha, que é o que realmente interessa para a programação. O leão que está servindo de exemplo foi obtido originalmente do *clipart* da Microsoft, como mostra a **figura 2.34**, inserido no Power Point.

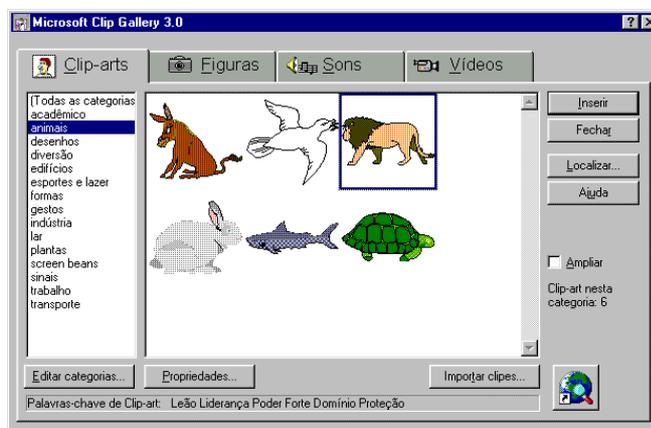


Figura 2.34 – Imagem original do leão.

Os passos utilizados foram os seguintes:

- No Power Point o desenho escolhido foi selecionado e desagrupado (a figura é, na realidade, composta de vários detalhes);
- Detalhes que serão irrelevantes para a programação, tais como sombras, foram apagados;
- Foram selecionados e copiados para a área de transferência do Windows todos os elementos da figura;
- Colou-se o conteúdo da área de transferência no Corel Draw;
- Editou-se alguns vértices da figura, apagando e/ou reposicionando para definir melhor cada elemento;
- A figura resultante foi exportada para o formato DXF (é esta a razão de ter sido utilizado o Corel Draw);
- O arquivo DXF é aberto no AutoCAD;
- Alterou-se a escala e o posicionamento da figura para que coubesse dentro de uma circunferência de 85 mm de diâmetro com centro nas coordenadas $X=0$ e $Y=0$;
- São lidas e anotadas as coordenadas de cada *end line*;
- Escreve-se o programa.

Uma observação importante deve ser feita. Este processo só foi possível devido ao fato das figuras do *clipart* serem do tipo *vetorial* e não *bitmap*. Para um processo mais simples pode-se desenhar diretamente no AutoCAD. Pode-se utilizar como referência uma imagem *bitmap*, mas deve-se desenhar sobre ela as linhas de contorno com o Corel Draw, e depois exportá-la para o formato DXF, ou utilizar diretamente o AutoCAD R13 ou superior, que permite importar uma figura BMP.

Uma tarefa interessante é substituir um conjunto de retas por arcos de circunferência quando a figura estiver no AutoCAD, diminuindo o número de linhas da figura e conseqüentemente diminuindo o tamanho do programa CNC.

Para execução de desenhos deste tipo é interessante utilizar a estrutura de programa listada na **figura 2.35**, que padroniza o faceamento da peça e o desenho da circunferência. É importante também manter comentários antes de cada trecho do programa, facilitando a alteração ou correção do programa.

```

O ____ ( _____
(Título: _____
(Programador: _____
(
G0 G17 G21 G40 G80 G90 H0 Z0 M5 M9
M6T1 (CABECOTE DE FACEAMENTO DIAMETRO 100 MM
S3500 M3 E2 X-100. Y0.
H1 D1 M8 Z0.
(FACEAMENTO DA PEÇA
G1 X0. Y0. F250
M5 M9
(
G0 H0 Z0
M6T2 (FERRAMENTA PANTOGRÁFICA
S5000 M3 E2 X-42.5 Y0.
H2 D2 M8 Z2.
(
(DESENHO DA CIRCUNFERENCIA
G1 Z-0.15 F50
G2 X-43. Y0 I43. J0 F250
G0 Z2.
(
(DESENHO DE _____
X_____ Y_____
G1 Z-0.15 F50
X_____ Y_____ F250
X_____ Y_____
.....
G0 Z2.
(
(FINALIZACAO
M5 M9
G0 H0 Z0
E0 X0 Y200
M0
M2

```

Figura 2.35 – Estrutura padrão para o programa de desenho.

Os parâmetros para o trabalho são: ferramenta T2, rotação de 5000 rpm, avanço em Z de 50 mm/min, profundidade de corte em Z de 0.15 mm, retorno em Z de 2 mm e velocidade de avanço de 250 mm/min.