

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
José Antonio Neves

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO
ELETROMECHANICO PARA TROCA AUTOMÁTICA DE
FERRAMENTAS EM CENTROS DE TORNEAMENTO CNC**

Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre pelo Curso de Engenharia Mecânica do Departamento de Mecânica da Universidade de Taubaté.
Área de Concentração: Automação Industrial e Robótica
Orientador: Prof. Dr. João Sinohara da Silva Sousa

**Taubaté – SP
2005**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

NEVES, José Antonio.

N511d Desenvolvimento de um Dispositivo Eletromecânico para Troca Automática de Ferramentas em Centros de Torneamento CNC. / José Antonio Neves. — São Paulo: UNITAU, 2005.

111fl.: il.; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – UNITAU – Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica. 2005.

Orientador: Prof. Dr. João Sinohara da Silva Sousa.

Palavra-chave: Troca Automática de Ferramentas - CNC – Automação Industrial e Robótica. I. Sousa, J. Sinohara S. II. UNITAU – Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica. III. Título.

CDD(21) - 670.428 72

JOSÉ ANTONIO NEVES

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO ELETROMECAÂNICO PARA TROCA
AUTOMÁTICA DE FERRAMENTAS EM CENTROS DE TORNEAMENTO CNC**

Dissertação apresentada para obtenção do Título de
Mestre pelo Curso de Engenharia Mecânica do
Departamento de Mecânica da Universidade de Taubaté.
Área de Concentração: Automação Industrial e Robótica

Data: _____

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. João Sinohara da Silva Sousa

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof. Dr. Luiz Octávio Mattos dos Reis

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof. Dr. Antônio Carlos de Souza

EEI – Escola de Engenharia Industrial

Assinatura _____

Dedico este trabalho

Às três mulheres que mais influenciaram minha vida:

Gracia, Lina e Danielle,

E ao homem que a norteou, com sentimentos de respeito ao próximo, humildade e dignidade:

Olimpyo (in memoriam)

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. João Sinohara da Silva Sousa, meu orientador, pela habilidade na condução deste trabalho ao longo desses anos.

Aos professores Dr. Antônio Carlos de Souza e Dr. Luiz Octávio Mattos dos Reis, membros da banca examinadora, pelas suas observações e sugestões, as quais vieram a consolidar e enriquecer a conclusão deste trabalho.

A todos os colegas de mestrado que, no decorrer dos anos de 2004 e 2005, demonstraram que sentimentos altruístas sempre trazem resultados surpreendentes, transformando nossa empreitada em uma tarefa alegre e gratificante.

A Universidade de Taubaté (UNITAU) através de todos os professores, mestres e doutores do Programa de Mestrado em Engenharia Mecânica, que com paciência e dedicação nos possibilitaram novos conhecimentos.

Ao professor Dr. Garabed Kenchian, pela realização do convênio UNITAU-CEFETSP.

Ao engenheiro eletrônico Fabio Silveira Beneti e a professora Vera Lúcia Guimarães Silveira Beneti, pelo apoio técnico nos assuntos de eletrônica que se fizeram necessários.

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo (CEFETSP) e a Escola Técnica Estadual Jorge Street, que possibilitaram o desenvolvimento do trabalho cedendo materiais e laboratórios.

A todos alunos, professores e funcionários do CEFETSP e da ETE Jorge Street pela colaboração e incentivo constantes.

“Sem o devido polimento, até mesmo uma pedra preciosa admirada por todos, não passa de um simples cascalho.”

Mokiti Okada

RESUMO

O trabalho aqui apresentado teve como objetivo o desenvolvimento e implementação de um dispositivo eletromecânico para a troca automática de ferramentas em um centro de torneamento Controlado Numericamente por Computador (CNC), totalmente independente do seu controle eletrônico. Foi projetado, fabricado e testado um protótipo visando a obtenção de uma versão financeiramente mais acessível que a fornecida como opcional pelo fabricante e que não necessitasse de alterações em partes mecânicas ou eletrônicas da máquina em estudo.

Na máquina escolhida para a implantação deste dispositivo a troca das ferramentas é feita manualmente, dependendo da necessidade da peça a ser executada. Esse procedimento se torna cansativo, perigoso, não condizente com uma máquina CNC e impede que esta possa pertencer a um sistema integrado com outras máquinas controladas numericamente.

Foram estudados e comparados motores, microcontroladores e sistemas de transmissão com o objetivo de encontrar o melhor desempenho ao menor custo possível para todo o conjunto, obtendo-se um sistema de troca automática de ferramentas que atendesse totalmente as expectativas e necessidades de operação do torno escolhido.

Palavras-chave: Troca Automática de Ferramentas. CNC.

ABSTRACT

The presented work has the purpose of developing and implementing an electromechanical device for automatic tool change in a Computer Numerical Control (CNC) turning machining center, completely free of its electronic control. A prototype was designed, built and tested aiming at the attainment of a cheaper version than the one supplied by the manufacturer as optional, without the need of alterations in mechanical or electronic machine parts.

In the machine chosen the tool change is made manually, depending on the needs of the part to be executed. This procedure becomes tiring, dangerous, unsatisfactory to a CNC machine and avoids that it can belong to a system integrated with other machines.

It has been studied and compared motor drivers, microcontrollers and transmission systems to find the best performance at the less possible cost to the set, getting an automatic tool change system at total attendance to the expectations and needs of the chosen lathe operation.

Key Words: Automatic Tool Change. CNC.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	- Esquema de algumas operações de conformação e usinagem	19
Figura 2.2	- O torno rudimentar e o princípio do torneamento	20
Figura 2.3	- O torno utilizado em peças de cerâmica	22
Figura 2.4	- As principais operações do processo de torneamento	22
Figura 2.5	- Os movimentos de corte do torneamento	23
Figura 2.6	- O torno universal	24
Figura 2.7	- Etapas do desenvolvimento da Automação	28
Figura 2.8	- O microprocessador e o microcontrolador	35
Figura 2.9	- Circuito eletrônico de uma máquina CNC	36
Figura 2.10	- Microchaves para detectores fim de curso	38
Figura 2.11	- O detector ultra-sônico de proximidade	38
Figura 2.12	- Sensores de luz	40
Figura 2.13	- Tipos de motores elétricos	43
Figura 2.14	- Esquema de funcionamento de um motor elétrico	43
Figura 2.15	- Esquema do comutador	46
Figura 2.16	- Motores de passo	47
Figura 2.17	- Esquema de funcionamento do motor de passo	48
Figura 2.18	- Tipos de sistemas de transmissão	50
Figura 2.19	- Sistema redutor de velocidade	50
Figura 2.20	- Engrenagem fixada ao eixo com chaveta	51
Figura 2.21	- Sistema de transmissão por polias e correia	51
Figura 2.22	- Movimento da mesa em máquinas convencionais	54
Figura 2.23	- Movimento da mesa em máquinas CNC	55
Figura 2.24	- Fuso principal com esferas recirculantes	56
Figura 2.25	- Sistema de controle de malha aberta	59
Figura 2.26	- Sistema de controle de malha fechada	60
Figura 2.27	- Trocadores tipo magazine e tipo torre	61
Figura 2.28	- Exemplo de uma folha de processo	62
Figura 2.29	- Eixos coordenados dos tornos CNC	63
Figura 2.30	- Detalhes do eixo árvore principal	64
Figura 2.31	- Exemplo de peça torneada no CNC e sistemas de coordenadas ...	65

Figura 2.32	- Valores recomendados de velocidade de corte	67
Figura 2.33	- Pannel de comando com a tela gráfica de simulação	72
Figura 3.1	- Esquema de funcionamento do projeto inicial	77
Figura 3.2	- Peças fabricadas no torno CNC do CEFETSP	78
Figura 4.1	- Componentes da torre para cálculo dos momentos de inércia	82
Figura 4.2	- Torneamento do eixo e furação do disco porta ferramentas	96
Figura 4.3	- Fresamento dos canais do disco no centro de usinagem CNC	96
Figura 4.4	- Fresamento dos dentes das engrenagens	97
Figura 4.5	- Montagem dos mancais e do eixo central	98
Figura 4.6	- Montagem do disco, das engrenagens, dos suportes e do motor ..	98
Figura 4.7	- Detalhes dos componentes eletrônicos.....	99
Figura 4.8	- Montagem dos componentes eletrônicos	99
Figura 4.9	- Montagem da tampa e do teclado de operação	100
Figura 4.10	- Detalhes do teclado de operação	100
Figura 5.1	- Detalhe do teclado de operação mostrando a chave de seleção	101
Figura 5.2	- Detalhe dos sensores de posição do carro transversal	102
Figura 5.3	- Detalhe do disco perfurado e dos emissores/receptores de luz	103
Figura 5.4	- Detalhe do pino de trava, chave fim de curso e mola	103
Figura 5.5	- Pannel de comando do torno	104
Figura 5.6	- Diagrama de blocos	104
Figura 5.7	- Fluxograma do funcionamento	105
Figura 6.1	- Testes finais do sistema de troca automática de ferramentas	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	- Resumo da estrutura do programa CNC	72
Tabela 2.2	- Principais funções preparatórias (códigos “G”)	73
Tabela 2.3	- Principais funções miscelâneas (códigos “M”)	73
Tabela 4.1	- Massa unitária para cálculo dos momentos de inércia	84
Tabela 4.2	- Características dos motores com redução	86
Tabela 4.3	- Características geométricas do par de engrenagens	92

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2.1	- Velocidade tangencial	52
Equação 2.2	- Relação de transmissão	52
Equação 2.3	- Rotação em função da velocidade de corte	66
Equação 4.1	- Momento de inércia	82
Equação 4.2	- Aceleração angular do motor	83
Equação 4.3	- Torque do motor	83
Equação 4.4	- Torque no pinhão	87
Equação 4.5	- Potência do motor elétrico.....	87
Equação 4.6	- Pressão admissível	88
Equação 4.7	- Fator de durabilidade	88
Equação 4.8	- Volume mínimo do pinhão	89
Equação 4.9	- Relação entre a largura e o primitivo do pinhão.....	89
Equação 4.10	- Módulo de engrenamento	89
Equação 4.11	- Diâmetro primitivo do pinhão	90
Equação 4.12	- Largura do pinhão	90
Equação 4.13	- Força tangencial	90
Equação 4.14	- Tensão máxima atuante no	

SUMÁRIO

Resumo	vi
Abstract	vii
Lista de figuras	viii
Lista de tabelas	x
Lista de equações	xi

CAPÍTULO 1

Introdução	14
------------------	----

CAPÍTULO 2

Revisão da Literatura

2.1 As máquinas ferramenta e os processos de fabricação	17
2.2 O controle numérico	25
2.3 A automação	27
2.4 Os computadores e os microcontroladores	33
2.5 Os transdutores e sensores	37
2.6 Os motores elétricos	41
2.7 Os sistemas de transmissão	50
2.8 As máquinas CNC	53
2.8.1 Máquinas convencionais e máquinas CNC	54
2.8.2 Componentes das máquinas CNC	56
Computadores utilizados nas máquinas CNC	57
Motores de acionamento	58
Sistemas de controle	59
Trocadores de ferramentas	61
2.8.3 Introdução à programação CNC	62
Sistemas de coordenadas	65
Informações tecnológicas para programação CNC	66
Elaboração do programa	68
2.8.4 Aplicações, vantagens, desvantagens e limitações das máquinas CNC	75

CAPÍTULO 3

Proposição	77
------------------	----

CAPÍTULO 4

Material e Método	
4.1 Procedimentos iniciais	80
4.2 Definição do motor elétrico	81
4.3 Dimensionamento das engrenagens	86
4.4 Definições preliminares para o projeto	92
4.5 Definições dos componentes mecânicos e eletroeletrônicos.....	94
4.6 Fabricação dos componentes mecânicos	96
4.7 Montagem dos componentes mecânicos e do motor	98
4.8 Montagem dos componentes eletrônicos e testes finais	99

CAPÍTULO 5

Operação e funcionamento do sistema.....	101
------------------------------------------	-----

CAPÍTULO 6

Conclusões	106
Sugestões para trabalhos futuros	108

Referências	109
-------------------	-----

Autorização para Reprodução	111
-----------------------------------	-----

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

As máquinas CNC – Controle Numérico Computadorizado – têm sido amplamente empregadas em processos de fabricação automatizados, desde a produção de pequenos lotes ou peças complexas até centros de Manufatura Integrada por Computador (CIM), onde a flexibilidade, precisão, repetibilidade e qualidade são os objetivos principais.

Com aparecimento das máquinas a Controle Numérico (CN) na década de 1940 e seu contínuo desenvolvimento, várias modificações, dispositivos, circuitos eletrônicos e outros acessórios foram sendo incorporados e aperfeiçoados visando torná-las cada vez mais “independentes” do homem.

Uma máquina ferramenta bastante empregada na fabricação de peças rotacionais como eixos, polias e parafusos, é o “torno mecânico”. O material a ser trabalhado é fixado em um dispositivo denominado “placa” que gira acionada por um motor elétrico. Uma ferramenta fabricada com um material mais resistente é fixada a um suporte que se desloca transversal e longitudinalmente ao eixo de rotação da peça, retirando assim o material desta até que as dimensões finais sejam alcançadas.

Na evolução das máquinas ferramenta procurou-se sempre soluções que permitissem aumentar a produtividade com melhor qualidade e menor desgaste físico para o homem na sua operação. Desde as primeiras máquinas ferramenta uma das preocupações tem sido diminuir as paradas e os tempos de preparação (“*setup*”) de forma a otimizar os tempos de produção.

Uma das principais evoluções neste sentido foi a introdução da “troca automática de ferramentas” que veio reduzir drasticamente o tempo de “*setup*”. Ao longo dos anos têm

aparecido vários dispositivos de troca automática de ferramentas, sendo o sistema “torre” utilizado principalmente em centros de torneamento.

Com a introdução de conceitos como Centros de Manufatura Integrada por Computador (CIM) e de Sistemas Flexíveis de Produção (FMS) veio se acentuar a necessidade de uma forte automatização e integração entre os recursos disponíveis nas máquinas. Os equipamentos utilizados nestes tipos de sistemas são caracterizados por uma grande autonomia em relação ao homem, devido ser essencial a utilização de processos automáticos de carga e descarga de peças e ferramentas.

Nos Centros de Torneamento CNC um dispositivo (“torre”) com várias ferramentas, possui a posição destas controladas por um computador e seus periféricos. O operador verifica em qual posição da torre estão fixadas as ferramentas necessárias e registra no “programa” seus códigos correspondentes, o qual vai gerar toda a geometria da peça a ser fabricada. O “programa” nada mais é que uma sequência lógica de instruções digitadas diretamente no computador do torno CNC, ou gravada anteriormente e inserida na sua memória, para que a máquina faça os movimentos necessários da peça e da ferramenta através de motores e de diversos periféricos.

Uma dessas máquinas é a que foi instalada no Laboratório de Máquinas Industriais CNC do CEFETSP (Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo) sendo utilizada nos cursos Técnicos e Tecnológicos de Automação e Processos de Produção: um torno do fabricante ROMI, modelo Multiplic 30S, Comando Ezpath DX32, adquirido sem a torre de troca automática de ferramentas.

Nesta máquina a troca das ferramentas é feita manualmente, dependendo da necessidade da peça a ser executada. Esse procedimento se torna cansativo, perigoso, não condizente com uma máquina CNC, impedindo que esta possa pertencer a um sistema integrado com outras máquinas controladas numericamente.

O trabalho aqui apresentado teve por objetivo o desenvolvimento, a fabricação e a implementação de um dispositivo de troca automática de ferramentas para este torno CNC, totalmente independente do seu controle eletrônico e sem a necessidade de alterações nos componentes mecânicos ou eletrônicos da máquina.

Para o desenvolvimento desse trabalho foram estudados os atuais sistemas de troca automática das máquinas CNC e fabricado um dispositivo com componentes mecânicos e eletrônicos que pudesse ser alimentado por uma simples tomada elétrica. Ele funciona com sensores, um microcontrolador e um motor elétrico ativados pelo movimento do carro transversal do torno, proporcionando assim uma troca automática a um baixo custo e mais simples que a fornecida pelo fabricante da máquina.

Foram estudados e comparados motores, microcontroladores e sistemas de transmissão com o objetivo de encontrar o melhor desempenho com o menor custo possível para todo o conjunto. Através desse trabalho a troca manual de ferramentas foi totalmente eliminada, o que proporcionou a diminuição da probabilidade de riscos de acidentes e um maior conforto ao operador do torno CNC, obtendo-se uma troca automática de ferramentas que atendeu totalmente as expectativas e necessidades de operação do torno escolhido.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 AS MÁQUINAS FERRAMENTA E OS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

Guibert (1997) descreve que durante milhares de anos a ferramenta foi o prolongamento da mão do homem que, usando pedra como o principal material, desenvolveu e fabricou facas, serras, raspadores, martelos, agulhas, lanças, arpões e outras ferramentas.

Aos poucos, o homem foi percebendo que não precisava caçar, colher e pescar sempre que sentia fome. O alimento podia ser plantado, colhido e guardado e as ferramentas de trabalho e os instrumentos de defesa podiam estar ao seu lado, prontos para quando ele necessitasse.

A adoção da agricultura e a domesticação de animais como formas de garantir a sobrevivência, obrigou o homem a desenvolver outras ferramentas especiais, como a enxada, o arado, a foice e consolidou a posição do artesão na comunidade primitiva. Foi o desenvolvimento da cerâmica que abriu ao homem as portas para o definitivo salto tecnológico: o processamento dos metais.

E por volta de 4.000 a.C., começando pelo cobre, depois o bronze e finalmente o ferro, o homem foi vagarosamente dominando a tecnologia de utilização dos materiais metálicos. Essas atividades especializadas fizeram surgir uma classe de profissionais que não mais se dedicavam diretamente às tarefas ligadas ao fornecimento de meios de subsistência, ou seja, a agricultura e o pastoreio. Eles tinham que ser sustentados por outros para poder ter tempo de produzir os instrumentos necessários a todas as atividades do grupo social ao qual pertenciam.

A localização das matérias-primas, em diferentes regiões, integrou definitivamente a roda e o comércio à vida do homem. Para tornar sua produção cada vez maior, o homem começou a criar instrumentos capazes de repetir mecanicamente os movimentos que ele idealizou para obter as formas que queria. Surgiram, assim, os protótipos das máquinas ferramenta.

Romano & Dutra (2002) comentam que desde os primórdios de sua origem, o ser humano sempre utilizou ferramentas e utensílios que o auxiliaram na realização de diversas atividades cotidianas relacionadas às suas necessidades de sobrevivência.

Para a civilização ocidental, o conceito de evolução humana está diretamente associado ao grau de desenvolvimento tecnológico adquirido ao longo do tempo através do aperfeiçoamento desses objetos. Portanto, a motivação de se criarem máquinas que possam substituir o homem na realização de tarefas é uma característica da própria cultura ocidental.

A primeira referência explícita a esse conceito foi escrita por Aristóteles (séc. IV a.C.): "se os instrumentos pudessem realizar suas próprias tarefas, obedecendo ou antecipando o desejo de pessoas...".

Ao longo dos séculos, diversas invenções propiciaram a necessária bagagem tecnológica para a gradual substituição do homem pela máquina; porém, somente quando ocorre, de forma sistemática, a aplicação da ciência à indústria é que houve uma concreta alteração do cenário, resultando na sociedade industrial. Já no fim do século XVI, Francis Bacon preconizava a idéia "de que o saber devesse produzir seus frutos na prática, de que a ciência devesse ser aplicável à indústria, de que os homens tivessem o dever sagrado de se organizarem para melhorar e transformar as condições de vida".

Em seu trabalho, Souza (2001) relata o acontecimento de três revoluções industriais. Começando com o advento das máquinas ferramenta, a criação de fábricas e o movimento das pessoas da área rural para as fábricas nas cidades. A segunda revolução industrial, do início

do Século XX, com o advento das linhas de montagens e do conceito de produção em massa de Ford. Por fim, a terceira revolução industrial, no final do milênio, envolvendo o uso do computador para o controle, tanto do processo como do sistema como um todo, incluindo o sistema de informação.

Conforme Ferraresi (1977) no estudo das operações dos metais, distinguem-se duas grandes classes de trabalho exemplificadas na Figura 2.1: as operações de conformação e as operações de usinagem.

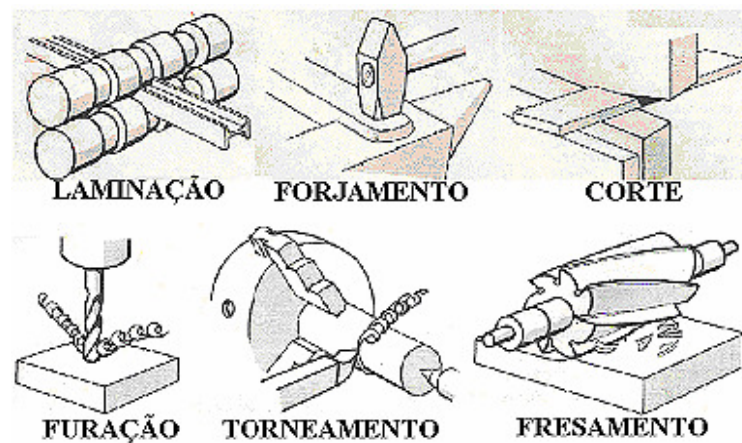


Figura 2.1 – Esquema de algumas operações de conformação e usinagem

Operações de conformação são aquelas que visam conferir à peça a forma, ou as dimensões, ou o acabamento específico, através da deformação plástica do metal como a laminação e o forjamento. Na laminação, o material é forçado a passar entre dois cilindros que, ao girarem, vão progressivamente diminuindo sua espessura. Através desse processo podem ser obtidos perfis e chapas metálicas utilizadas nas indústrias para a fabricação de bens de consumo como, por exemplo, automóveis, geladeiras e painéis. No processo de forjamento, o material aquecido é prensado entre duas ferramentas que irão determinar o formato da peça final. São obtidas peças como engrenagens, eixos para motores de automóveis e parafusos.

Operações de usinagem são aquelas que produzem cavaco ao conferir à peça a forma, ou as dimensões ou o acabamento. Exemplos de operações de usinagem: o torneamento, a furação e o fresamento. Define-se cavaco a porção de material da peça retirada pela ferramenta, caracterizando-se por apresentar forma geométrica irregular.

Marcondes (1990) cita a existência de um dispositivo primitivo de usinagem, constituído essencialmente de uma mesa plana, talvez o próprio solo desempenado, onde eram cravados firmemente um mourão de sustentação e duas estacas de guia conforme Figura 2.2.

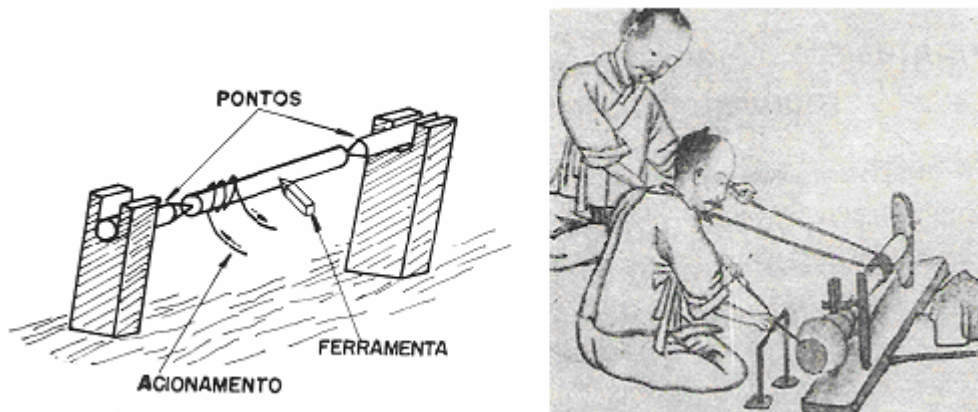


Figura 2.2 - O torno rudimentar e o princípio do torneamento

Quando nos deparamos com os sofisticados recursos da tecnologia contemporânea, torna-se difícil imaginar aquele instrumento: uma simples pedra a roçar a peça trabalhada, apoiada sobre o solo. Este momento, no entanto, constitui-se na primeira grande revolução industrial da humanidade, o qual trouxe consigo mudanças radicais no comportamento do homem. Ele deixa de ser animal predador e passa à agricultura e à domesticação; deixa de ser nômade e torna-se sedentário.

Weck (1984) comenta que os poucos dispositivos conhecidos que tiveram alguma similaridade com as máquinas ferramenta datam da Idade Média. Um torno acionado com

pedal usado no século XIV, por exemplo, era construído de uma base de madeira que suportava dois centros ajustáveis onde era fixada a peça de trabalho. O movimento principal era obtido através de um pedal e transmitido por meio de uma corda envolvida no eixo de rotação, sendo o movimento da ferramenta feito manualmente. Somente ao final do século XVIII foi possível a fabricação de máquinas movidas com motores a vapor. Entretanto, inicialmente, a ferramenta ainda necessitava ser guiada manualmente. Em 1830, Maudslay construiu um torno na Inglaterra que possuía um avanço longitudinal automático. Esse fato representou o primeiro estágio da mecanização e forneceu simultaneamente a base fundamental para a automação.

Chang, Wysk & Wang (1998) relatam que quando pesquisada a história do desenvolvimento das máquinas ferramentas, encontram-se evidências de alguns tipos de torneamento perto de 700 a.C. Entretanto, até o século XV não se tem informações da usinagem de materiais metálicos. A industrialização desse século introduziu a demanda na produção de máquinas ferramenta. As indústrias de máquinas foram estabelecidas para criar mais máquinas. Entretanto, haviam poucas mudanças no princípio e no mecanismo das máquinas ferramenta e nas ferramentas de corte usadas. Nesse mesmo século, F. W. Taylor inventou um novo metal para ferramentas: o aço rápido.

Singh (1996) comenta que a operação de corte em metais (também chamada usinagem) é um dos mais importantes processos de fabricação da indústria atual. Utilizado após os processos primários de fabricação, como o forjamento e a laminação, ele é usado como operação de acabamento devido à possibilidade de obtenção de medidas muito precisas e um bom acabamento superficial. O torneamento é o mais comum e versátil processo de usinagem para a produção de peças cilíndricas, cônicas ou superfícies irregulares internas ou externas de uma peça rotacional. Ele se baseia em um princípio de fabricação usado pelo

homem desde a mais remota Antigüidade, sendo utilizado para a fabricação de vasilhas de cerâmica, como visto na Figura 2.3.



Figura 2.3 - O torno utilizado em peças de cerâmica

Guibert (1997) relata que apesar de o torneamento ser muito antigo, pode-se dizer que ele só foi efetivamente usado para o trabalho de metais no começo do século XX. A partir de então, tornou-se um dos processos mais completos de fabricação, uma vez que viabiliza a maioria dos perfis cilíndricos e cônicos, como se observa na Figura 2.4, necessários aos produtos da indústria mecânica.

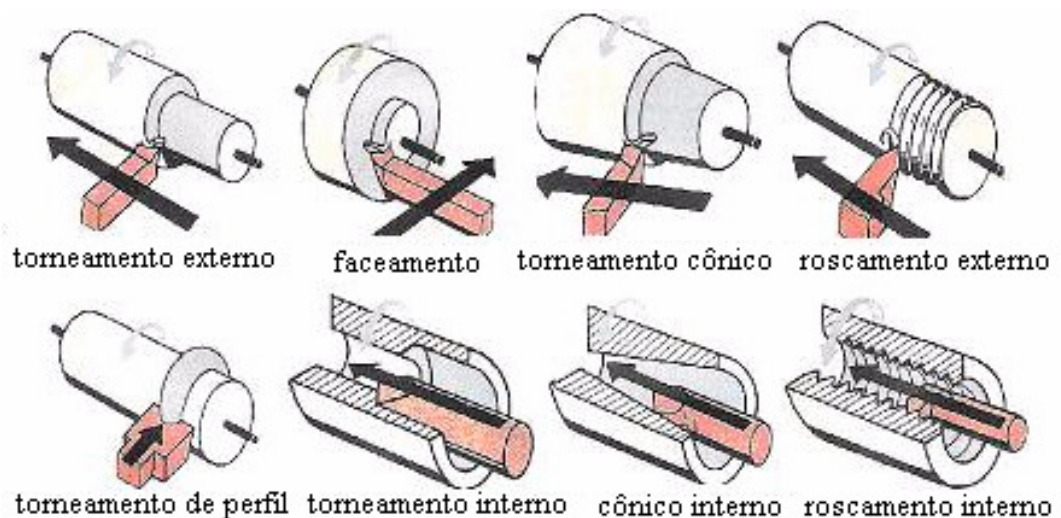


Figura 2.4 - As principais operações do processo de torneamento

O torneamento é uma operação de usinagem que permite trabalhar peças cilíndricas e se baseia no movimento de rotação uniforme da peça em volta do seu próprio eixo. É realizado, como todos os demais trabalhos executados com máquinas ferramenta, mediante a retirada progressiva do cavaco da peça a ser trabalhada. O cavaco é cortado por uma ferramenta de um só gume cortante, que deve ter uma dureza superior à do material a ser cortado.

No torneamento, a ferramenta penetra na peça, cujo movimento rotativo uniforme ao redor do eixo permite o corte contínuo e regular do material. A força necessária para retirar o cavaco é feita sobre a peça, enquanto a ferramenta, firmemente presa ao porta ferramenta, contrabalança a reação desta força.

Conforme Ferraresi (1977) para executar o torneamento, são necessários três movimentos relativos entre a peça e a ferramenta, vistos na Figura 2.5:

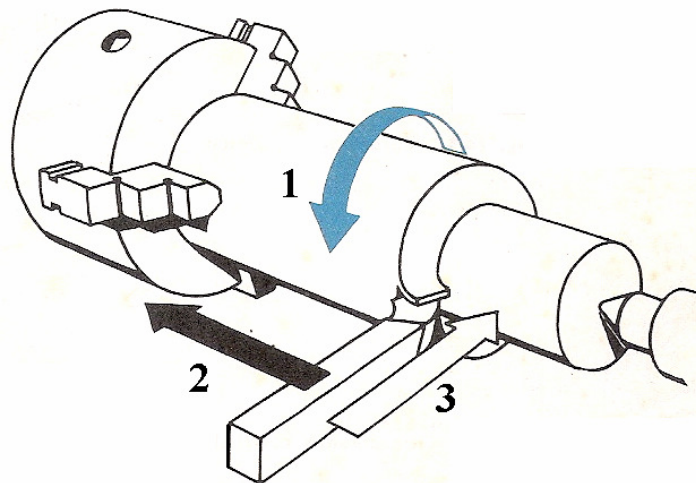


Figura 2.5 – Os movimentos de corte do torneamento

1 - Movimento de corte: é o movimento principal que permite cortar o material. O movimento é rotativo e realizado pela peça.

2 - Movimento de avanço: é o movimento que desloca a ferramenta ao longo da superfície da peça.

3 - Movimento de penetração: é o movimento que determina a profundidade de corte ao empurrar a ferramenta em direção ao interior da peça e assim regular a profundidade do passe e a espessura do cavaco.

Variando os movimentos, a posição e o formato da ferramenta, é possível realizar uma grande variedade de operações.

O torno mais simples que existe é o torno universal. Estudando seu funcionamento, é possível entender todos os outros tornos, por mais sofisticados que sejam. Esse torno possui eixo principal e barramento horizontais, vistos na Figura 2.6, e tem a capacidade de realizar todas as operações citadas.

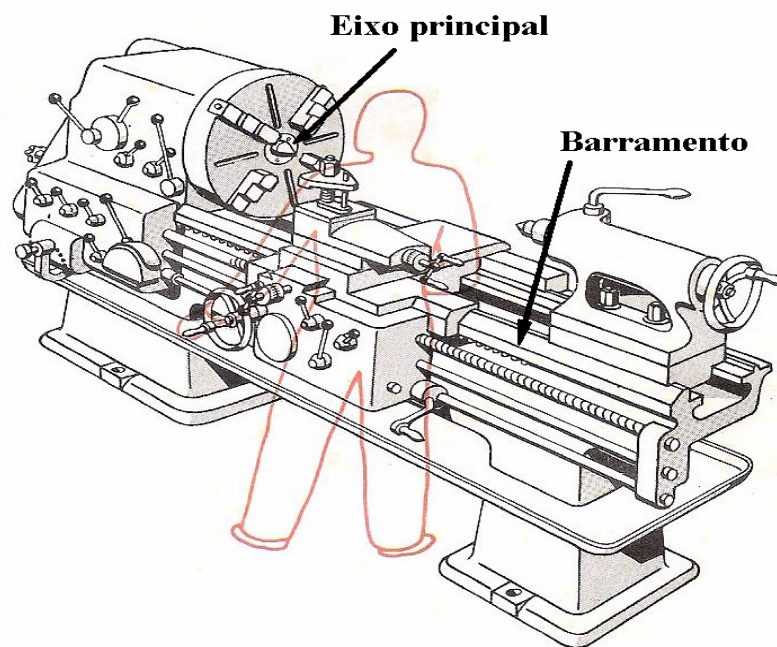


Figura 2.6 - O torno universal

2.2 O CONTROLE NUMÉRICO

Barron (1971) comenta que para tentar entender o que está acontecendo hoje é necessário voltar ao tempo para descobrir o início dos conceitos de numeração e computação. Cita a Idade da Pedra e imagina como era a comunicação do homem das cavernas. Supõe que estes já utilizavam grunhidos e punhos cerrados para mostrar aos companheiros do grupo quantos animais poderiam ser abatidos ou quantos eram os inimigos da outra tribo que teriam que enfrentar. Enfim, com estes gestos, o homem das cavernas iniciou o estágio de uma longa jornada em direção aos números e a computação. E isso aconteceu a dez mil anos atrás!

Com o passar do tempo e o aperfeiçoamento dos sistemas de contagem, a evolução lógica para o eficiente e pequeno computador chamado “*abacus*” pôde ser observada. Após essas observações o autor faz uma pausa e questiona: “essas informações realmente têm alguma relação com o Controle Numérico?”. Em seguida afirma: “Tenho certeza que sim, porque Controle Numérico é *fabricação através de números*”.

Conforme Amic (1997) Controle Numérico (CN) é qualquer processo de fabricação no qual a operação é executada automaticamente numa seqüência especificada por um programa que contém as informações para os movimentos da ferramenta. O conceito de CN foi proposto no início dos anos quarenta por John Parsons na cidade de Traverse City, Michigan, EUA. Em 1949 a Força Aérea americana propôs um contrato a Parsons para que este desenvolvesse um novo tipo de máquina que pudesse acelerar os métodos de produção da época.

Parsons contatou o Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) para desenvolver implementações práticas do seu conceito. Cientistas e engenheiros do MIT construíram um sistema de controle para uma máquina de dois eixos que usava um cartão perfurado para a introdução de dados. Em um curto período de tempo, todos os maiores fabricantes de máquinas ferramenta estavam produzindo algumas máquinas com CN.

O Controle Numérico foi amadurecendo como uma nova tecnologia de automação quando os poderosos e baratos microprocessadores começaram a fazer parte dos computadores. Nas primeiras máquinas com Controle Numérico, os dados numéricos eram controlados por cartões perfurados, fitas perfuradas ou fitas cassetes, e por causa disto, os sistemas CN eram conhecidos como “máquinas controladas por fitas”. Elas podiam controlar apenas operações simples introduzidas na máquina por essas fitas ou cartões. Não era possível editar o programa na máquina. Para modificar o programa era necessário fabricar um novo cartão ou uma nova fita.

Os sistemas atuais possuem computadores para controle dos dados e são chamados máquinas de Controle Numérico Computadorizado (CNC). Quando o programador digita alguma informação no programa, o computador calcula todos os dados necessários para que o trabalho seja executado. O princípio de trabalho para CN e CNC é o mesmo, apenas diferenciando na maneira de como a execução do processo é controlada. Normalmente os novos sistemas são mais rápidos, mais potentes e mais versáteis.

Chang, Wysk & Wang (1998) enfatizam que já se passaram mais de quarenta anos desde que a primeira máquina ferramenta controlada numericamente foi demonstrada. A invenção das máquinas ferramenta CN foi até hoje a maior evolução tecnológica dos processos de fabricação. O Controle Numérico é a base para muitas tecnologias modernas de manufatura, como Robótica, Células Flexíveis de Manufatura (FMC), Sistemas Flexíveis de Manufatura (FMS), Desenho e Manufatura Auxiliada por Computador (CAD/CAM) e Manufatura Integrada por Computador (CIM).

2.3 A AUTOMAÇÃO

Weck (1984) descreve que o termo “automação” é aplicado a tudo que é feito para que parte ou todo um processo seja realizado de acordo com um programa previamente ajustado, sem a intervenção da atividade humana para seu controle. A mecanização do processo e a aplicação da tecnologia de controle são condições fundamentais para que a automação seja conseguida. A mecanização substitui o trabalho de seres humanos por dispositivos e movimentos motorizados. A tecnologia de controle libera o homem de monótonas atividades cerebrais fazendo o armazenamento, o processamento e a transmissão lógica da sequência de informações. Uma máquina é considerada automática quando sozinha seja capaz de executar repetidamente determinadas tarefas predeterminadas, depois de realizada sua alimentação com a matéria prima apropriada e os procedimentos de ajuste ou de programação.

Romano & Dutra (2002) comentam que a partir da máquina a vapor desenvolvida por James Watt, em 1769, houve um acentuado progresso em termos de automação dos processos produtivos. A produção industrial em larga escala e os meios de transporte revolucionaram social e economicamente as relações humanas. Até meados do século XX, o processo de produção se baseou no emprego de máquinas projetadas especificamente para a fabricação em série de produtos de uma mesma característica visando uma elevada produtividade, volume e qualidade. Esse modelo é denominado *Automação Rígida* e foi bastante difundido pelo empresário Henry Ford no início do século XX.

O avanço tecnológico das últimas décadas teve reflexo direto na organização das indústrias, as quais buscam minimizar seus custos através da adoção de diversos modelos de produção.

Weck (1984) relata ainda que a transição da mecanização para a automação continuou durante os últimos cento e cinquenta anos, paralelamente ao desenvolvimento industrial. A

tecnologia de controle era apenas dispositivos puramente mecânicos tais como eixos excêntricos, alavancas e dispositivos de fixação com controles hidráulicos, elétricos, eletro hidráulicos e copiadores ligados a unidades de controle eletrônico. O desenvolvimento da automação dos processos de produção na última década foi uma consequência direta do grande aumento do desempenho de componentes eletrônicos.

Enquanto estes desenvolvimentos prosseguem, a contribuição humana ao processo de produção está mudando de não atrativa, monótona e cansativa para funções criativas de planejamento, construção e supervisão. A Figura 2.7 mostra, em termos gerais, as etapas do desenvolvimento da automação usando-se um torno como exemplo.

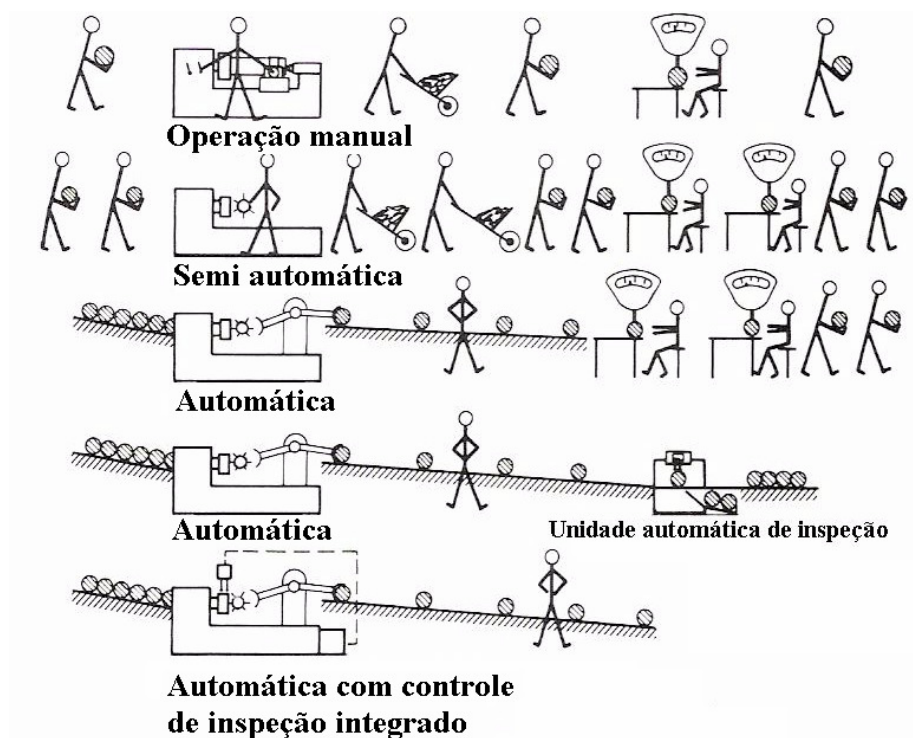


Figura 2.7 - Etapas do desenvolvimento da Automação

No primeiro estágio todos os controles e funções auxiliares, tais como operar a máquina, carregar a peça e fazer a inspeção, são feitos manualmente. No segundo estágio a

máquina semi-automática dispensa o operador, mas há um maior trabalho manual para a alimentação e a inspeção devido à quantidade produzida. Isto é seguido pelo terceiro estágio onde o processo e a alimentação são automatizados inteiramente. Enquanto o processo de inspeção aqui é realizado ainda pelo homem, no quarto estágio esta mesma função é feita por uma unidade automática de inspeção. A intervenção do operador é agora somente necessária quando a unidade automática de inspeção indica que o torno requer algum ajuste.

Finalmente, no quinto estágio, é obtido um processo de produção inteiramente automático. Com um sistema de medição incorporado à máquina é possível uma correção automática do ajuste da ferramenta. Somente no caso de uma avaria há necessidade da intervenção humana.

Weck (1984) também comenta que o começo da automação surgiu no início da industrialização, principalmente pela demanda do aumento da produtividade, isto é, a fabricação mais rápida e mais fácil de peças em quantidades cada vez maiores.

Hoje, além de fatores econômicos, a necessidade de racionalização é uma das principais preocupações. As razões para esta exigência nas últimas décadas são encontradas nos crescentes custos de produção devido a salários mais elevados e semanas trabalhadas mais curtas, bem como a falta crescente de pessoal habilitado. O aspecto de humanização do trabalho, que foi até recentemente negligenciado, está ficando cada vez mais importante porque o homem se torna mais consciente dos fatores ambientais.

O desenvolvimento de dispositivos de movimentação e de robôs industriais programáveis para a manipulação automática de peças e de ferramentas é direcionado para essa finalidade. Um outro fator importante é o de proporcionar às pessoas o interesse e o aumento da satisfação em seu ambiente de trabalho.

Rehg (1997) relata que a introdução de novas tecnologias em países industrializados causa mudanças na estrutura social em qualquer nação do mundo. A natureza e o grau dessas

mudanças são proporcionais aos efeitos que uma nova tecnologia tem na produção de bens e de serviços. A tecnologia na agricultura, por exemplo, causou a redução de pessoas que nela trabalhavam de 80% da população mundial em 1890 para 3% em 1983. Embora houvesse uma redução no número dos fazendeiros, ocorreu um aumento no número de outros trabalhos necessários para suportar a utilização de equipamentos mecanizados. E finalmente conclui que hoje a aplicação da informática e da automação fazem a agricultura crescer mais rapidamente do que qualquer outra área.

Chang, Wysk & Wang (1998) comentam que a riqueza de uma nação depende de sua habilidade em recuperar recursos naturais e de manufaturar bens. Embora a eficiência dos sistemas de distribuição e dos sistemas de serviços sejam também importantes, a criação de bens é o componente fundamental da riqueza econômica. Naturalmente o assunto não é assim tão simples, porque a distribuição desigual da riqueza ocorre em toda parte.

Da história observa-se que a humanidade obteve uma melhoria no padrão de vida com o tempo. A primeira melhoria ocorreu durante a Idade da Pedra, quando os seres humanos aprenderam como usar ferramentas manuais. Realmente, a habilidade de usar ferramentas distingue os seres humanos de outros animais. As ferramentas permitiram ao homem fazer coisas simples em vez de esperar que a natureza as fornecesse.

Outra principal melhoria não demorou muito a chegar: A Revolução Industrial trouxe um outro salto no padrão de vida com o desenvolvimento das máquinas ferramenta, as quais adicionaram poder e precisão aos seres humanos. Com as máquinas ferramenta eles puderam produzir bens mais rápida e precisamente. A produtividade humana aumentou drasticamente, os bens industriais substituíram os produtos fabricados artesanalmente, ficando mais baratos e com maior qualidade.

Souza (2001) relata que o sistema *Toyota* de produção nasceu da necessidade das empresas japonesas manterem-se vivas no mercado de automóveis. A idéia inicial de *Taiichi*

Ohno, presidente da *Toyota Motor Company*, era ultrapassar a indústria americana em três anos, ou a indústria japonesa não sobreviveria. Ele sabia que o trabalhador americano produzia nove vezes mais que o trabalhador japonês. Assim, os japoneses focalizaram os métodos americanos de produção em massa. Contudo, isto não seria possível de se aplicar no Japão, pois a demanda era pequena e os altos tempos de preparação das máquinas (“*setup*”) inviabilizariam a produção. O sistema foi desenvolvido baseado na eliminação absoluta do desperdício, tendo em vista a capacidade da *Toyota* de competir em um ambiente turbulento de demandas diferenciadas e com crescimento lento. Sua base era sustentada por dois pilares: *Just In Time* (produzir na quantidade certa, no momento certo, na quantidade de produto e tempo requeridos e na qualidade desejada pelo cliente) e Automação.

Singh (1996) descreve o sistema *Toyota* de produção como um sistema de fluxo de produção e de controle de inventário. Seus objetivos eram a redução de custos eliminando todos os tipos do desperdício, a garantia da qualidade dos produtos, a criação de ambientes de trabalho que pudessem responder rapidamente a mudanças, a organização de ambientes baseados na dignidade humana, na confiança e ajuda mútua, permitindo que os trabalhadores desenvolvessem plenamente seu potencial.

Bezerra (1990) comenta que “*setup*” é o tempo que se consome (perda) na preparação de máquinas, desde a última peça boa de um lote até a primeira peça boa do outro. A prática constante de reduzir o “*setup*” constitui um requisito básico para o sucesso da implantação do *Just In Time*. Quanto menor for o “*setup*” maior será a flexibilidade.

Em 1989, em missão ao Japão, Bezerra presenciou um “*setup*” sendo realizado em uma prensa de grande porte de uma das fábricas do Grupo *Toyota*. Todos os visitantes foram surpreendidos pela agilidade e sincronismo dos acontecimentos, os quais resultaram em um tempo de preparação da prensa de quase cinco minutos. No Brasil, para se fazer troca de ferramentas daquele tipo, se perdia em média quatro horas. Todos os visitantes tiveram a

nítida impressão de estar vendo uma corrida de Fórmula Um, onde a troca de pneus é feita em apenas alguns segundos. Foi verificado que o sistema todo facilitava a redução do “*setup*”. O mais curioso foi o fato de que a meta daquela peça era de apenas seis segundos a menos do que eles conseguiram. O gerente geral explicou que o fato de reduzir seis segundos pode não contribuir significativamente para aumentar a produtividade, mas, sem dúvida, constitui-se num desafio que mantém as pessoas motivadas a pensar sempre em constantes melhorias.

O “*setup*” tem que ser reduzido, reduzido e reduzido, mesmo que seja em alguns segundos. A redução do “*setup*” deve ser praticada desde o início do projeto de um produto novo. Os engenheiros e técnicos devem consultar os operadores, pois são eles que conhecem bem os problemas no piso de fábrica. Para os processos que estão em funcionamento, uma das formas eficazes é a filmagem de toda a preparação, para posterior análise de oportunidades em grupo, pelos operadores. Mas se não for possível filmar, as pessoas devem ser preparadas para perceberem os desperdícios e estimuladas a enfrentar desafios.

Os “*setups*” demorados aumentam os estoques em processo e, conseqüentemente, aumentam os desperdícios. E, sobretudo, perde-se em flexibilidade de atendimento aos clientes que, em não sendo supridos no tempo certo, procurarão outras fontes de fornecimento.

Quintã & Santos (2003) relatam que na evolução das máquinas ferramenta procurou-se sempre soluções que permitissem aumentar a produtividade e a qualidade. Desde as primeiras máquinas ferramenta, uma das preocupações tem sido diminuir as paradas e tempos de preparação (“*setup*”) de forma a otimizar os tempos de produção. Uma das principais evoluções neste sentido foi a introdução da *troca automática de ferramentas* que veio reduzir drasticamente o tempo de “*setup*”.

Ao longo dos anos têm aparecido vários sistemas de troca automática de ferramentas, sendo o sistema “torre” utilizado principalmente em centros de torneamento. Com a utilização de conceitos como Células Integradas de Manufatura (CIM) e Sistemas Flexíveis de Produção (FMS), aumentou a necessidade de uma forte automatização e integração entre os recursos fabris. Os equipamentos utilizados nesses sistemas têm uma grande autonomia em relação ao homem e a utilização de processos automáticos de carga e descarga de peças e ferramentas é preponderante.

2.4 OS COMPUTADORES E OS MICROCONTROLADORES

Mackenzie (1995) comenta que, embora os computadores estejam conosco somente há algumas décadas, foi grande o impacto por eles produzido, superando o uso do telefone, do automóvel ou da televisão. Sua presença é sentida por todos nós. Geralmente tem-se a noção de computadores como sendo "processadores de dados" executando operações numéricas com uma competência inesgotável, fazendo tarefas de uma maneira sutil, eficiente e silenciosa, sendo sua presença freqüentemente despercebida.

Como um componente central em muitos produtos industriais e de consumo, são encontrados computadores nas caixas registradoras de supermercados, nos lares (fornos, máquinas de lavar, relógios despertadores, termostatos, brinquedos, equipamentos de som e instrumentos musicais), no escritório (máquinas de escrever e copiadoras) e em diversos equipamentos industriais. Nessas aplicações os computadores são utilizados para monitorar e controlar funções através de uma interação com o “mundo real”.

Os microcontroladores também são encontrados freqüentemente nas mesmas aplicações. É difícil imaginar o mundo atual de ferramentas e de brinquedos eletrônicos sem o

microcontrolador. Contudo esta maravilha denominada “*chip*” tem apenas algumas dezenas de anos de existência.

Em 1971 a *Intel Corporation* introduziu os Circuitos Integrados (CIs) 8080, o primeiro microprocessador bem sucedido. Logo depois disso, a *Motorola* e outros fabricantes introduziram dispositivos similares. A introdução de componentes eletromecânicos nos produtos como controladores das máquinas de lavar e de semáforos era uma aplicação popular inicialmente e continua até hoje. Outros produtos onde os microcontroladores podem ser encontrados incluem automóveis, equipamentos industriais, produtos de entretenimento e periféricos de computador.

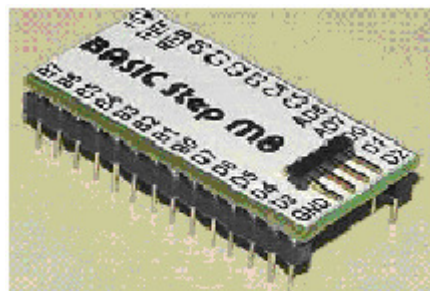
Mackenzie (1995) ainda relata que os microprocessadores são usados geralmente como o processador central em microcomputadores e apenas processam informações em sistemas computadorizados. Os microcontroladores, entretanto, executam atividades orientadas de controle. Em um microcontrolador somente é necessário um pequeno número de componentes de fixação e um programa na sua memória para este ser usado no controle de entradas e saídas de dispositivos eletrônicos. Basicamente a diferença entre ambos é a grande quantidade de recursos, tamanho da memória e aplicações dos microcontroladores

Souza (2004) comenta que, em poucas palavras, poderíamos definir o microcontrolador como um pequeno componente eletrônico, dotado de uma "inteligência" programável, utilizado no controle de processos lógicos.

O controle de processos deve ser entendido como o controle de periféricos, tais como: *led's*, botões, *display's* de segmentos, *display's* de cristal líquido (LCD), resistências, relês, sensores diversos (pressão, temperatura, etc.) e muitos outros. São chamados de controles lógicos, pois a operação do sistema baseia-se nas ações lógicas que devem ser executadas, dependendo do estado dos periféricos de entrada e/ou saída.

O microcontrolador é programável, pois toda a lógica de operação é estruturada na forma de um programa e gravada dentro do componente. Depois disso, toda vez que o microcontrolador for alimentado, o programa interno será executado. Quanto à "inteligência" do componente, podemos associá-la à Unidade Lógica Aritmética (ULA), pois é nessa unidade que todas as operações matemáticas e lógicas são executadas. Quanto mais poderosa a ULA do componente, maior a sua capacidade de processar informações.

Nessa definição, o microcontrolador ganhou ainda o adjetivo "pequeno", pois em uma única pastilha de silício encapsulada (popularmente chamada de CI ou *chip*), temos todos os componentes necessários ao controle de um processo, ou seja, o microcontrolador está provido internamente de memória de programa, memória de dados, portas de entrada e/ou saída paralela, *timer's*, contadores, comunicação serial, conversores analógico-digitais, etc. Esta é uma das características fundamentais que diferencia os microcontroladores dos microprocessadores, vistos na Figura 2.8, pois os últimos, apesar de possuírem uma ULA muito poderosa, não possuem todos estes recursos em uma única pastilha.



MICROPROCESSADOR



MICROCONTROLADOR

Figura 2.8 - O microprocessador e o microcontrolador

Atualmente, muitos equipamentos de uso diário, tais como: eletrodomésticos, videocassetes, alarmes, celulares e brinquedos, entre outros, utilizam microcontroladores para execução de suas funções básicas. Portanto esses componentes já fazem parte de nossas vidas há um bom tempo.

Bateson (1996) relata que conforme as indústrias são cada vez mais direcionadas para a automação, a comunicação entre os vários sensores e sistemas de controle em seus processos tornou-se cada vez mais importante. A utilização de sistemas inteligentes nas máquinas e nos processos, possibilitou o acesso à informação de uma maneira impossível no passado. Com toda a inteligência agora disponível nos dispositivos e nos sistemas de controle das indústrias, os grandes benefícios resultantes não podem ser ignorados. O microprocessador teve um papel importante, senão o principal, no direcionamento da indústria para a era da comunicação. Os microprocessadores são usados em toda parte de um sistema de controle.

O microprocessador é apenas um dos diversos componentes de microcomputadores pessoais e de computadores de máquinas de usinagem CNC, como se pode observar na Figura 2.9, onde são montados vários microprocessadores e microcontroladores.

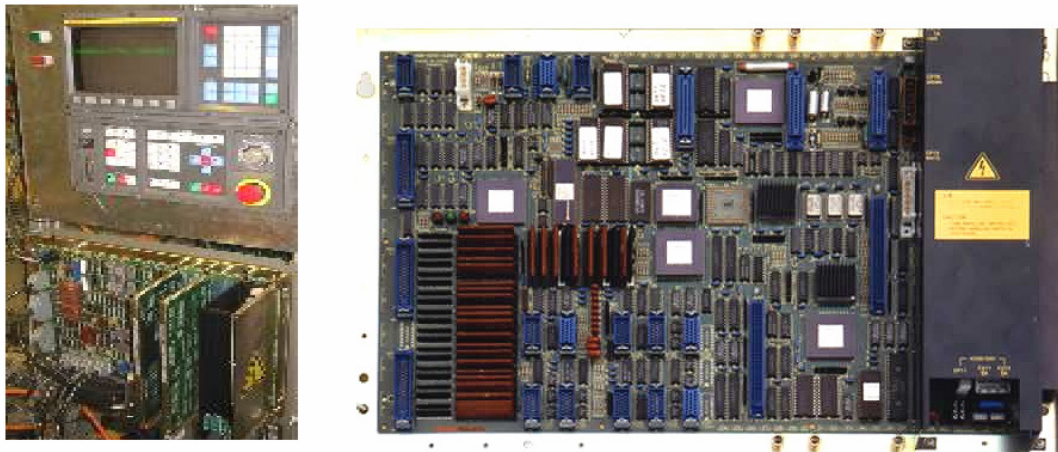


Figura 2.9 – Circuito eletrônico de uma máquina CNC

2.5 OS TRANSDUTORES E SENSORES

Werneck (1996) descreve um transdutor como sendo um sistema que transforma duas formas de energia para fins de medida. Ele mede uma forma de energia que está relacionada a outra através de uma relação conhecida. Assim, por exemplo, mede-se pressão utilizando um transdutor que transforma a força exercida em uma tensão elétrica proporcional à pressão. O transdutor é um sistema completo que produz um sinal elétrico de saída proporcional à grandeza sendo medida. Normalmente, os sinais elétricos são representados por uma tensão elétrica, na maioria das vezes entre -15 volt e + 15 volt. O sensor, por outro lado, é apenas a parte sensível do transdutor.

Bateson (1996) descreve um transdutor como um dispositivo que converte um sinal a ser medido em um sinal de formato diferente. O sinal a ser medido é o dado de entrada do sensor e o sinal produzido pelo sensor é a saída. O sinal de entrada do sensor pode ser uma força, um deslocamento, uma tensão, uma resistência elétrica ou alguma outra quantidade física.

Os sensores de proximidade são dispositivos que detectam a presença de objetos sem necessariamente ter que tocá-los. São usados para detectar a presença de materiais metálicos ou não metálicos tais como vidro, madeira, papel, borracha, plástico, água e leite. São usados também em equipamentos automatizados para detectar posição e movimento. Dois ou mais sensores de proximidade podem ser usados para a identificação de peças simples (por exemplo, diferenciar entre peças curtas, médias e longas).

Werneck (1996) descreve ainda que os transdutores de aproximação são chaves que indicam ao sistema de controle que um determinado ponto no espaço foi atingido. São muito úteis quando se deseja limitar o curso de uma peça acionada por um motor. Exemplos de seu uso são vários: limites fim de curso de portões automáticos, porta-pena de *plotters*, cabeça de

impressora, porta ferramenta de tornos a controle numérico, início de setor lógico de disquetes de computador, contador de peças de uma linha de montagem, contador de rotação de eixos, etc.

As microchaves ou *micro-switches* são chaves miniaturas, exemplificadas na Figura 2.10, do tipo normalmente abertas (NA) ou normalmente fechadas (NF) ou mistas, que acionam seu contato com apenas alguns milímetros de curso. Esta característica faz com que elas se prestem muito bem para detectores de fim de curso com grande repetibilidade. Basta que a peça cuja posição se deseja monitorar tenha um ressalto que aciona a haste da chave, posicionada num local estratégico.



Figura 2.10 – Microchaves para detectores fim de curso

O detector ultra-sônico de proximidade, mostrado na Figura 2.11, é formado por um transdutor de ultra-som, geralmente um cristal piezelétrico, que emite sinais em frequência ultra-sônica (acima de 20 kHz).

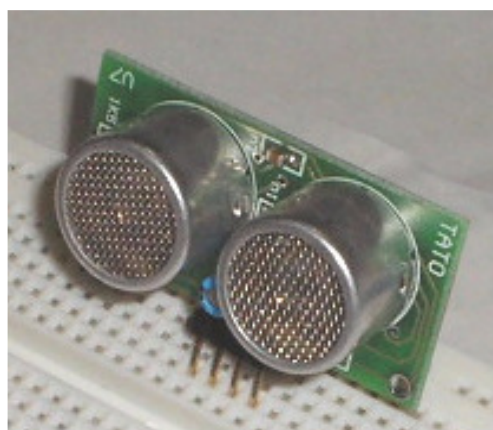


Figura 2.11 – O detector ultra-sônico de proximidade

Esses pulsos refletem em qualquer objeto denso e volta ao emissor. Nos intervalos entre os pulsos, o transmissor comporta-se como receptor e é sensibilizado pela energia refletida. O sinal assim obtido é amplificado e utilizado para desabilitar um contador de tempo que foi disparado quando o pulso original deixou o transmissor.

A distância do transdutor ao objeto é igual a velocidade do som no meio (340 m/s, no caso do ar) dividida pelo dobro do tempo decorrido entre a emissão do pulso e sua volta. A distância medida é fornecida na saída do instrumento em forma de corrente ou na forma de tensão. O sistema é capaz de medir distâncias de até seis metros.

Existem dois modos básicos de utilizar este dispositivo. O primeiro deles é na medida de distâncias, como por exemplo, entre automóveis em movimento. Em alguns veículos europeus, sensores de distância são colocados nos pára-choques traseiro e dianteiro. O computador central então monitora as distâncias para os veículos mais próximos. Essas distâncias são comparadas com uma tabela que informa as distâncias mínimas em função da velocidade e das condições da estrada. Se as distâncias estão abaixo das consideradas de segurança, o computador emite um sinal de alarme. O outro método de utilização define uma janela dentro da faixa de atuação do sensor. Se qualquer objeto se encontrar dentro desta janela, uma chave será fechada. Neste caso, o sistema se presta como uma sentinela de aproximação.

Para o uso militar, esses dispositivos são utilizados como medidores de distância debaixo da água. Neste caso, o sistema chama-se “ecobatímetro” e trabalha em frequência de aproximadamente 40 kHz. Seu transdutor é feito de cerâmicas especiais ou elementos ferromagnéticos. O ecobatímetro é o “olho” do submarino, uma vez que o radar não funciona debaixo da água. O ecobatímetro também é utilizado para medir profundidade em navios ou mesmo em barcos menores. Navios de pesca também utilizam o ecobatímetro para detectar cardumes, já que o ultra-som também se reflete neles.

O sensor de luz, esquematizado na Figura 2.12, funciona através de um *LED* (*light emitting diode* - diodo emissor de luz) e um fototransistor. Normalmente o *LED* ilumina o fototransistor provocando uma tensão de saída igual a zero. Quando algum objeto opaco obstruir o caminho da luz, a tensão de saída será elevada a um valor estipulado, emitindo assim um sinal elétrico.

Geralmente utiliza-se um *LED* emissor de infravermelho e o fototransistor sensível a essas frequências para evitar interferência da luz ambiente.

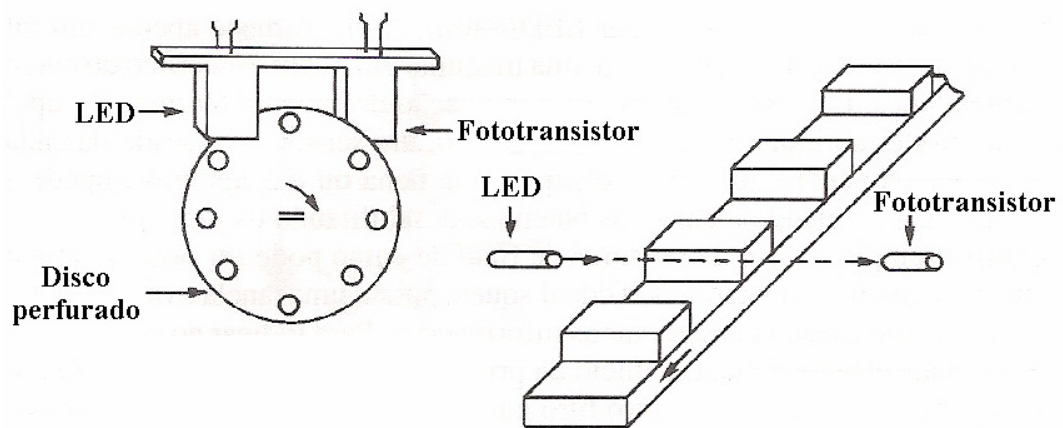


Figura 2.12 – Sensores de luz

Esse tipo de sensor é útil para indicar a uma máquina um ponto específico do curso de alguma peça. Um exemplo típico é a indicação do final da largura do papel para uma impressora. Neste caso, um sensor é colocado de cada lado no final do curso do carro e o suporte das agulhas impede a passagem da luz quando alcança os batentes, desabilitando os motores.

Outro exemplo de uso de sensores de final de curso pode ser observado em disquetes de microcomputadores. Todo disquete possui uma janela que deixa exposta a área utilizada

para gravar as informações. Para indicar ao controlador do disco onde está localizado o início da primeira trilha, o chamado *File Allocation Table* ou *FAT*, existe um outro furo na capa do disquete que deixa exposta uma trilha que não é utilizada para gravações magnéticas mas contém um furo no disquete. Assim, ao passar pelo furo do disco em frente ao furo da capa, um sensor de luz indicará o início da primeira trilha.

Uma outra e importante aplicação para esse tipo de sensor é aquela utilizada em eixos árvore e eixos de transmissão de movimentos em máquinas com Controle Numérico Computadorizado (CNC). Sensores circulares, denominados “*encoder*”, monitoram o movimento dos eixos e informam ao sistema de controle sua posição real.

2.6 OS MOTORES ELÉTRICOS

Hughes (1993) cita que os motores elétricos são tão comuns na nossa vida diária que sempre ficam despercebidos. Um motor simples consiste em nada mais do que um arranjo de bobinas de cobre e de lâminas de aço que transforma a energia elétrica em energia mecânica. Conhecendo o funcionamento básico de um motor elétrico, se pode entender seu potencial e suas limitações e ver como seu desempenho pode ser melhorado com a aplicação de controles externos.

Fillippo (2002) comenta que o motor de indução foi inventado pelo russo Michael Dolivo Dobrovolski, na Alemanha, em 1889. Tal concepção prevalece até hoje. O princípio da indução magnética foi estabelecido por M. Faraday, em 1831, embora tenha sido descoberto alguns anos antes por F. D. Arago, em 1824.

Nessa época, já se sabia que um ímã rotativo era capaz de fazer girar um disco metálico pela ação da indução. Somente em 1879, o inglês U. Bailey conseguiu obter um

campo magnético girante rudimentar, a partir de eletroímãs fixos, porém sem qualquer aplicação prática. Depois de uma década, por volta de 1887, o croata naturalizado norte americano Nikola Tesla e o italiano Galileo Ferraris conseguiram obter um campo girante a partir de duas bobinas defasadas de noventa graus no espaço e alimentadas por correntes senoidais defasadas de noventa graus no tempo. Era o campo girante bifásico. Logo em seguida iniciou-se a produção dos motores pela empresa norte americana Westinghouse. Eram os motores precursores dos atuais motores elétricos.

Hughes (1993) relata que um motor elétrico é um dispositivo que transforma energia elétrica em energia mecânica, em geral energia cinética. Ou seja, num motor, a simples presença da corrente elétrica garante movimento em um eixo, que pode ser aproveitado de diversas maneiras dependendo da aplicação do motor. O acionamento de máquinas e equipamentos mecânicos por motores elétricos é um assunto de grande importância econômica.

Estima-se que o mercado mundial de motores elétricos, de todos os tipos, seja da ordem de uma dezena de bilhões de dólares por ano. No campo dos acionamentos industriais, avalia-se que de 70 a 80% da energia elétrica consumida pelo conjunto de todas as indústrias seja transformada em energia mecânica através de motores elétricos.

Motores elétricos são encontrados nas mais variadas formas e tamanhos, cada qual apropriado a sua tarefa.

Não importa quanto torque ou potência um motor deva desenvolver, com certeza, será encontrado no mercado aquele que é mais satisfatório, conforme se observa na Figura 2.13.



Figura 2.13 – Tipos de motores elétricos

Alguns motores operam com corrente contínua e podem ser alimentados por pilhas/ baterias ou por fontes de alimentação adequadas, outros requerem corrente alternada e podem ser alimentados diretamente pela rede elétrica domiciliar. Há até mesmo motores que trabalham, indiferentemente, com esses dois tipos de correntes.

Na Figura 2.14 é esquematizado um motor simples onde o estator é constituído por ímãs permanentes e o rotor é uma bobina de fio de cobre esmaltado por onde circula uma corrente elétrica.

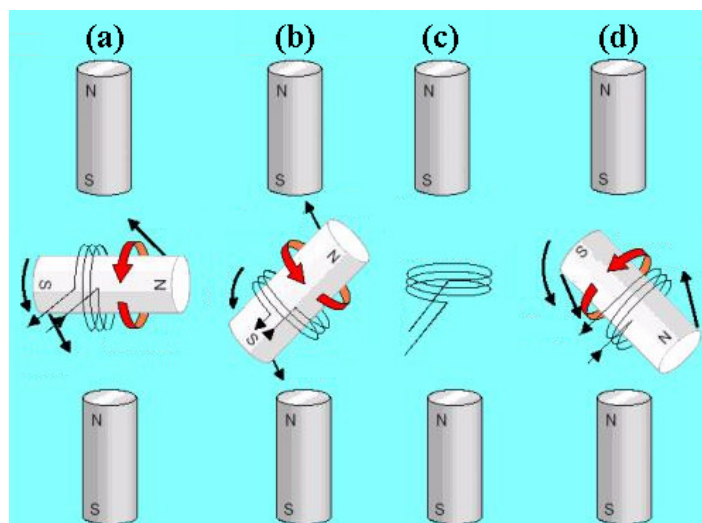


Figura 2.14 - Esquema de funcionamento de um motor elétrico

Uma vez que as correntes elétricas produzem campos magnéticos, essa bobina se comporta como um ímã permanente, com seus pólos N (norte) e S (sul).

A explicação do funcionamento é iniciada pela situação ilustrada em (a) onde a bobina se apresenta horizontal. Como os pólos opostos se atraem, aparece na bobina um torque que age no sentido de girar a bobina para a esquerda. A bobina sofre aceleração angular e continua seu giro para a esquerda, como se ilustra em (b). Esse torque continua até que os pólos da bobina alcancem os pólos opostos dos ímãs fixos (estator). Nessa situação (c), quando a bobina girou de noventa graus, não há torque algum, uma vez que os braços de alavanca são nulos (a direção das forças passa pelo centro de rotação); o rotor está em equilíbrio estável (força resultante nula e torque resultante nulo). Esse é o instante adequado para inverter o sentido da corrente na bobina. Agora os pólos de mesmo nome estão muito próximos e a força de repulsão é intensa. Como a bobina já apresenta um momento angular para a esquerda, ela continua girando para a esquerda (algo como uma “inércia de rotação”) e o novo torque (agora propiciado por forças de repulsão), como em (d), colabora para a manutenção e aceleração do movimento de rotação.

Mesmo após a bobina ter sido girada de cento e oitenta graus (não ilustrado na figura), o movimento continua. A bobina chega na vertical (giro de duzentos e setenta graus), o torque novamente se anula, a corrente novamente inverte seu sentido, novo torque e a bobina chega novamente na situação (a) (giro de trezentos e sessenta graus), e o ciclo se repete.

Essas atrações e repulsões bem coordenadas é que fazem o rotor girar, embora o modo como tais torques sejam obtidos possam variar entre os vários tipos de motores. A inversão do sentido da corrente, no momento oportuno, é condição indispensável para a manutenção dos torques favoráveis, os quais garantem o funcionamento dos motores. É por isso que um motor não pode ser feito exclusivamente com ímãs permanentes.

Para um motor poder funcionar seu rotor precisa de um torque para iniciar o seu giro. Este torque normalmente é produzido por forças magnéticas desenvolvidas entre os pólos magnéticos do rotor e aqueles do estator. Forças de atração ou de repulsão, desenvolvidas entre estator e rotor, “puxam” ou “empurram” os pólos móveis do rotor, produzindo torques, que fazem o rotor girar mais e mais rapidamente, até que os atritos ou cargas ligadas ao eixo reduzam o torque resultante ao valor zero. Após esse ponto, o rotor passa a girar com velocidade angular constante. Tanto o rotor como o estator do motor devem ser magnéticos, pois são essas forças entre pólos que produzem o torque necessário para fazer o rotor girar. Todavia, mesmo que ímãs permanentes sejam freqüentemente usados, principalmente em pequenos motores, pelo menos alguns dos ímãs de um motor devem ser eletroímãs.

Um motor não pode funcionar se for construído exclusivamente com ímãs permanentes. Isso é fácil de perceber pois se tais ímãs já estiverem em sua posição de equilíbrio, não haverá o torque inicial para disparar o movimento e apenas oscilarão em torno dessa posição se não receberem um “empurrão” externo inicial. É condição necessária que algum pólo altere sua polaridade para garantir a rotação do rotor.

Na maioria dos motores elétricos de corrente contínua, o rotor é um eletroímã que gira entre os pólos de ímãs permanentes estacionários. Para tornar esse eletroímã mais eficiente o rotor contém um núcleo de ferro, que se torna fortemente magnetizado, quando a corrente flui pela bobina. O rotor girará desde que essa corrente inverta seu sentido de percurso cada vez que seus pólos alcançam os pólos opostos do estator. O modo mais comum para produzir essas reversões é usar um “comutador”.

Em sua forma mais simples, um comutador apresenta duas placas de cobre encurvadas e fixadas (isoladamente) no eixo do rotor. Os terminais do enrolamento da bobina são soldados nessas placas, conforme esquematizado na Figura 2.15.

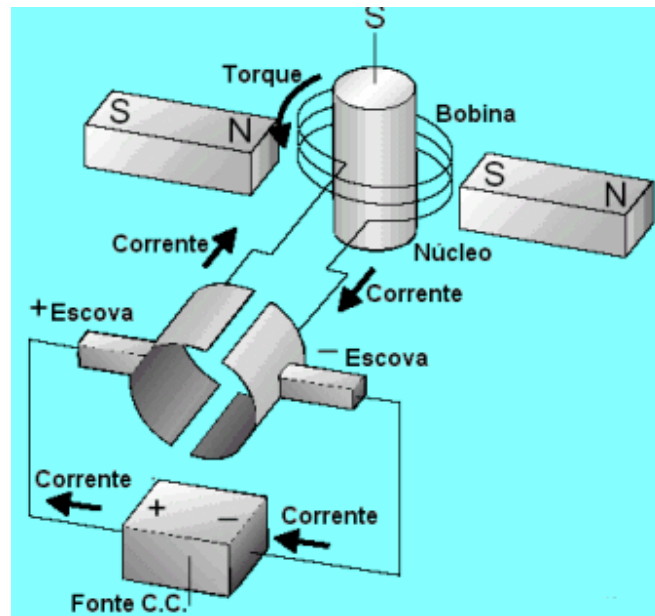


Figura 2.15 - Esquema do comutador

A corrente elétrica chega por uma das “escovas” (+), entra pela placa do comutador, passa pela bobina do rotor, sai pela outra placa do comutador e retorna à fonte pela outra “escova” (-). Nessa etapa o rotor realiza sua primeira meia volta. Nessa meia volta, as placas do comutador trocam seus contatos com as “escovas” e a corrente inverte seu sentido de percurso na bobina do rotor. E o motor continua girando, sempre com o mesmo sentido de rotação.

Muitos dispositivos computadorizados (*drives*, *CDRom*, etc.) usam motores especiais que controlam os ângulos de giro de seus rotores. Em vez de girar continuamente, estes motores giram em etapas discretas; os motores que fazem isso são denominados “motores de passo” e podem ser observados na Figura 2.16.

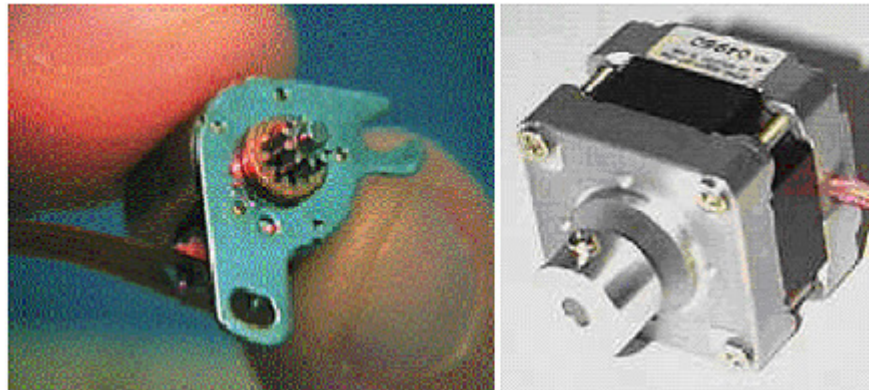


Figura 2.16 - Motores de passo

O motor de passo converte energia elétrica em movimento controlado através de pulsos, o que possibilita o deslocamento por passo, onde passo é o menor deslocamento angular. Com o passar dos anos houve um aumento na popularidade deste motor, principalmente pelo seu tamanho e custo reduzidos. Outra vantagem do motor de passo em relação aos outros motores é a estabilidade. Quando se quiser obter uma rotação específica de um certo grau, se calcula o número de rotação por pulsos, o que possibilita uma boa precisão no movimento.

O rotor de um motor de passo é simplesmente um ímã permanente que é atraído, sequencialmente, pelos pólos de diversos eletroímãs estacionários, como visto na Figura 2.17.

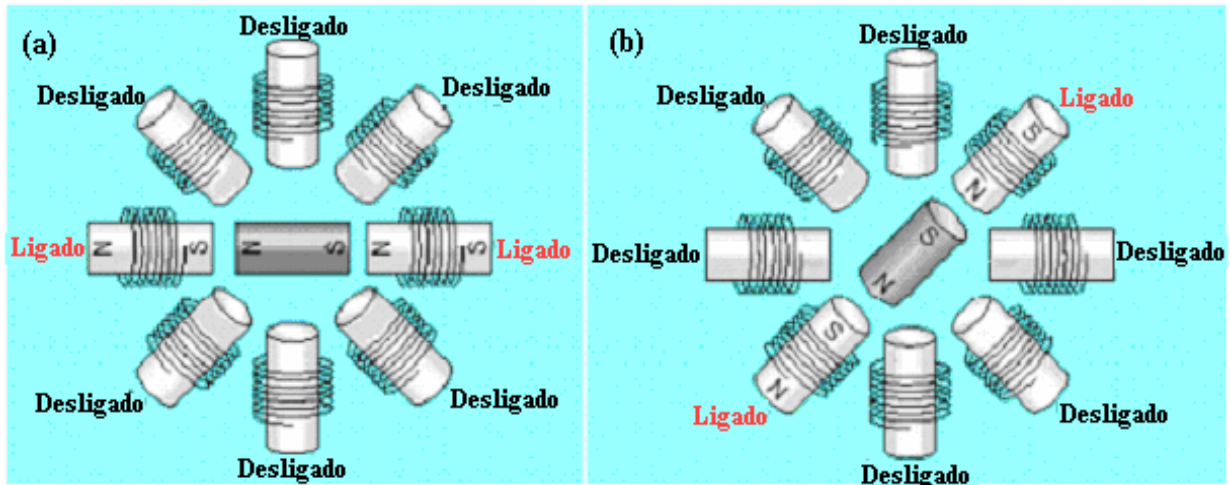


Figura 2.17 – Esquema de funcionamento do motor de passo

Estes eletroímãs são ligados e desligados seguindo impulsos cuidadosamente controlados de modo que os pólos magnéticos do rotor se movam de um eletroímã para outro devidamente habilitado.

Normalmente os motores de passo são projetados com enrolamento do estator de várias fases, o que não foge muito dos demais motores. O número de pólos é determinado pelo passo angular desejado por pulsos de entrada. Os motores de passo têm alimentação externa e, conforme os pulsos na entrada do circuito de alimentação, esta oferece correntes aos enrolamentos certos para fazer o deslocamento desejado.

Para que um motor de passo funcione, é necessário que sua alimentação seja feita de forma sequencial e repetida. Não basta apenas ligar os fios do motor de passo a uma fonte de energia e sim ligá-los a um circuito que execute a sequência requerida pelo motor.

A energização de somente uma bobina de cada vez produz um pequeno deslocamento no rotor. Este deslocamento ocorre simplesmente pelo fato de o rotor ser magneticamente ativo e a energização das bobinas criar um campo magnético intenso que atua no sentido de se alinhar com as pás do rotor. Assim, polarizando as bobinas de forma adequada, o rotor pode se movimentar somente entre as bobinas.

Para que se obtenha uma rotação constante é necessário que a energização das bobinas seja periódica. Esta periodicidade é proporcionada por circuitos eletrônicos que controlam a velocidade e o sentido de rotação do motor.

Os motores de passo possuem uma grande versatilidade e apresentam uma gama de rotação muito ampla que pode variar de zero até sete mil rotações por minuto, apresentam boa relação peso e potência, permitem a inversão de rotação em pleno funcionamento, alguns motores possuem precisão de 97%, possuem ótima frenagem do rotor e podem mover-se passo a passo. Se um determinado motor de passo possuir 170 passos, isto significa que cada volta do eixo do motor é dividida 170 vezes, ou seja, cada passo corresponde a 2,1 graus e o rotor tem a capacidade para mover apenas estes graus.

Como os motores de passo têm movimentos precisos, qualquer equipamento que necessite de precisão no movimento utiliza estes motores. Podem ser citados como exemplos, o controle de microcâmeras num circuito interno de vigilância, do movimento das agulhas de impressão em impressores de jato de tinta e o controle dos eixos de posicionamento de uma furadeira com controle numérico.

2.7 OS SISTEMAS DE TRANSMISSÃO

Conforme Guibert (1997), os sistemas de transmissão têm o objetivo de transferir força e movimento a um outro sistema. Podem ser montados com polias e correias, engrenagens retas e helicoidais, coroa e parafuso sem fim, conforme exemplificados na Figura 2.18, entre outros elementos.

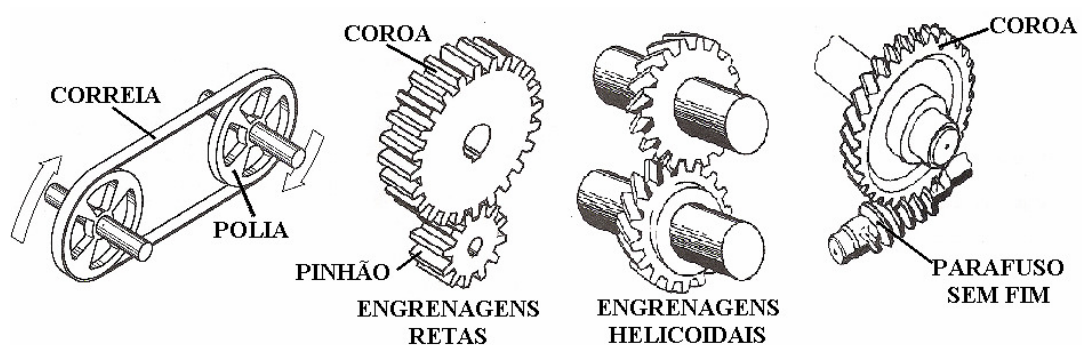


Figura 2.18 – Tipos de sistemas de transmissão

Os sistemas de transmissão podem, também, variar as rotações entre dois eixos. Nesse caso, são chamados de redutor, visto na Figura 2.19, ou ampliador de velocidade.

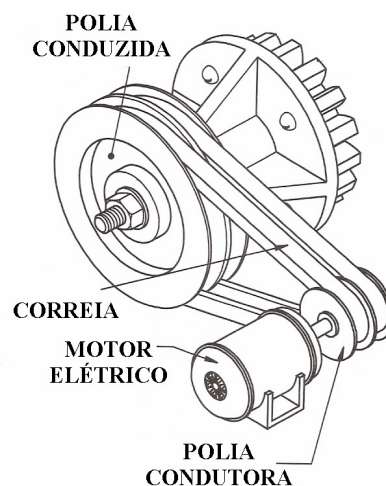


Figura 2.19 – Sistema redutor de velocidade

A maneira mais usada para a fixação dos elementos de transmissão é através de eixos com chavetas, observada na Figura 2.20, eixos entalhados e eixos estriados.

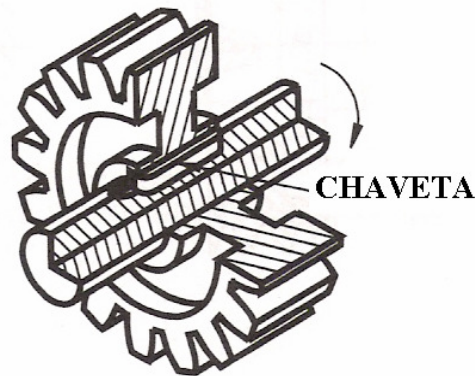


Figura 2.20 – Engrenagem fixada ao eixo com chaveta

Na transmissão, o elemento que transmite movimento e força é chamado “elemento motor” ou “condutor”. O elemento que recebe movimento e força é chamado de “elemento movido” ou “conduzido”. Normalmente é usada a letra “ i ” para representar a relação de transmissão. Ela é a relação entre o número de voltas do elemento motor e o elemento movido e os seus diâmetros.

Por exemplo, na transmissão por polias e correia, vista na Figura 2.21, a relação de transmissão é calculada considerando que a velocidade tangencial (V) é a mesma para as duas polias.

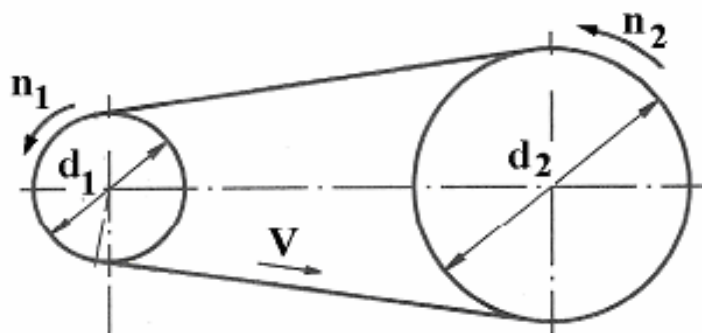


Figura 2.21 – Sistema de transmissão por polias e correia

A velocidade tangencial das polias é calculada pela seguinte fórmula:

$$V = \frac{\pi \times d \times n}{1000} \quad (2.1)$$

Onde: V = velocidade tangencial da polia (m/min)

d = diâmetro da polia (mm)

n = rotação por minuto da polia (rpm)

Para não haver escorregamento é necessário que as velocidades das polias sejam iguais, ou seja, $V_1 = V_2$. Sendo assim pode-se escrever:

$$\pi \times d_1 \times n_1 = \pi \times d_2 \times n_2$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = i \quad (2.2)$$

Onde: d_1 = diâmetro da polia menor (mm)

d_2 = diâmetro da polia maior (mm)

n_1 = número de rotações por minuto da polia menor (rpm)

n_2 = número de rotações por minuto da polia maior (rpm)

i = relação de transmissão

Para engrenagens, $i = \frac{Z_2}{Z_1}$, onde Z_1 é o número de dentes da engrenagem motora e Z_2

é o número de dentes da engrenagem movida.

2.8 AS MÁQUINAS CNC

Atualmente os Controles Numéricos Computadorizados (CNC) são máquinas encontradas em quase todos lugares: das pequenas oficinas de usinagem a grandiosas companhias de manufatura. Na realidade quase não existem produtos que não estejam de alguma forma relacionados à tecnologia destas máquinas ferramenta inovadoras. Todos envolvidos nos ambientes industriais deveriam estar atentos ao que é possível fazer com estas maravilhas tecnológicas.

O primeiro benefício oferecido por todas as formas de máquinas ferramenta CNC é, sem dúvida, a automação. A intervenção do operador é drasticamente reduzida ou eliminada. Muitas máquinas CNC podem trabalhar sem nenhum acompanhamento humano durante um ciclo de usinagem completo, permitindo ao operador tempo livre para desempenhar outras tarefas. Isto permite ao usuário CNC vários benefícios que incluem fadiga do operador reduzida, menos enganos causados por erro humano, usinagem precisa e em tempo previsível para cada produto. Considerando que a máquina trabalha sob controle de um programa, o nível de habilidade manual requerido do operador de CNC é reduzido, quando comparado a um operador de uma máquina ferramenta convencional.

O segundo benefício principal da tecnologia CNC é a obtenção de peças com grande precisão e repetibilidade. Isto significa que, uma vez que um programa seja testado e aprovado, podem ser produzidos dois, dez, ou mil produtos idênticos.

Um terceiro benefício oferecido pelas máquinas ferramenta CNC é a flexibilidade. Uma vez que um programa foi verificado e executado para produção, este pode ser substituído facilmente por um próximo tipo de peça a ser usinada. Isto é associado a outro benefício: o de trocas rápidas na preparação da máquina (“*setup*”). Sendo estas máquinas muito fáceis de

preparar e produzir um certo produto, e considerando que os programas podem ser carregados facilmente, elas permitem tempos de preparação (“*setup*”) muito curtos. Isto é imperativo com as exigências de produção dos nossos dias.

2.8.1 MÁQUINAS CONVENCIONAIS E MÁQUINAS CNC

O movimento da mesa de uma máquina convencional é executado pelo operador ao girar uma manivela (manípulo), como se pode verificar na Figura 2.22. Um posicionamento preciso é alcançado dependendo do número de voltas a serem dadas na manivela com anel graduado. Desta forma a precisão depende exclusivamente da perícia do operador.

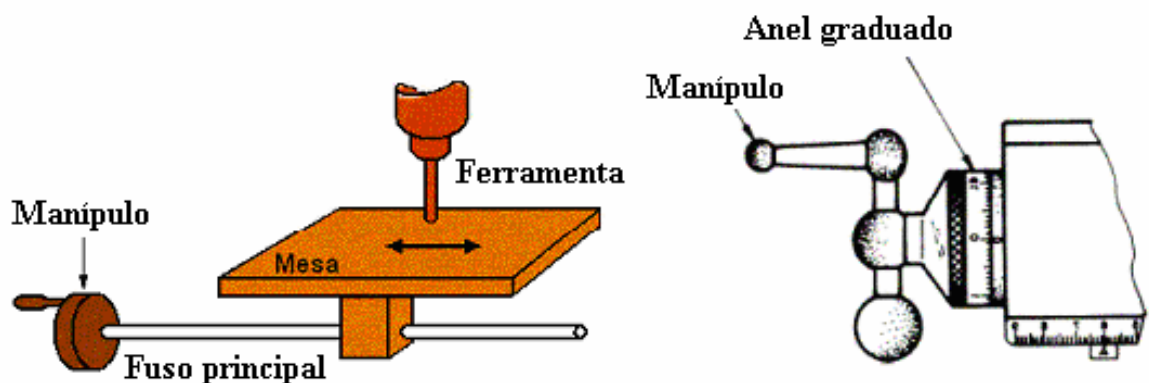


Figura 2.22 – Movimento da mesa em máquinas convencionais

A função mais básica de qualquer máquina CNC é o controle de movimentos precisos dos seus eixos automaticamente. Os dois eixos mais comuns são lineares (dirigido ao longo de um caminho reto) e rotativos (dirigido ao longo de um caminho circular). Em vez de serem movimentadas virando manivelas manualmente, como é feito nas máquinas ferramenta convencionais, as máquinas CNC têm seus eixos movimentados sob controle de motores e guiados por um programa.

Em geral, o tipo de movimento (rápido, linear ou circular) para os eixos se moverem, a quantidade de movimento e a taxa de avanço (“*feedrate*”) é programável em todas as máquinas ferramenta CNC. A Figura 2.23 mostra o controle de movimento de eixo linear de uma máquina CNC, sendo explicado posteriormente o funcionamento de seus componentes.

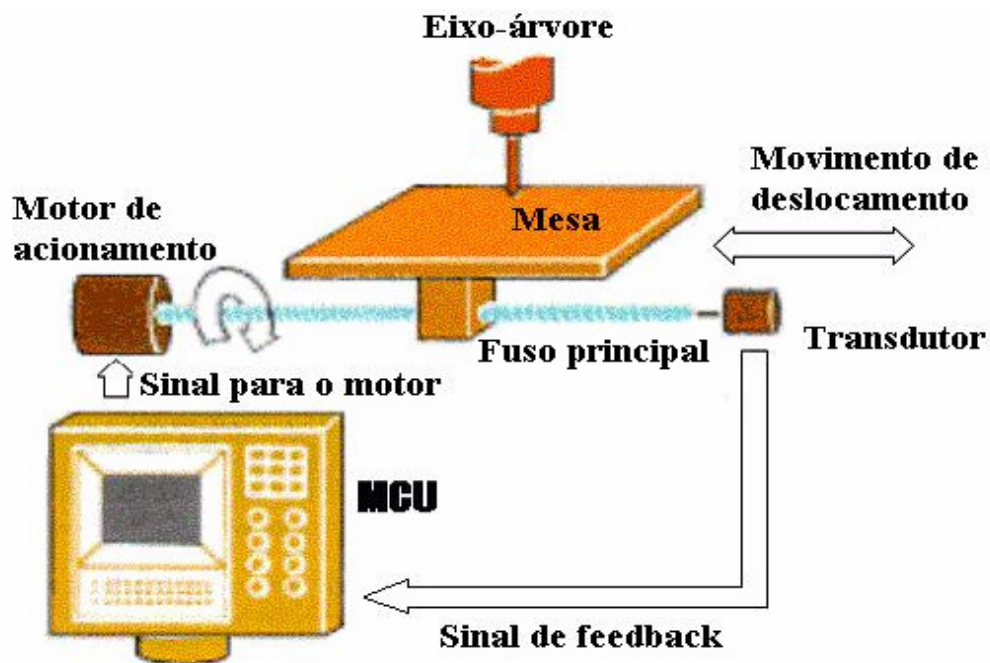


Figura 2.23 – Movimento da mesa em máquinas CNC

O fuso que movimenta a mesa no sentido principal é montado em uma porca especial com esferas recirculantes em canais retificados, como se pode verificar na Figura 2.24. Esse tipo de acionamento garante uma grande precisão no posicionamento em todos os pontos de deslocamento da mesa.

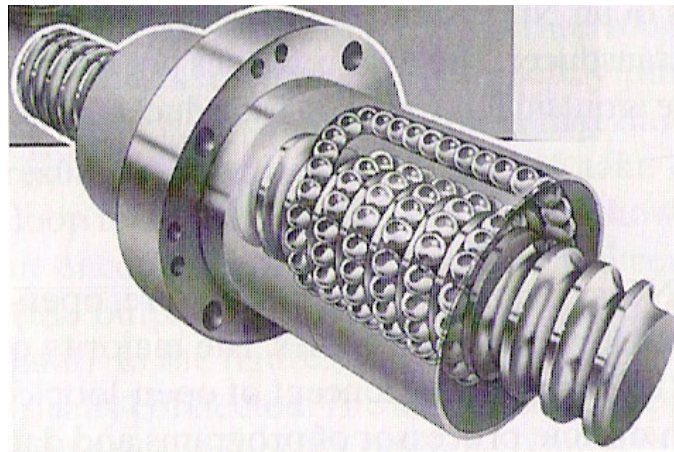


Figura 2.24 – Fuso principal com esferas recirculantes

2.8.2 COMPONENTES DAS MÁQUINAS CNC

Conforme Amic (1997), de acordo com a construção da máquina ferramenta CNC, esta funciona da seguinte maneira simplificada:

- O computador de controle da máquina lê um programa preparado e o traduz para a “linguagem de máquina”, que é uma linguagem de programação de notação binária usada em computadores, não em máquinas CNC.
- Quando o operador inicia o programa de execução da peça, o computador traduz esses códigos binários em pulsos eletrônicos que são emitidos automaticamente para os motores de movimentação da máquina. Unidades de controle comparam os pulsos emitidos e

recebidos. Quando os motores recebem cada pulso, transformam automaticamente esses pulsos em rotações que movimentam o eixo árvore, o fuso principal e o deslocamento do carro porta ferramentas da máquina. A ferramenta necessária para a usinagem, a qual está fixada na torre do torno, é selecionada pelo programa.

Em geral toda máquina CNC possui as seguintes unidades:

- Computadores
- Motores de acionamento
- Sistemas de controle
- Trocadores de ferramentas

COMPUTADORES UTILIZADOS NAS MÁQUINAS CNC

Amic (1997) comenta que as primeiras máquinas CN se baseavam na tecnologia de circuitos eletrônicos disponíveis na época. Estas máquinas não tinham nenhuma memória e, conseqüentemente, não podiam armazenar programas. Para produzir uma nova peça, a máquina tinha que reler o programa gravado em fitas ou cassetes a todo momento e executar cada instrução antes de continuar o processo. As máquinas CNC, introduzidas a partir dos anos setenta, armazenam um programa na memória na sua primeira edição e o processa de uma só vez. Isto permite mais rapidez ao produzir um número de peças idênticas. Tais máquinas CNC possuem um computador agregado que permite ao operador ler, analisar, simular, corrigir e editar o programa, enquanto as máquinas CN requeriam a fabricação de uma nova fita para qualquer que fosse a alteração. Essencialmente, o computador é o que distingue o CNC do CN.

Como todos os computadores, o computador da máquina CNC trabalha com um princípio binário usando somente dois caracteres, um e zero, para processar informações. Há dois estados: um estado com tensão (um) e um estado sem tensão (zero). Séries de “um e zero” são os únicos estados que o computador distingue. Isso resulta no que é chamado de “linguagem de máquina” e é a única linguagem que o computador compreende. Ao criar o programa, o programador não se importa com a linguagem de máquina, usa simplesmente uma lista de códigos e palavras. O *software* interno compila o programa para a linguagem de máquina e esta faz os movimentos necessários através de motores.

Entretanto, a versatilidade de programação da máquina CNC depende do tipo de computador que a controla. Máquinas CNC modernas usam processadores em seus computadores que permitem um processamento mais rápido e preciso. Isto resulta em economia de tempo na elaboração de programas e na utilização da máquina.

MOTORES DE ACIONAMENTO

Amic (1997) relata ainda que os motores de acionamento controlam o movimento de deslocamento dos carros das máquinas CN e CNC. São utilizados basicamente quatro tipos de motores: motores de passo, servo motores de corrente contínua, servo motores de corrente alternada e servo motores hidráulicos.

Os motores de passo convertem cada pulso digital, gerado pela unidade de controle (MCU), em um pequeno ângulo de rotação. O número dos pulsos que o MCU emite ao motor controla sua rotação. Os motores de passo são usados na maior parte nas aplicações onde um baixo torque é requerido.

Os servo motores de corrente contínua (c.c.) são motores com velocidade variável em função da tensão aplicada. São usados para movimentar fusos e mecanismos de engrenagens e fornecem torques maiores que os motores de passo. Os atuais servo motores de corrente alternada (c.a.) controlam a velocidade pela variação de frequência da tensão. Fornecem mais força que um servo motor c.c.. São usados também para movimentar fusos e mecanismos de engrenagens. Servo motores hidráulicos também são motores de velocidade variável e produzem mais força do que os servo motores elétricos.

SISTEMAS DE CONTROLE

Conforme Amic (1997) existem dois tipos de sistemas de controle em máquinas CN e CNC: controle de malha aberta e controle de malha fechada. A precisão da máquina é determinada pelo tipo de malha de controle utilizada.

O sistema de controle de malha aberta, visto na Figura 2.25, não fornece à unidade de controle nenhuma informação de retorno (comumente chamada de “*feedback*”) da real posição dos componentes da máquina.

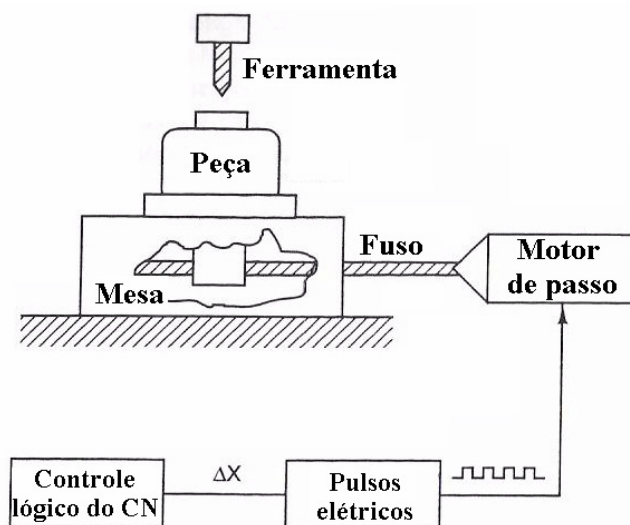


Figura 2.25- Sistema de controle de malha aberta

Os pulsos de movimento são emitidos pelo controle e recebidos por um motor de passo, controlando sua rotação. Este sistema de controle somente conta pulsos e não pode identificar discrepâncias de posicionamento. Devido a isso, o controle não tem nenhuma maneira de saber se a ferramenta, por exemplo, alcançou a posição correta. A máquina continuará com esta imprecisão até que alguém perceba o erro e o corrija. O controle em malha aberta é usado nas aplicações em que não há nenhuma mudança em condições de carga, tais como furadeiras CN. A vantagem do sistema de controle de malha aberta é seu baixo custo, pois não requer equipamentos eletrônicos especiais para informações de “*feedback*”.

No sistema de controle de malha fechada, ilustrado na Figura 2.26, pulsos eletrônicos de movimento são emitidos do controle ao motor, permitindo que este gire a cada pulso.

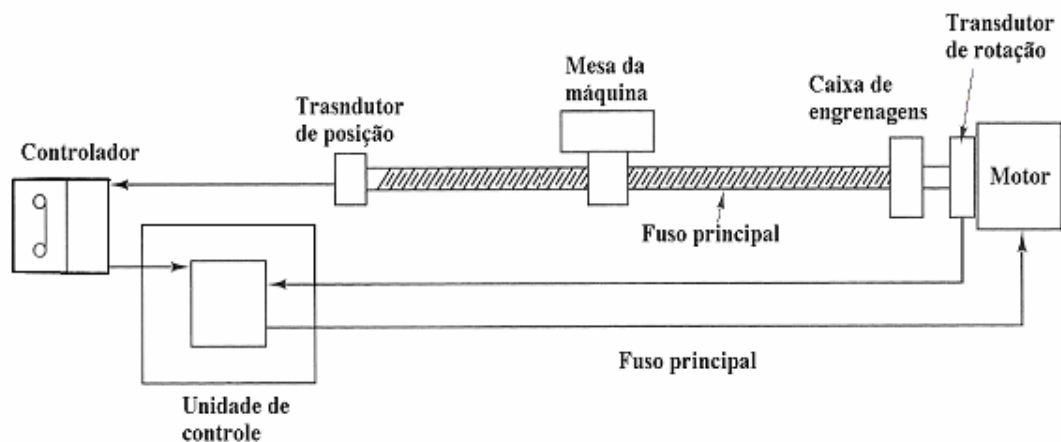


Figura 2.26 – Sistema de controle de malha fechada

Os movimentos são detectados e contados por um dispositivo de *feedback* chamado “transdutor”. A cada movimento, o transdutor emite um sinal de volta ao controle, que compara a posição atual do fuso da máquina com a posição programada. Quando o número de pulsos emitidos e recebidos coincidirem, o controle começa a emitir pulsos para o movimento

seguinte. Os sistemas de malha fechada são muito precisos, têm uma compensação automática de erro, pois o transdutor indica o erro e o controle faz os ajustes necessários para corrigi-los. Neste sistema são utilizados motores de corrente contínua, alternada e servo motores hidráulicos.

TROCADORES DE FERRAMENTAS

Amic (1997) comenta que na maioria das vezes, várias ferramentas são utilizadas para a fabricação de uma peça. As ferramentas devem ser recolocadas rapidamente para a próxima operação da máquina. Por essa razão a maioria das máquinas ferramenta CN e CNC é equipada com “trocadores automáticos de ferramentas”, tais como “magazines” em centros de fresamento e “torres” em centros de torneamento, vistos na Figura 2.27, os quais permitem a troca de ferramentas sem a intervenção do operador.

Tipicamente, um trocador automático do tipo magazine retira a ferramenta do eixo árvore da máquina e recoloca outra ferramenta. Na maioria das máquinas com trocadores automáticos a torre ou o magazine podem girar em ambos sentidos. A troca automática de ferramentas é o assunto principal deste trabalho.

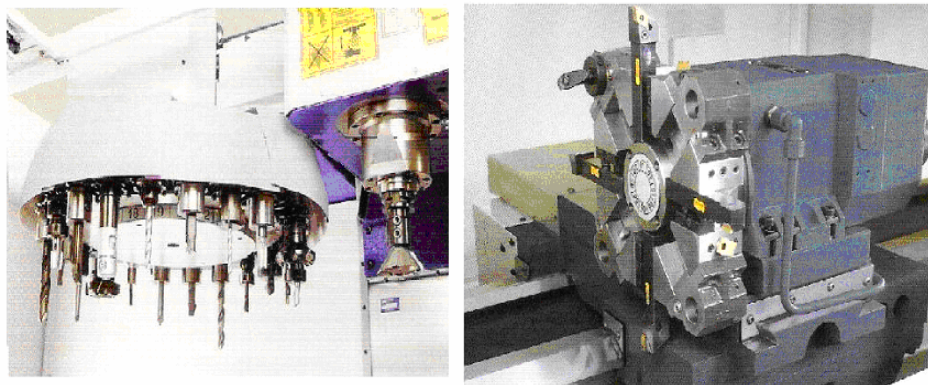


Figura 2.27 – Trocadores tipo magazine e tipo torre

2.8.3 INTRODUÇÃO À PROGRAMAÇÃO CNC

O programa CNC é uma maneira que o homem criou para se comunicar com a máquina por meio de códigos. É a transformação de um desenho em números e letras que, ordenadas adequadamente de acordo com o “processo de usinagem”, irão formar o “programa” para a fabricação da peça na máquina CNC.

O “processo de usinagem” é o planejamento de como uma peça será fabricada. Em muitas empresas o processo ainda é elaborado sendo registrada a seqüência das operações necessárias para a fabricação de uma determinada peça em “folhas de processo”, conforme figura 2.28, as quais possuem a descrição da operação, a máquina, as ferramentas a serem utilizadas, as rotações e avanços, enfim, todas as informações necessárias para a obtenção da operação a ser executada.


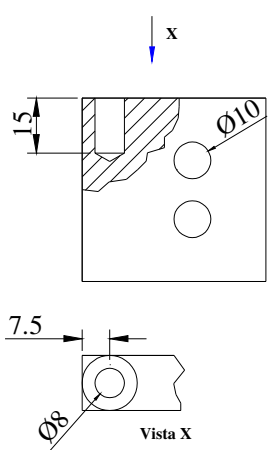
 Centro Estadual de Educação Tecnológica "Paula Souza" Escola Técnica Estadual "Jorge Street"				Folha de Processo de Usinagem			
Peca n° 01	Peça Nome Corpo	Material Alumínio tref./50		Desenho da Operação			
Máquina	Furadeira Radial	Dureza					
Operações							
N°	Descrição	Tempo de Corte	Tempo Total				
10	Furar Ø8	3 min.	5 min.				
20	Furar 2 x Ø 10 passantes	3min.	4min.				
Ferramentas							
N°	Descrição	VC m/min	RPM	Avanço mm/rot	Prof. de Corte mm		
01	Broca / Centro Ø3mm.		1350				
02	Broca - Ø8mm.		600				
03	Broca - Ø10mm.		480				
04	Escariador		65				
Dispositivo : Morsa e Mandril							
Refrigeração : Óleo Solúvel							
Observações : _____							
Elaborado por : André Ricardo Cotting.				Data : 29 /11 /02		Folha 04 / 10	

Figura 2.28 – Exemplo de uma folha de processo

Atualmente, em algumas empresas, com a introdução de alguns conceitos como Tecnologia de Grupo, Células de Manufatura e CAPP (Planejamento e Processo Auxiliados por Computador), as folhas de processo são geradas no projeto do produto, em função de suas características geométricas e das máquinas necessárias à sua fabricação.

O “programa” é caracterizado por uma seqüência de sentenças que são memorizadas pelo comando, isto é, pela memória do computador da máquina, e executadas na usinagem uma após a outra. Um bom programa depende de um bom processo, levando sempre em consideração a ordem das operações, do ferramental e a criatividade do programador.

Conforme Domingues (2005) todas as máquinas ferramenta CNC são comandadas por um sistema de coordenadas cartesianas na elaboração de qualquer perfil geométrico. São duas retas que se cruzam em um ponto qualquer do espaço, cujo cruzamento é o início de todo o processo, como se observa na Figura 2.29, dando origem ao sistema de coordenadas.

Coordenadas são todos os pontos relacionados com a geometria do desenho que orientam o programador na elaboração dos programas.

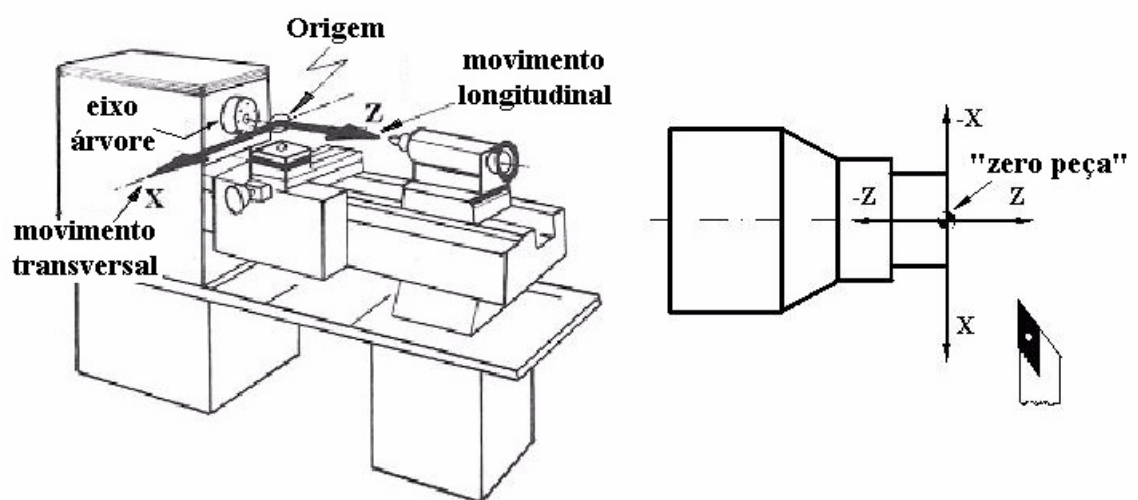


Figura 2.29 –Eixos coordenados dos tornos CNC

O plano formado pelo cruzamento de uma linha paralela ao movimento transversal (eixo X) com uma linha paralela ao movimento longitudinal (eixo Z) define o sistema de coordenadas do torno CNC. Com esses eixos é obtido cada contorno desejado de uma peça. Além dos eixos de avanço também existe o eixo árvore principal.

O eixo transversal (X) é relacionado no torno CNC com as coordenadas de diâmetros e tem um ponto de referência definido que coincide com a linha de centro do eixo árvore principal da máquina e se denomina “X zero”.

O eixo longitudinal (Z) é relacionado no torno CNC com as coordenadas de comprimento e tem um ponto de referência que poderá ser estabelecido em qualquer lugar, de acordo com o programador, dentro da área de trabalho da máquina. Deve-se procurar sempre um ponto de referência em que a programação seja fácil, rápida e objetiva, ao qual recebe o nome de ponto “zero peça”.

No eixo árvore principal, ilustrado na Figura 2.30, são estabelecidas as rotações e a fixação das peças a serem usinadas, por meio de placas com duas, três ou quatro castanhas, pinças ou dispositivos especiais.

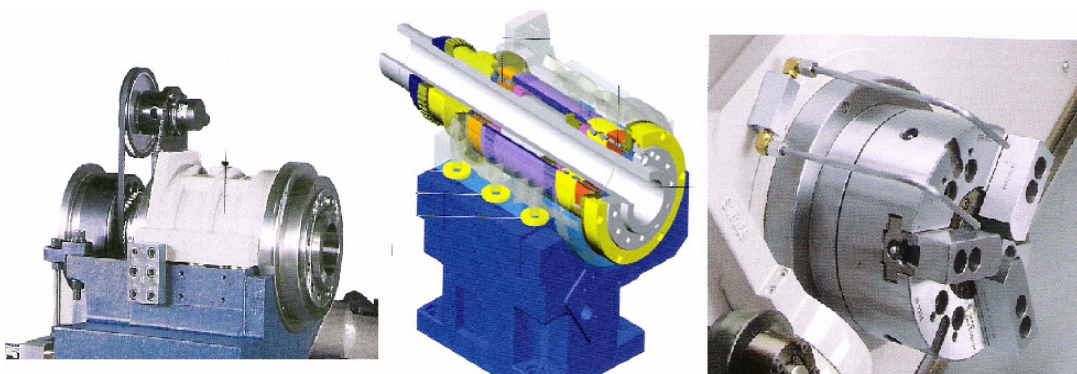


Figura 2.30 – Detalhes do eixo árvore principal

SISTEMAS DE COORDENADAS

Domingues (2005) comenta que no sistema de programação CNC é possível utilizar dois tipos diferentes de coordenadas, exemplificadas na Figura 2.31, sem alterar a geometria da peça:

- . Coordenadas absolutas
- . Coordenadas incrementais

As coordenadas absolutas são as que se relacionam sempre com um ponto de referência (ponto zero peça) fixo no desenho e podem ser chamadas também de medidas de referência ou medidas reais, lembrando sempre que X corresponde ao diâmetro e Z corresponde ao comprimento.

Coordenadas incrementais é o sistema em que cada medida introduzida tem sempre como referência um ponto anterior. Neste sistema se deve levar em consideração somente o movimento a ser executado. O sistema incremental não é muito comum de ser usado, mas é possível aplicá-lo em algumas operações dentro de um programa.

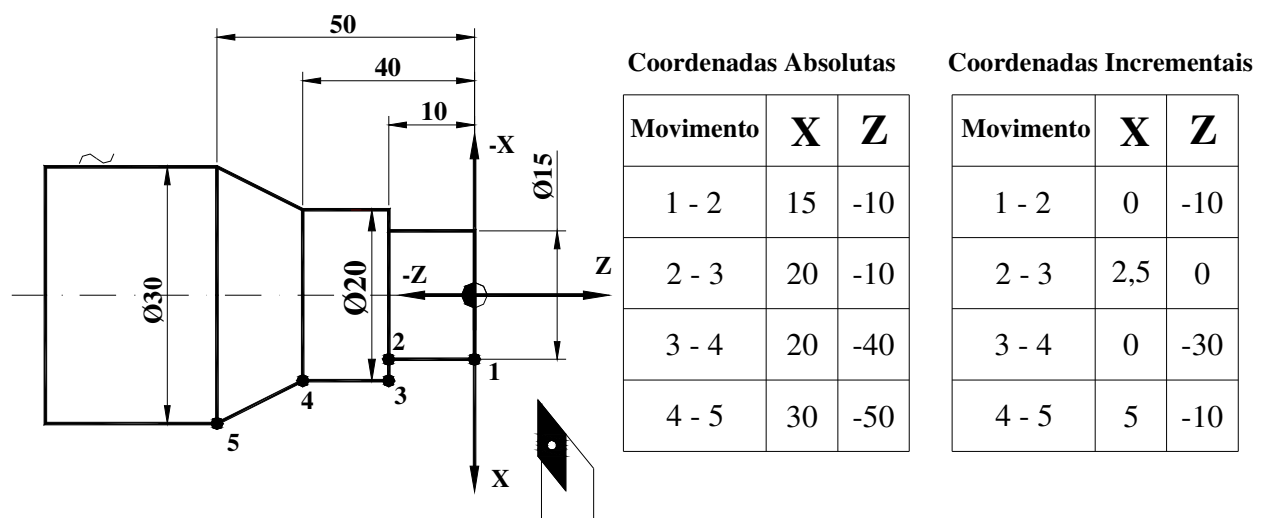


Figura 2.31 - Exemplo de peça torneada no CNC e os sistemas de coordenadas

INFORMAÇÕES TECNOLÓGICAS PARA PROGRAMAÇÃO CNC

Domingues (2005) relata que em um programa CNC, além de coordenadas geométricas, são necessárias outras informações complementares de usinagem com instruções e condições adicionais como rotação, velocidade de corte, avanço, dados de ferramentas, limites, etc.

A rotação (n) a ser utilizada depende do material da peça, material da ferramenta, tipo de operação, da velocidade de corte (V_c) recomendada pelo fabricante da ferramenta e é calculada aplicando-se a seguinte fórmula:

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times d} \text{ rpm} \quad (2.3)$$

Onde V_c (m/min) é a velocidade de corte recomendada e d (mm) é o diâmetro da peça a ser usinado.

A velocidade de corte constante (V_{cc}) é a preferencial em um programa CNC. Ao ser selecionada, o comando calcula em cada fase da usinagem a rotação em função do diâmetro, isto é, à medida que o diâmetro diminui, a rotação aumenta e quando o diâmetro aumenta, a rotação diminui proporcionalmente. Sendo assim, sempre tem-se a rotação ideal. Normalmente é aplicada em desbastes e acabamentos.

A velocidade de corte a ser utilizada em uma operação de usinagem é fornecida por fabricantes de ferramentas, conforme exemplificado na Figura 2.32, em função principalmente do tipo de operação, do material da peça e do material da ferramenta.

TORNEAMENTO

Pastilhas negativas - T-MAX P

Desbaste de aços.








Geometria -PR						Dados de corte CoroKey, CMC 02.1/HB 180					
Economia no desbaste de aços.											
Dupla face com geometria positiva para melhor economia e performance excepcional no desbaste, até mesmo de peças delgadas.											
Quebrador de cavacos multifunção com área de trabalho a mais ampla possível.											
Dupla face	r_e		GC4015	GC4025	GC4035	Área de aplicação		v_c (m/min), recomendada			
						a_p mm	f_n mm/r	GC4015	GC4025	GC4035	
	CNMG	12 04 08-PR	★	★	★	4 (0,7-7)	0,35 (0,2-0,5)	375	310	185	
		12 04 12-PR	★	★	★	4 (1-7)	0,4 (0,25-0,7)	355	290	175	
		12 04 16-PR	★	★	★	4 (1,5-7)	0,5 (0,32-0,75)	320	265	160	
		16 06 08-PR	★	★	★	5 (0,7-8)	0,35 (0,2-0,5)	375	310	185	
		16 06 12-PR	★	★	★	5 (1-8)	0,4 (0,25-0,7)	355	290	175	
		16 06 16-PR	★	★	★	5 (1,5-8)	0,5 (0,3-0,8)	320	265	160	
	DNMG	15 06 08-PR	★	★	★	4 (0,7-6)	0,35 (0,2-0,5)	375	310	185	
		15 06 12-PR	★	★	★	4 (1-6)	0,4 (0,25-0,7)	355	290	175	
		15 06 16-PR	★	★	★	4 (1,5-6)	0,5 (0,32-0,75)	320	265	160	
	SNMG	12 04 08-PR	★	★	★	4 (0,7-7)	0,35 (0,2-0,5)	375	310	185	
		12 04 12-PR	★	★	★	4 (1-7)	0,4 (0,25-0,7)	355	290	175	
		12 04 16-PR	★	★	★	4 (1,5-7)	0,5 (0,32-0,75)	320	265	160	
		15 06 08-PR	★	★	★	5 (1,5-8)	0,35 (0,2-0,5)	375	310	185	
		15 06 12-PR	★	★	★	5 (1-8)	0,4 (0,25-0,7)	355	290	175	
		15 06 16-PR	★	★	★	5 (1,5-8)	0,5 (0,3-0,8)	320	265	160	
		15 06 24-PR	★	★	★	5 (2-8)	0,5 (0,32-0,9)	320	265	160	
	TNMG	16 04 08-PR	★	★	★	3 (0,7-6)	0,35 (0,2-0,55)	375	310	185	
		16 04 12-PR	★	★	★	3 (1-6)	0,4 (0,25-0,65)	355	290	175	
	WNMG	22 04 08-PR	★	★	★	4 (0,7-7)	0,35 (0,2-0,55)	375	310	185	
		22 04 12-PR	★	★	★	4 (1-7)	0,4 (0,25-0,65)	355	290	175	
		22 04 16-PR	★	★	★	4 (1,5-7)	0,5 (0,32-0,75)	320	265	160	
				06 04 08-PR	★	★	★	3 (0,7-3,5)	0,3 (0,2-0,45)	395	330
06 04 12-PR	★			★	★	3 (0,8-3,5)	0,35 (0,25-0,55)	375	310	185	
08 04 08-PR	★			★	★	4 (0,7-5)	0,35 (0,2-0,55)	375	310	185	
08 04 12-PR	★			★	★	4 (1-5)	0,4 (0,25-0,7)	355	290	175	
		08 04 16-PR	★	★	★	4 (1,5-5)	0,5 (0,32-0,75)	320	265	160	



Figura 2.32 - Valores recomendados de velocidade de corte para desbaste de aço com ferramentas de metal duro (Cortesia: SANDVIK)

Estabelecer um limite de rotação em máquinas CNC é uma questão de segurança, principalmente quando a opção é a velocidade de corte constante. O objetivo maior é limitar rotações em peças de grande porte e peso excessivo ou em dispositivos de fixação, para que se trabalhe com rotações adequadas e seguras. Quando este limite não é ativado, a máquina pode atingir a sua rotação máxima e provocar algum acidente.

O avanço da ferramenta é dado normalmente em milímetros por rotação, é a opção preferida nos processos de torneamento e definido pela letra F em todos os comandos CNC.

ELABORAÇÃO DO PROGRAMA

Antes de começar o programa, deve ser montado um processo de usinagem com a definição das operações, isto é, qual será a primeira, a segunda ou quantas mais operações forem necessárias em uma ordem lógica. Além disso deve ser feito um estudo do desenho da peça pronta e verificar as dimensões do material bruto.

Devem ser previstos também os pontos para a troca das ferramentas. São coordenadas que definem o local das trocas manuais ou automáticas de ferramentas. Os procedimentos de programação são simples. O importante é que a troca de ferramentas seja executada em um ponto seguro e sem perigo de colisões. Essas coordenadas de troca devem ser programadas sempre que houver mudança de ferramenta.

A maioria das máquinas CNC é equipada com caixas de engrenagens para que sejam selecionadas, por meio do programa ou por um processo manual de alavancas, faixas de rotação mais ou menos potentes de acordo com a necessidade do processo de usinagem. Na programação isto é feito por meio de funções auxiliares que podem mudar de acordo com o fabricante do comando. Existem casos específicos, como torneamentos pesados que exigem

mais força, como desbaste, e torneamentos leves onde rotações altas possibilitam uma melhor qualidade de acabamento.

A linguagem G foi adotada pelo sistema ISO (*International System Organization*) como um padrão a ser usado pelos fabricantes de comandos, com algumas normas rígidas, mantendo funções básicas e universais, funções que não podem ser definidas de maneira diferente e que tenham a mesma finalidade em todos os comandos. A possibilidade de algumas funções serem diferentes dentro de um mesmo sistema aumentou a criatividade entre os fabricantes, dessa forma, alguns comandos oferecem mais recursos que outros. Os comandos mais utilizados em máquinas CNC são os dos fabricantes FANUC, MITSUBISHI, SIEMENS, MACH e MCS.

Na elaboração do programa CNC várias letras padronizadas pela ISO e pela EIA (*Electronic Industries Association*) são utilizadas na grande maioria dos comandos:

Letra	Significado
O	Número do programa
N	Número da linha do programa
G	Comandos de deslocamento e cálculo
M	Funções auxiliares ou miscelâneas
F	Velocidade de avanço
T	Chamada de ferramenta
S	Rotação do fuso
X / Z	Coordenadas em valores absolutos
U / W	Coordenadas em valores incrementais
I / K	Parâmetros para interpolação de centro de círculo

A linguagem de programação estabelece através de quais regras as linhas de programação são formadas num programa. A condição básica para uma linguagem de programação CNC é estabelecida pela norma DIN 66025. As linhas são constituídas por um determinado número de palavras, as quais são constituídas por letras de comando e sequência de algarismos.

Exemplo de uma linha constituída por seis palavras de programação:

<u>N</u> 20	G01	X40	Z-20	<u>F</u> 150	S1500
↙				↘	
letras de comando				palavras de programação	

Em sua ação as palavras de programação podem ser instruções ou condições complementares, dependendo da letra com que esta é iniciada. A letra mais importante de endereço para instruções é a letra G, denominada de “função preparatória”.

Através das instruções G (G00 até G99) são comandados principalmente os movimentos de deslocamento das ferramentas, razão pela qual também são conhecidas como “condições de trajetória”.

São listadas em seguida o significado de algumas funções preparatórias padronizadas, utilizadas pela grande maioria dos fabricantes de comandos CNC:

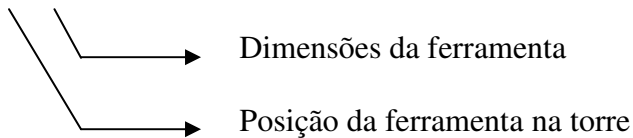
G00 (avanço rápido): usada normalmente para aproximações ou recuos das ferramentas, esta função tem avanço próprio, podendo atingir os limites dos eixos da máquina, que podem ser também controlados por potenciômetro de avanço. Pode-se dizer que esta função gera movimentos improdutivos dentro do processo de usinagem.

G01 (interpolação linear): esta função é usada para execução de avanços lentos, isto é, avanços de usinagem programados de acordo com as necessidades do programador, levando-se em consideração vários outros fatores, como ferramentas e material a ser usinado. Esta função executa movimentos retilíneos.

G02 e G03 (interpolação circular): estas funções são usadas para gerar arcos, ou seja, perfis circulares até cento e oitenta graus no torneamento, podendo formar uma esfera completa, sendo que sempre que for executado um processo de interpolação circular, a ferramenta estará posicionada no início do arco. Então, basta informar para o comando as coordenadas finais e o raio. A instrução G02 atua no sentido horário e a instrução G03 atua no sentido anti-horário.

Função T (chamada de ferramenta): com esta função é selecionada a posição da torre onde a ferramenta está fixada e são definidas, através da “biblioteca de ferramentas” memorizada no comando da máquina, o raio da ponta da ferramenta e as suas dimensões em relação aos eixos X e Z.

Exemplo: T 01 01



Dimensões da ferramenta

Posição da ferramenta na torre

O programa CNC é constituído por uma sequência de informações para o processo de usinagem de uma peça. É definido o início do programa como “cabeçalho”, que pode variar de acordo com o comando. Há uma ordem lógica nesse processo estrutural com as funções apropriadas, de modo que o comando interprete os parâmetros e envie os dados necessários para que a máquina execute as operações que foram programadas. Um resumo da estrutura do programa CNC pode ser observado da Tabela 2.1 da página 72.

O conhecimento dos recursos que os comandos oferecem são fundamentais no processo de programação. Um bom programa depende de um bom processo, por isso a criatividade do programador e seus conhecimentos técnicos são fatores muito importantes.

Como as funções preparatórias, as funções miscelâneas (M) permitem uma variedade de funções especiais. Funções miscelâneas são tipicamente usadas como interruptores

programáveis (como liga e desliga o fuso, liga e desliga o fluido de corte). Estas funções também são usadas para permitir a programação de muitas outras funções. Nas tabelas 2.2 e 2.3 da página 73 podem ser verificadas as principais funções preparatórias e funções miscelâneas. Na página 74 é exemplificado um programa CNC.

Nas máquinas CNC é possível ao operador simular um programa editado, antes mesmo de iniciar a fabricação da primeira peça. Esse recurso é muito importante, pois permite a verificação da seqüência das operações, das ferramentas utilizadas, dos parâmetros de corte, das medidas finais da peça (em algumas máquinas) e das correções que se fizerem necessárias. A simulação pode ser feita em um microcomputador através de um *software* específico ou no monitor da própria máquina, como exemplificado na Figura 2.33. Só depois que é simulado o programa, a primeira peça é executada.

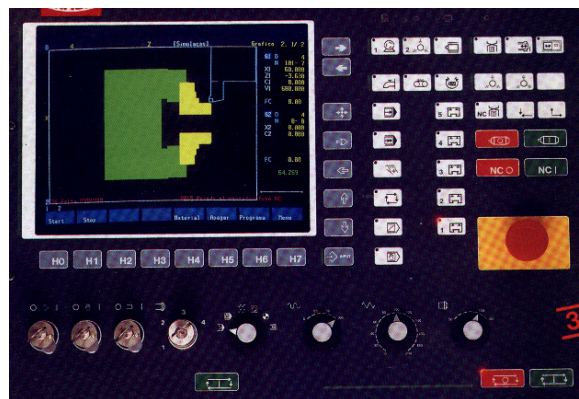


Figura 2.33 - Painel de comando com a tela gráfica de simulação

Tabela 2.1 - Resumo da estrutura do programa CNC

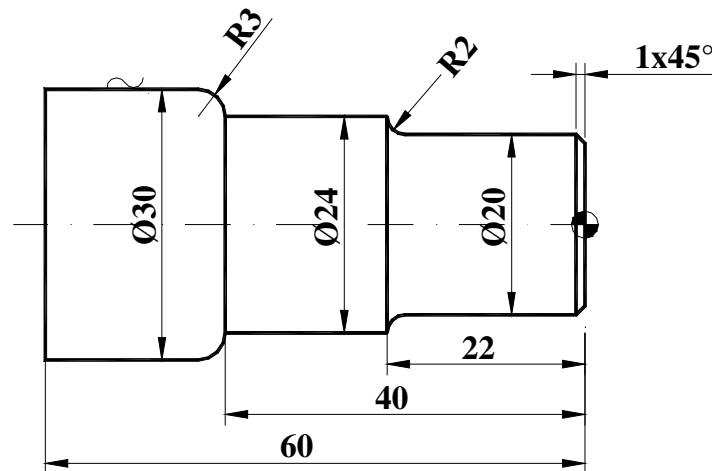
Preparação	Número do programa
	Escolher unidades
	Definir dados tecnológicos (rotação do fuso, velocidade de avanço, refrigeração)
	Limitar rotação do fuso
	Chamar ferramenta
Remoção do material	Avanço rápido
	Corte
Término do programa	Retornar ferramenta à posição de troca
	Desligar fuso, fluido de corte e finalizar programa

Tabela 2.2 - Principais funções preparatórias (códigos “G”) do comando *FANUC*

Código	Descrição
G00	Posicionamento rápido
G01	Interpolação linear (avanço de trabalho)
G02	Interpolação circular CW (horário)
G03	Interpolação circular CCW (anti-horário)
G04	Tempo de espera (<i>Dwell</i>)
G20	Entrada de dados em polegadas
G21	Entrada de dados em milímetros
G28	Ponto de referência (<i>Home</i>)
G32	Corte de rosca
G40	Cancelamento da compensação do raio da ferramenta
G41	Compensação do raio da ferramenta à esquerda
G42	Compensação do raio da ferramenta à direita
G50	Limitação da rotação do eixo árvore
G70	Ciclo de acabamento
G71	Ciclo de desbaste longitudinal
G73	Ciclo de desbaste paralelo
G74	Ciclo de furação
G75	Ciclo de sangramento
G76	Ciclo de rosqueamento
G90	Ciclo de torneamento
G96	Velocidade de corte constante
G97	Rotação constante
G98	Velocidade de avanço em mm / minuto
G99	Velocidade de avanço em mm / rotação

Tabela 2.3 – Principais funções miscelâneas (códigos “M”) do comando *FANUC*

Código	Descrição
M00	Parada do programa
M03	Rotação do eixo árvore no sentido horário
M04	Rotação do eixo árvore no sentido anti-horário
M05	Parada do eixo árvore
M06	Troca automática da ferramenta
M08	Ligar refrigeração
M09	Desligar refrigeração
M10	Abrir dispositivo de fixação da peça
M11	Fechar dispositivo de fixação
M30	Fim de programa
M38	Abrir porta de proteção
M39	Fechar porta
M98	Chamada de Subprograma
M99	Final de Subprograma

Exemplo de um programa CNC utilizando o comando *FANUC*

O0002	número do programa
N10 G96 S150	eixo árvore com Vcc de 150 m/min
N20 G50 S2000	limitação da rotação em 2000 rpm
N30 G99 F0.1 G21	avanco com 0,1 mm/min e unidades em milímetros
N40 M08 M03	ligar refrigeração e o eixo árvore no sentido horário
N50 M06 T0101	troca automática de ferramenta
N60 G00 X32 Z0	deslocamento rápido
N70 G01 X-1 Z0	interpolação linear com o avanço programado (corte)
N80 G01 X30 Z1	
N90 G90 X25 Z-39	ciclo de desbaste
N100 G00 X25	
N110 G90 X21 Z-20	
N120 G00 X60 Z30	ponto de troca de ferramenta
N130 M05	parada do eixo árvore
N140 M06 T0202	troca automática de ferramenta
N150 G96 S200 M03	aumento da Vcc e ligar fuso
N160 G00 X18 Z1	
N170 G01 X18 Z0	
N180 G01 X20 Z-1 F100	
N190 Z-20;	
N200 G02 X24 Z-22 R2	interpolação circular no sentido horário
N210 G01 Z-40	
N220 G03 X30 Z-43 R3	interpolação circular no sentido anti-horário
N230 G00 X60 Z30	
N240 M30	fim de programa e retorno ao início

2.8.4 APLICAÇÕES, VANTAGENS, DESVANTAGENS E LIMITAÇÕES DAS MÁQUINAS CNC

Apesar da grande versatilidade, flexibilidade e outras vantagens, nem todos os tipos de peças devem ser fabricados em máquinas CNC. Antes de se pensar na sua utilização é necessário analisar as características, complexidade, acabamento e tolerâncias da peça a ser fabricada, como também quantidades a serem produzidas. O CNC não é vantajoso quando a estrutura da empresa não é adaptada para aproveitar sua tecnologia e é um prejuízo quando necessário e não utilizado.

Aplicações:

- Produção de lotes pequenos e médios;
- Fabricação de peças com superfícies complexas;
- Quando são exigidas precisão e repetibilidade;
- Peça de execução difícil e matéria prima cara;
- Onde a manutenção do estoque é antieconômica;
- Na fabricação de protótipos;
- Operações em lugares insalubres e perigosos.

Vantagens:

- Aumento considerável na produtividade devido à redução de tempos secundários;
- Redução do custo da mão de obra;
- Possível eliminação das operações de acabamento, dependendo da aplicação da peça, dada a capacidade de operar com tolerâncias bastante reduzidas;
- Operação do equipamento em vários turnos (não necessita de tanto acompanhamento);

- Processar lotes de peças diferentes não havendo número mínimo para considerar lote econômico;
- Maior facilidade na previsão e determinação dos tempos de fabricação;
- Maior facilidade de otimização da fábrica;
- Redução do número de ferramentas e possibilidade de utilizar ferramentas padronizadas para executar operações especiais;
- Simplificação e eliminação de dispositivos especiais de fabricação;
- Redução de refugos e problemas vindos da falta de ajuste na montagem;
- Redução de espaço ocupado pela máquina e serviços gerais;
- Maior flexibilidade no planejamento e controle da produção;
- Diminuição dos estoques intermediários;
- Diminuição do custo de fabricação.

Desvantagens e limitações:

- Investimento de um modo geral elevado;
- Custo de manutenção mais elevado (inclui eletrônicos);
- Necessidade de uma melhor e mais racional organização do que a comumente encontrada;
- O CNC não é vantajoso na produção de:
 - . Componentes simples;
 - . Grandes lotes;
 - . Sem operações complexas e com dispositivos especiais;
 - . Grandes tolerâncias.

CAPÍTULO 3

PROPOSIÇÃO

Em 1998 o CEFETSP (Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo) adquiriu duas máquinas CNC industriais para serem utilizadas nos cursos Técnicos e Tecnológicos de Automação e Processos de Produção: uma fresadora e um torno. No recebimento dessas máquinas foi constatado que esse último não possuía a torre de troca automática de ferramentas. Nesta máquina a troca das ferramentas é feita manualmente, dependendo da necessidade da peça a ser executada. Esse procedimento se torna cansativo, perigoso, não condizente com uma máquina CNC e impede que esta possa pertencer a um sistema integrado com outras máquinas controladas numericamente.

O trabalho aqui apresentado teve por objetivo o desenvolvimento, a fabricação e a implementação de um dispositivo de troca automática de ferramentas para este torno CNC, totalmente independente do seu controle eletrônico e sem a necessidade de alterações nos componentes mecânicos ou eletrônicos do torno. Um esquema do projeto inicial é apresentado na Figura 3.1.

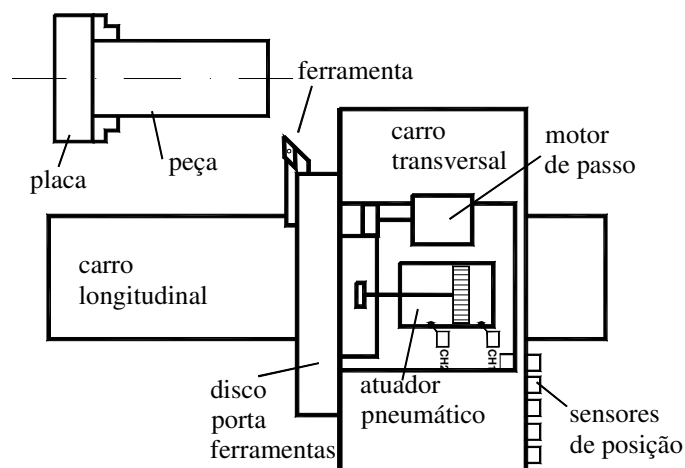


Figura 3.1 – Esquema de funcionamento do projeto inicial

Estudos iniciais previam a fabricação de uma torre que, dependendo da ferramenta a ser utilizada pelo programa, funcionasse quando o carro transversal do torno se deslocasse até uma certa posição no eixo X. Dependendo desta posição, um sensor e um microcontrolador fariam com que um motor de passo começasse a girar e posicionasse a ferramenta desejada fixada no disco porta ferramentas da torre, o qual antes foi desalojado do seu acoplamento por um dispositivo que funcionasse com ar comprimido (cilindro pneumático). Após a ferramenta correta ser posicionada, o dispositivo faria novamente o acoplamento do conjunto, o operador visualizaria o número da ferramenta em um *display*, para que ele se certificasse que era aquela prevista no programa, e depois acionasse um botão de continuação do processo.

Apesar do torno CNC escolhido para a implantação da torre ser uma máquina industrial, isto é, projetada para a fabricação de peças metálicas, no CEFETSP normalmente são usinadas peças, mostradas na Figura 3.2, partindo-se de barras de PVC (policloreto de vinila), o mesmo material plástico utilizado em tubulações hidráulicas residenciais. Isto se deve ao fato deste material ter as vantagens de não desgastar tanto as ferramentas, não necessitar de líquido refrigerante, não produzir cavacos cortantes, ser de fácil manuseio, acondicionamento e possibilidade de reciclagem, mesmo porque, o ambiente é didático.



Figura 3.2 – Peças fabricadas no torno CNC do CEFETSP

Devido a esse fator, o projeto do dispositivo foi direcionado para algo simples, a um baixo custo e sem a necessidade de suportar as altas forças de corte advindas da usinagem de materiais metálicos, mantendo basicamente a idéia inicial do projeto. Objetivou-se também a visualização do funcionamento de seus componentes internos fixando-os dentro de uma caixa transparente de acrílico.

Foram estudados os atuais sistemas de troca automática das máquinas CNC e proposto um dispositivo com componentes mecânicos e eletrônicos que pudesse ser alimentado por uma simples tomada elétrica. É proposto também que ele funcione com sensores, um microcontrolador e um motor elétrico, ativados pelo movimento do carro transversal do torno, sendo seu funcionamento basicamente o mesmo apresentado nos estudos iniciais, diferenciando apenas na utilização de um motor de corrente contínua no lugar de um motor de passo e da não utilização do cilindro pneumático para o acoplamento e desacoplamento do disco porta ferramentas.

Vale aqui ressaltar que a empresa fabricante do torno CNC fornece este tipo de dispositivo, mas não garante que seja adaptável à máquina existente no CEFETSP, a não ser que se troque todo seu controle eletrônico, o que seria completamente inviável devido ao seu alto custo.

Foram estudados e comparados motores, microcontroladores e sistemas de transmissão com o objetivo de procurar o melhor desempenho com o menor custo possível para todo o conjunto, visando obter-se uma troca automática de ferramentas mais simples e a um menor custo que a fornecida pelo fabricante da máquina e que atendesse totalmente as expectativas e necessidades de operação do torno escolhido.

Nos capítulos seguintes são detalhados o projeto e a fabricação do dispositivo.

CAPÍTULO 4

MATERIAL E MÉTODO

4.1 PROCEDIMENTOS INICIAIS

Para o desenvolvimento deste trabalho, primeiramente foi contatado o setor de vendas do fabricante do torno CNC em estudo, visando o levantamento de custos da torre por eles fabricada. Foi solicitado que fossem verificadas necessidades de alterações em partes mecânicas e eletrônicas da máquina e, principalmente, se o comando existente no torno seria compatível com a torre a ser fornecida.

Após vários contatos, o departamento técnico da empresa descartou a possibilidade de fornecimento da torre devido a não terem informações suficientes sobre o comando existente, fabricado por uma empresa americana, não garantindo assim seu funcionamento. A sugestão foi trocar todo o comando da máquina, o que seria inviável devido aos altos custos envolvidos. Mesmo assim a torre por eles fornecida foi estimada em quarenta mil reais (o equivalente a aproximadamente treze mil dólares em 24 de setembro de 2005) que era o objetivo do CEFETSP: saber o preço do equipamento original.

Na pesquisa sobre o funcionamento das torres utilizadas em alguns tornos CNC foi constatado que o disco porta ferramentas é acionado por um motor c.c. e uma transmissão do tipo “coroa e parafuso sem-fim”. Foi verificado também que estas torres demoram, em média, cinco segundos para uma rotação completa, o que resulta em doze rotações por minuto. Assim, foi definida a rotação da torre a ser fabricada entre 10 a 15 rotações por minuto, visando um tempo de troca de ferramentas próximo ao das torres já existentes.

O espaço disponível no carro transversal do torno determinou as dimensões da base da torre e nesta área foram distribuídos todos os componentes mecânicos e eletroeletrônicos.

Para a transmissão mecânica entre a rotação do motor elétrico e a rotação do disco porta ferramentas foi escolhida a utilização de dois pares de engrenagens de dentes retos, fabricadas em aço, tendo o pinhão vinte dentes e a coroa cinquenta dentes, devido à possibilidade de fabricação destas nas oficinas do CEFETSP. Estas engrenagens fornecem uma relação de transmissão de 1:5, isto é, cada rotação do disco porta ferramentas corresponde a cinco rotações do motor, o qual deverá funcionar entre 50 e 75 rotações por minuto.

Com esses dados, estudos sobre o funcionamento de trocas automáticas de ferramentas e contatos com técnicos de empresas fabricantes de máquinas CNC, foram iniciados os cálculos necessários à determinação do motor elétrico, das características das engrenagens e as definições finais para o projeto do trabalho proposto.

4.2 DEFINIÇÃO DO MOTOR ELÉTRICO

Conforme Hughes (1993) para selecionar um motor elétrico, é preciso conhecer a carga que ele irá acionar. As primeiras informações, e as mais importantes, são o ciclo de trabalho, a potência mecânica e a rotação exigidas pela carga. Com isso é possível saber qual deverá ser a potência e a rotação do motor.

A rotação da carga pode ser bastante diferente da rotação do motor, se houver entre ambos algum dispositivo de acoplamento que varie a velocidade, que é o caso da torre desenvolvida neste trabalho.

Fillippo (2002) comenta que para análise da aceleração de partida do motor deve ser

considerado o momento de inércia total do sistema, isto é, a soma dos momentos de inércia da carga e do próprio motor. O momento de inércia indica a resistência que um corpo oferece à mudança do seu movimento de rotação em torno de um eixo e depende da geometria desse corpo e de sua massa.

O dimensionamento do motor elétrico foi feito após a determinação das dimensões do disco porta ferramentas, do eixo central e das engrenagens, mostrados na Figura 4.1.

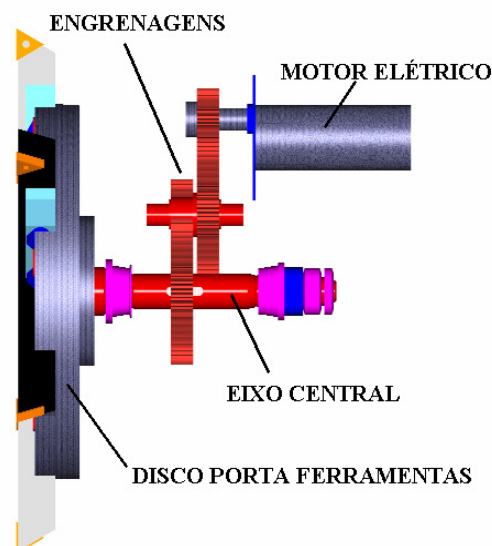


Figura 4.1 – Componentes da torre para cálculo dos momentos de inércia

O momento de inércia é obtido multiplicando-se a metade da massa da peça pelo quadrado do raio desta, isto é:

$$J = \frac{m \times r^2}{2} \quad (4.1)$$

Onde: J = momento de inércia (kg.m^2)

m = massa da peça (kg)

r = raio da peça (m)

A aceleração angular do motor (α_m) é a necessária para que este possa partir de zero até 75 rotações por minuto em um segundo e é calculada como:

$$\alpha_m = \frac{n \times 2 \times \pi}{60} \quad (4.2)$$

Onde:

α_m = aceleração angular do motor (rad/s^2)

n = rotação por minuto do motor (rpm)

O torque do motor é calculado pela equação:

$$T_m = J_t \times \alpha_m \quad (4.3)$$

Onde:

T_m = torque do motor (rad/s^2)

J_t = momento de inércia total (kg.m^2)

α_m = aceleração angular do motor (rad/s^2)

Cálculo dos momentos de inércia

Para os cálculos de momento de inércia foram determinadas as massas de cada componente em função de suas dimensões e dos materiais empregados.

Tabela 4.1 – Massa unitária para cálculo dos momentos de inércia

Peça	Massa (kg)
disco porta ferramenta	1,415
ferramenta	0,515
eixo central	0,550
engrenagem maior	0,375
engrenagem menor	0,055

- Momento de inércia do disco porta ferramentas (J_d):

(considerando a massa do disco e das seis ferramentas)

$$J_d = \frac{4,506 \times 0,10^2}{2} = 2,25 \times 10^{-2} \text{ kg.m}^2$$

- Momento de inércia do eixo central (J_e):

$$J_e = \frac{0,550 \times 0,0125^2}{2} = 4,3 \times 10^{-5} \text{ kg.m}^2$$

- Momento de inércia das engrenagens maiores (J_{e1}):

$$J_{e1} = \frac{0,375 \times 0,0375^2}{2} = 2,6 \times 10^{-4} \text{ kg.m}^2$$

- Momento de inércia das engrenagens menores (J_{e2}):

$$J_{e2} = \frac{0,055 \times 0,03^2}{2} = 2,5 \times 10^{-5} \text{ kg.m}^2$$

- Momento de inércia total (J_t):

$$J_t = J_d + J_e + (2 \times J_{e1}) + (2 \times J_{e2}) + J_m$$

$$J_t = 2,25 \times 10^{-2} + 4,3 \times 10^{-5} + (2 \times 2,6 \times 10^{-4}) + (2 \times 2,5 \times 10^{-5}) + 2 \times 10^{-4}$$

$$J_t = 2,3 \times 10^{-2} \text{ kg.m}^2 \text{ Obs.: o momento de inércia do motor (} J_m \text{) foi estimado.}$$

Cálculo da aceleração angular do motor (α_m)

$$\alpha_m = \frac{n \times 2 \times \pi}{60} = \frac{75 \times 2 \times \pi}{60} = 7,85$$

$$\alpha_m = 7,85 \text{ rad/s}^2$$

Cálculo do torque do motor (T_m)

$$T_m = J_t \times \alpha_m = 2,3 \times 10^{-2} \times 7,85$$

$$T_m = 180 \times 10^{-3} \text{ N.m}$$

Portanto o motor a ser utilizado deverá ter as seguintes características:

$$n = 75 \text{ rpm} \quad T_\alpha = 180.10^{-3} \text{ N.m}$$

Contatando fornecedores de motores elétricos, foi decidido utilizar um motor de corrente contínua de pequenas dimensões, código 1.61.046., conforme Tabela 4.2, fornecido com um redutor de velocidade acoplado, que atendeu totalmente as necessidades do projeto.

Tabela 4.2 – Características dos motores com redução (Fonte: *Buehler Motor Group*)

CÓDIGO	TRANSMISSÃO	ROTAÇÃO (rpm)	TORQUE (10^{-3} N.m)
1.61.042.	engr. reta	0,95 - 150	150 - 600
1.61.046.	engr. reta	15,5 - 1.040	25 - 300
1.61.050.	engr. reta	61,4 - 460	400 - 2.900
1.61.050.	engr. reta	4 - 92,5	900 - 5.000
1.61.070.	planetária	28 - 103	650 - 1.300
1.61.077.	planetária	14 - 260	300 - 2.000
1.61.090.003.	cora sem fim	56	3.000
1.61.090.004.	sem fim/eng. reta	20	5.000
1.61.086.	planetária	330	2.000

4.3 DIMENSIONAMENTO DAS ENGRENAGENS

Conforme Melconian (2005) no dimensionamento de um par de engrenagens é dimensionado o pinhão (engrenagem menor), pois se este resistir ao esforço aplicado, a coroa (engrenagem maior) suportará com folga a mesma carga. Para esse dimensionamento são utilizados os critérios de pressão (desgaste) e de resistência à flexão no pé do dente (ruptura).

Para o dimensionamento do pinhão foram utilizados os dados já definidos anteriormente, ou seja, motor com 75 rpm, engrenagens em aço conforme SAE 1020 com dureza de 1400 HB (MELCONIAN, 92p), pinhão com 20 dentes e coroa com 50 dentes.

Critério de pressão

- Torque no pinhão (T_p):

$$T_p = \frac{30 \times P_m}{\pi \times n} \quad (4.4)$$

$$P_m = \frac{T_m \times n}{716,2} \quad (4.5)$$

$$P_m = \frac{162 \times 10^{-3} \times 75 \times 735,5}{716,2}$$

$$P_m = 12,48 \text{ Watt}$$

$$T_p = \frac{30 \times 12,48}{\pi \times 75}$$

$$T_p = 159 \times 10^{-2} \text{ N.m}$$

Onde:

T_p = torque no pinhão (N.m)

P_m = potência do motor elétrico (Watt)

T_m = torque médio do motor elétrico, conforme Tabela 4.2 (N.m)

n = rotação do pinhão (rpm)

- Relação de transmissão (i):

$$i = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{50}{20} = 2,5$$

- Pressão admissível (P_{adm}):

$$P_{adm} = \frac{0,487 \times HB}{W^{1/6}} \quad (4.6)$$

$$W = \frac{60 \times n \times h}{10^6} \quad (4.7)$$

$$W = \frac{60 \times 75 \times 10^4}{10^6}$$

$$W^{1/6} = 1,89$$

$$P_{adm} = \frac{0,487 \times 1400}{1,89}$$

$$P_{adm} = 360 \text{ N/mm}^2$$

Onde:

P_{adm} = pressão admissível (N/mm^2)

HB = dureza do material (N/mm^2)

W = fator de durabilidade

h = duração do par (horas)

- Fator de serviço (φ):

Para eixo de transmissão, cargas uniformes e funcionamento de 10 horas diárias:

$$\varphi = 1$$

- Volume mínimo do pinhão:

$$b_1 \times d_{o1}^2 = \frac{5,72 \times 10^5 \times T_p \times 10^3 \times (i + 1) \times \varphi}{P_{adm}^2 \times (i + 0,4)} \quad (4.8)$$

$$b_1 \times d_{o1}^2 = \frac{5,72 \times 10^5 \times 159 \times 10^{-2} \times 10^3 \times (2,5 + 1) \times 1}{360^2 \times (2,5 + 0,4)}$$

$$b_1 \times d_{o1}^2 = 8470 \text{ mm}^3$$

- Módulo de engrenamento (m):

Relação entre a largura e o primitivo do pinhão: $\frac{b_1}{d_{o1}} = 0,25 \quad (4.9)$

$$b_1 = 0,25 \times d_{o1}$$

$$0,25 \times d_{o1} \times d_{o1}^2 = 8470$$

$$d_{o1}^3 = \frac{8470}{0,25}$$

$$d_{o1} = \sqrt[3]{\frac{8470}{0,25}}$$

$$d_{o1} = 32,3 \text{ mm}$$

$$m = \frac{d_{o1}}{Z_1} \quad (4.10)$$

$$m = \frac{32,3}{20} = 1,61 \text{ mm}$$

O módulo mais próximo padronizado pela DIN 780 é igual a 1,5.

- Cálculo do diâmetro primitivo do pinhão (d_{01}):

$$d_{01} = m \times Z_1 = 1,5 \times 20 \quad (4.11)$$

$$d_{01} = 30 \text{ mm}$$

- Cálculo da largura do pinhão (b_1):

$$b_1 \times d_{01}^2 = 8470 \text{ mm}^3 \quad (4.12)$$

$$b_1 = \frac{8470}{30^2} = 9,4 \text{ mm} \quad b_1 = 12 \text{ mm (adotado)}$$

Critério de resistência à flexão no pé do dente

Força tangencial:

$$F_t = \frac{2 \times T_p}{d_{01}} \quad (4.13)$$

$$F_t = \frac{2 \times 159 \times 10^{-2} \times 10^3}{30}$$

$$F_t = 106 \text{ N}$$

Fator de forma (q):

$$\text{para } Z = 20 \text{ dentes, } q = 3,367$$

Tensão máxima atuante no pé do dente (σ_{\max})

$$\sigma_{\max} = \frac{F_t \times q \times \varphi}{b_l \times m} \leq \sigma_{adm} \quad (4.14)$$

Onde σ_{adm} = tensão admissível do material

$$\sigma_{\max} = \frac{106 \times 3,367 \times 1}{12 \times 1,5}$$

$$\sigma_{\max} = 19,8 \text{ N/mm}^2$$

Como a tensão máxima atuante (19,8 N/mm²) é bem inferior à tensão admissível do material (90 N/mm² - MELCONIAN, 94p) conclui-se que a engrenagem está em perfeitas condições de utilização.

- Relação recomendada entre a largura (b_l) e o diâmetro primitivo (d_{01})

$$\frac{b_l}{d_{01}} < 1,2$$

$$\frac{b_l}{d_{01}} = \frac{12}{30} = 0,4$$

Portanto, se $\frac{b_l}{d_{01}} = 0,4 < 1,2$ a relação encontra-se dentro da especificação indicada.

Tabela 4.3 – Características geométricas do par de engrenagens

Formulário	Pinhão (mm)	Coroa (mm)
Módulo normalizado (DIN 780)	$m = 1,5$	$m = 1,5$
Número de dentes	$Z_1 = 20$	$Z_2 = 50$
Altura da cabeça do dente $h_k = m$	$h_{k1} = 1,5$	$h_{k2} = 1,5$
Altura do pé do dente $h_f = 1,25 \cdot m$	$h_{f1} = 1,875$	$h_{f2} = 1,875$
Altura total do dente $h_z = 2,25 \cdot m$	$h_{z1} = 3,375$	$h_{z2} = 3,375$
Espessura do dente no diâmetro primitivo (folga nula no flanco) $S_0 = m \cdot \pi / 2$	$S_{01} = 2,356$	$S_{02} = 2,356$
Diâmetro primitivo $d_0 = m \cdot Z$	$d_{01} = 30$	$d_{02} = 75$
Diâmetro interno $d_f = d_0 - 2,5 \cdot m$	$d_{f1} = 26,25$	$d_{f2} = 71,25$
Diâmetro externo $d_k = d_0 + 2 \cdot m$	$d_{k1} = 33$	$d_{k2} = 78$
Distância entre centros $Cc = \frac{d_{01} + d_{02}}{2} = \frac{30 + 75}{2}$ $Cc = 52,5$		
Largura das engrenagens $b1 = b2 = 12$		

4.4 DEFINIÇÕES PRELIMINARES PARA O PROJETO

Depois do dimensionamento do motor elétrico e das engrenagens, foram consultados alguns fabricantes para o levantamento de preços. O motor de passo adequado é o *NEMA 23* a um custo de R\$ 600,00. A idéia inicial era utilizar um motor de passo e um microcontrolador da família 8051. Mas optou-se pela utilização de um motor de corrente contínua monitorado por um microcontrolador PIC. Técnicos e engenheiros em automação utilizam, preferencialmente, esse tipo de microcontrolador pois é o mais difundido entre os fabricantes

deste setor, é um componente barato, completo, de programação razoavelmente simples e alterações no programa muito fáceis de serem feitas.

Um motor elétrico de corrente contínua de pequenas dimensões foi utilizado para fazer o posicionamento do disco de alumínio onde são fixadas as ferramentas. Esse motor, do fabricante Buehler, funciona com 24 Volt, fornece 140 rotações por minuto no eixo de saída e possui um torque de aceleração adequado ao projeto.

Foram utilizados capacitores, diodos e um transformador para retificar e alterar a tensão de entrada com corrente alternada (127 Volt) para a tensão de saída com corrente contínua (10 Volt), necessária ao funcionamento do motor elétrico e dos circuitos eletrônicos.

Na extremidade oposta do eixo central do disco porta ferramentas, o qual é apoiado sobre rolamentos, foi fixado um pequeno disco perfurado que, ao girar, emite sinais elétricos através da passagem, ou não, de luz infravermelha por seis pares de emissores / receptores. Esses sinais elétricos são utilizados para a informação de qual ferramenta está posicionada na torre e para interromper a rotação do motor elétrico comandado pelo microcontrolador. Esse sistema foi baseado no funcionamento de um “*encoder*” utilizado em máquinas CNC.

Para que o operador verifique qual a ferramenta foi posicionada e confirme se é a adequada ao processo, foi colocado um *display* de sete segmentos fixado sobre a tampa da torre. Para a informação da posição do carro transversal da mesa do torno, foram utilizados seis emissores de luz infravermelha fixados na base da torre e um receptor, fixado no carro longitudinal do torno

Todo o conjunto foi envolvido por placas de acrílico transparente para que seja possível visualizar e entender o funcionamento de todos os componentes.

4.5 DEFINIÇÃO DOS COMPONENTES MECÂNICOS E ELETROELETRÔNICOS

Escolhido o motor e o microcontrolador PIC 16F877A, foram definidos todos os componentes mecânicos, elétricos e eletrônicos necessários ao projeto da torre. Também foi compilado e gravado o programa na memória do microcontrolador utilizando o *software* MPLAB.

Componentes mecânicos

- . Base, mancais, disco porta ferramentas e suportes fabricados em alumínio
- . Rolamentos com rolos cônicos
- . Eixo central, engrenagens e placas de aperto das ferramentas em aço SAE 1020
- . Trava do disco em aço SAE 1020
- . Conjunto da tampa em acrílico transparente
- . Parafusos de fixação padronizados

Componentes eletroeletrônicos

- . Microcontrolador PIC 16F877A
- . Soquete torneado de 40 pinos
- . Cristal de 4 MHz
- . Capacitor cerâmico 22pF
- . Capacitor eletrolítico 100uF x 16V
- . Diodo 1N4007
- . Motor *Buehler*, c.c., 24V, com redução
- . Transformador 127/220 V, 15+15 V, 2A
- . *Display* de 7 segmentos

- . Emissores/receptores infravermelhos
- . Placas de fenolite para circuito impresso
- . Chave fim de curso
- . Resistores e outros componentes eletrônicos

Obs.: a especificação de todos os componentes mecânicos e eletroeletrônicos faz parte do detalhamento do projeto.

4.6 FABRICAÇÃO DOS COMPONENTES MECÂNICOS

Depois de definido o projeto, as peças começaram a ser usinadas. Para a fabricação das peças rotacionais como o eixo principal, o disco porta ferramentas, as buchas e as flanges, foram utilizados um torno mecânico e uma furadeira radial, conforme visto na Figura 4.2.



Figura 4.2 – Torneamento do eixo central e furação do disco porta ferramentas

As operações de fresamento dos canais do disco porta ferramenta , conforme a Figura 4.3, e de outros componentes, foram executadas no centro de usinagem CNC existente no CEFETSP, devido às tolerâncias exigidas nessas peças.



Figura 4.3 – Fresamento dos canais do disco no centro de usinagem CNC

Os dentes das engrenagens foram fresados em uma fresadora tipo “*Fellows*”, conforme Figura 4.4. Nessa operação é utilizada uma ferramenta com o formato de uma engrenagem que, ao fazer movimentos de rotação, subida, descida e penetração em direção à peça, permite a fabricação de engrenagens com uma ótima precisão dimensional.

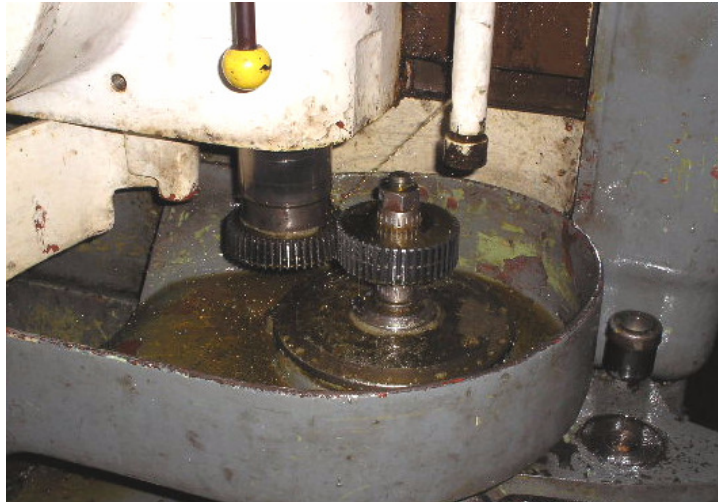


Figura 4.4 – Fresamento dos dentes das engrenagens

Outras máquinas convencionais, como fresadora, retificadora cilíndrica e retificadora plana, foram utilizadas para o término da usinagem de todas as peças e dos dispositivos que se fizeram necessários.

4.7 MONTAGEM DOS COMPONENTES MECÂNICOS E DO MOTOR

Foram montados primeiramente os rolamentos nos mancais e estes na base. Em seguida foi montado o eixo central, as buchas, as porcas e as flanges dos mancais, o disco porta ferramentas no eixo, as engrenagens, o pino trava com seu suporte e o motor elétrico, conforme Figuras 4.5 e 4.6. Após a montagem de todos os componentes mecânicos e do motor, foi testado o conjunto obtendo-se um perfeito funcionamento.

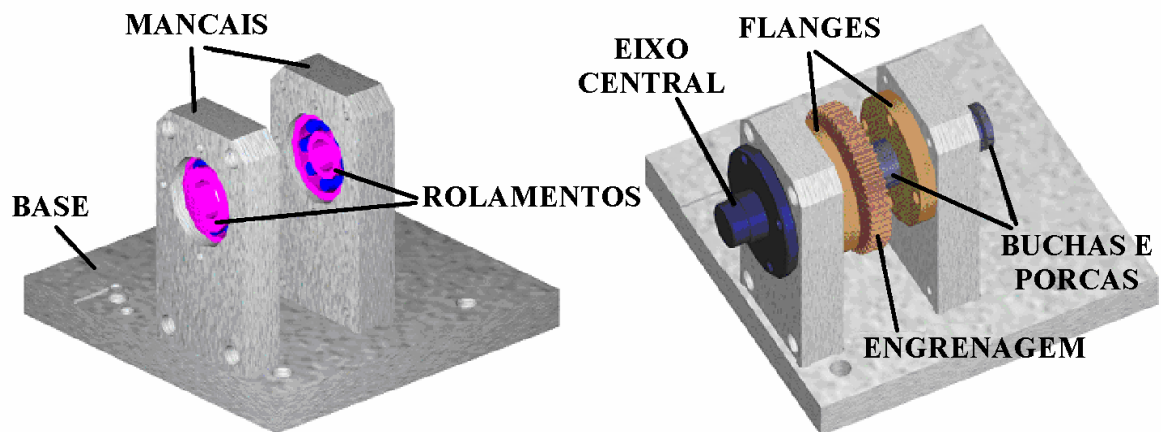


Figura 4.5 – Montagem dos mancais e do eixo central

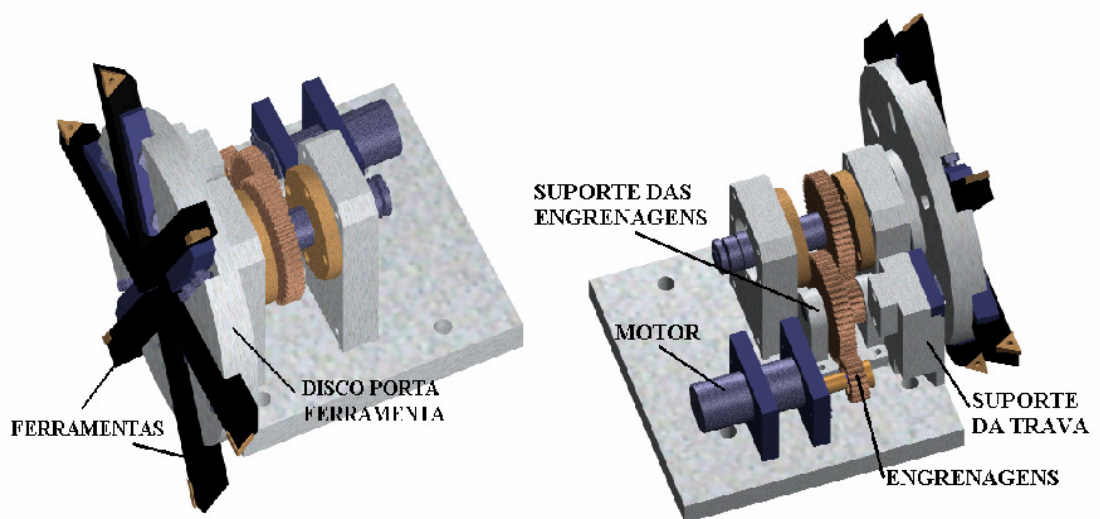


Figura 4.6 – Montagem do disco, das engrenagens, dos suportes e do motor

4.8 MONTAGEM DOS COMPONENTES ELETRÔNICOS E TESTES FINAIS

Depois de todos os componentes eletrônicos serem montados nas placas de circuito impresso e feitas as ligações elétricas, foi realizada a montagem no conjunto mecânico, conforme Figuras 4.7 a 4.10.

Feita a verificação do funcionamento de todo o conjunto, a torre foi fixada no torno CNC para se proceder aos ajustes e testes finais.

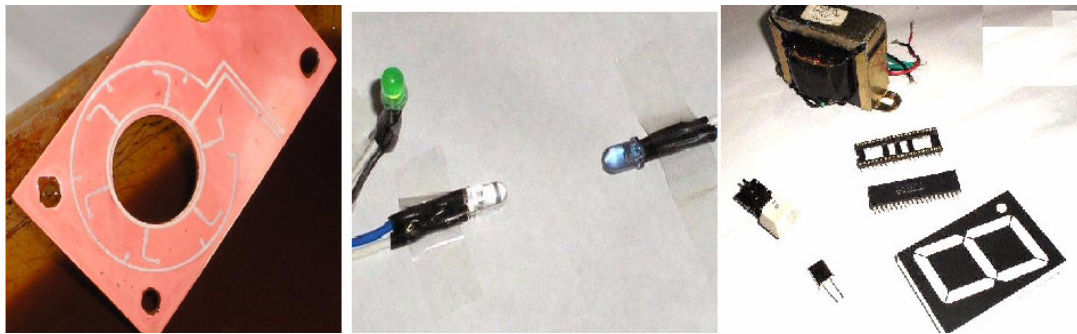


Figura 4.7 – Detalhes dos componentes eletrônicos

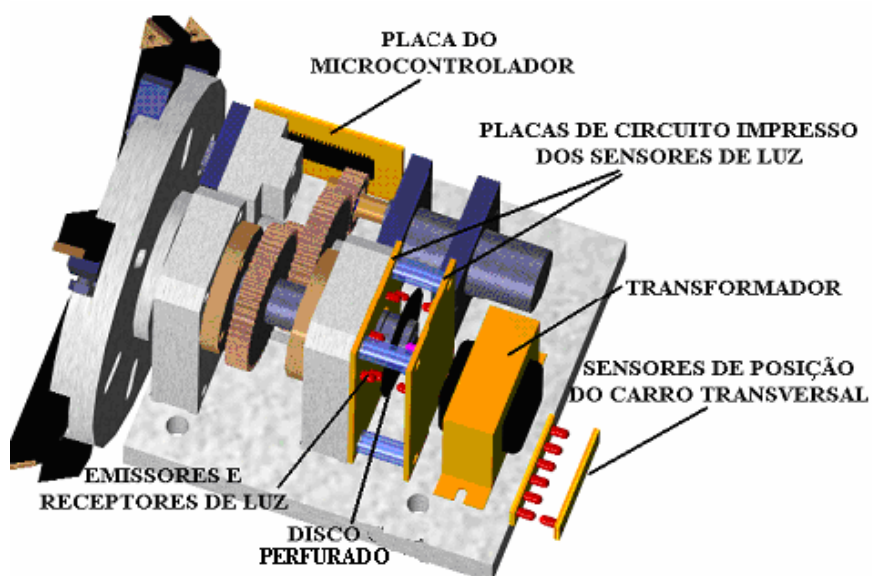


Figura 4.8 – Montagem dos componentes eletrônicos

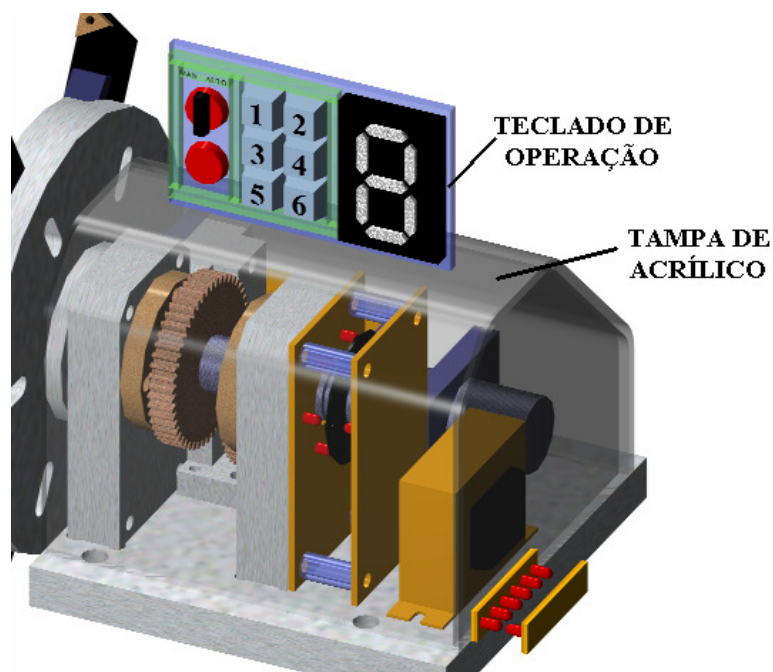


Figura 4.9 – Montagem da tampa e do teclado de operação

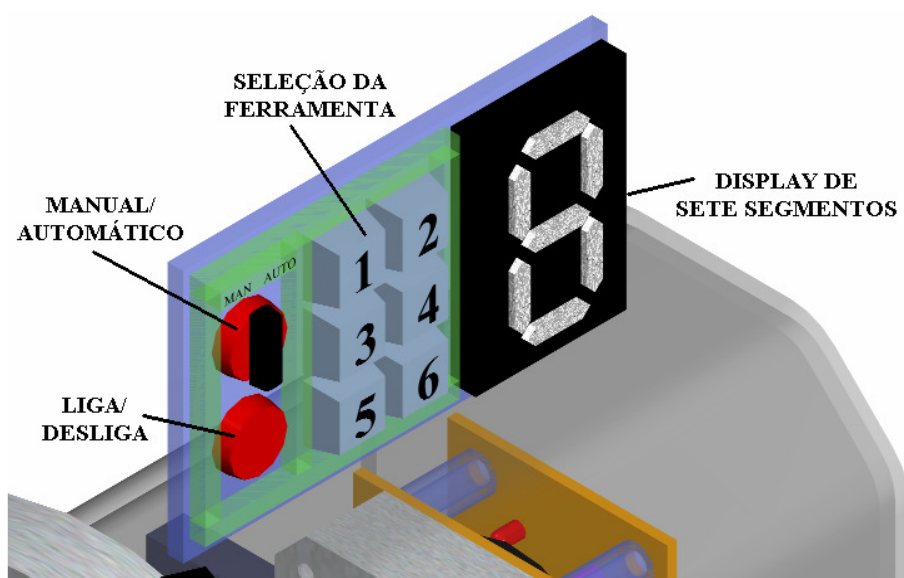


Figura 4.10 – Detalhes do teclado de operação

CAPITULO 5

OPERAÇÃO E FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

O conjunto é fixado no carro transversal do torno através de quatro parafusos, conectado à rede elétrica e comutada a chave de seleção na posição “manual”.

Após ter sido executada a preparação (“*setup*”) do torno CNC, ou seja, inserido o programa da peça a ser fabricada, fixado o material na placa do torno e feito o referenciamento da máquina para que esta reconheça a área de trabalho e a localização das ferramentas, o carro transversal é deslocado para a posição correspondente à primeira ferramenta do disco porta ferramentas. É selecionada a primeira ferramenta do disco pressionando-se a tecla “1” no teclado de operação manual e comutada a chave de seleção, vista na Figura 5.1, para a posição “automático”.

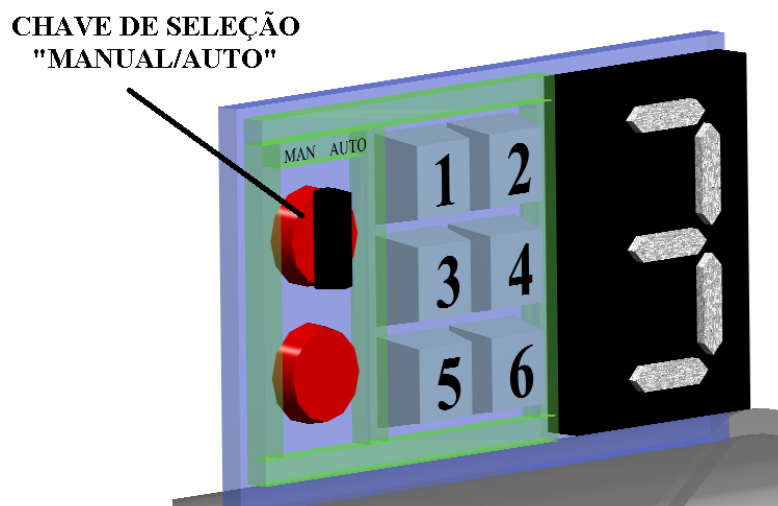


Figura 5.1 – Detalhe do teclado de operação mostrando a chave de seleção

Durante a usinagem da peça, quando houver a necessidade de habilitar a troca da ferramenta, é previsto no programa o deslocamento do carro até o “ponto de troca de ferramentas”, onde está o sensor receptor fixo, visto na Figura 5.2. Esse receptor foi previamente fixado ao carro longitudinal do torno a uma distância preestabelecida em relação ao centro da peça, por exemplo, cento e cinquenta milímetros para a primeira ferramenta.

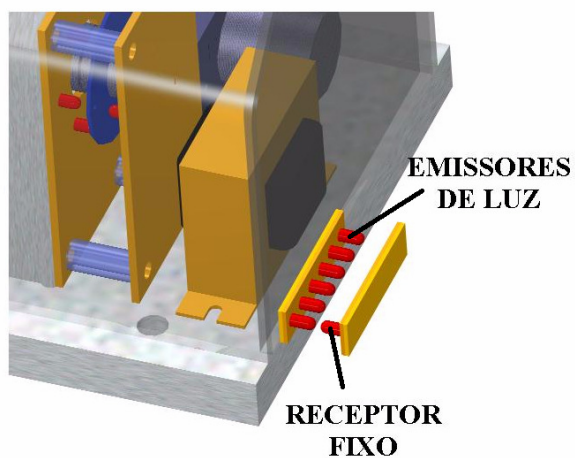


Figura 5.2 – Detalhe dos sensores de posição do carro transversal

Os seis emissores, fixados no dispositivo a uma distância entre eles de dez milímetros, se deslocam juntamente com o carro transversal e, dependendo da distância ao centro da peça que este parar, irá ativar o receptor através de um dos emissores. Sendo ativado o sensor receptor, pela luz do emissor correspondente àquela ferramenta a ser utilizada, é enviado ao microcontrolador um sinal referente a qual ferramenta é necessária para a continuação da usinagem da peça.

Após o microcontrolador receber este sinal, ele faz o motor elétrico iniciar sua rotação, e conseqüentemente começar a girar o disco porta ferramentas juntamente com o disco perfurado. O furo deste disco se desloca até encontrar o par de sensores emissor /receptor ,

como visto na Figura 5.3, correspondente à ferramenta requerida pelos sensores do carro transversal.

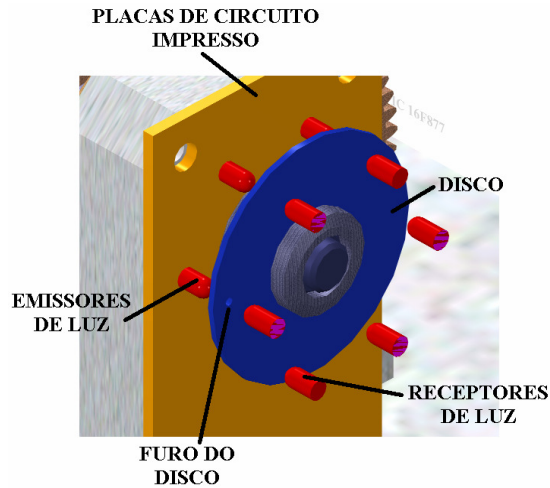


Figura 5.3 – Detalhe do disco perfurado e dos emissores/receptores de luz

No momento que este par estiver ativado pela passagem de luz através do furo do disco, o motor elétrico pára de girar e um pino de trava mecânica é impulsionado por uma mola, conforme Figura 5.4, fixando o disco na posição correta. Um sensor do tipo “chave fim de curso”, fixado no final do deslocamento deste pino, envia um sinal ao microcontrolador confirmando que o disco está travado. Depois do microcontrolador receber este sinal ele aciona o *display* de sete segmentos fazendo aparecer o número da ferramenta que foi posicionada.

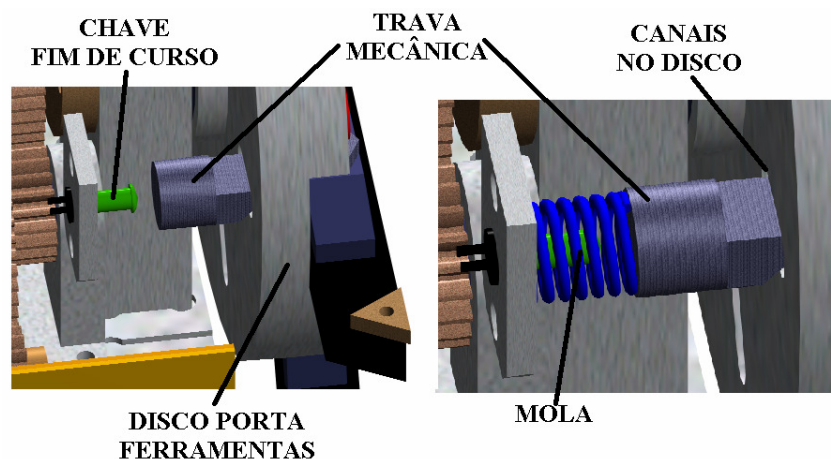


Figura 5.4 – Detalhe do pino de trava, chave fim de curso e mola

O operador verifica na tela gráfica do torno CNC se este número que aparece no *display* corresponde à ferramenta a ser utilizada, prevista pelo programa, e aciona a tecla “start” do painel de comando do torno, visto na Figura 5.5, para a continuação do processo.

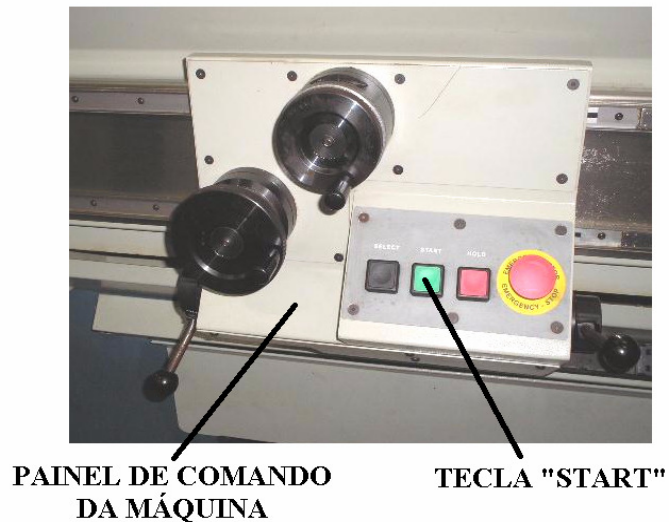


Figura 5.5 – Painel de comando do torno

Se por qualquer motivo a trava mecânica não for acionada e, conseqüente, a ferramenta não ficar na posição correta, o *display* irá emitir um aviso de erro informando ao operador que este não deve continuar o processo e analisar o problema ocorrido.

No Diagrama de Blocos e Fluxograma, conforme Figuras 5.6 e 5.7, são explicados o funcionamento do sistema.

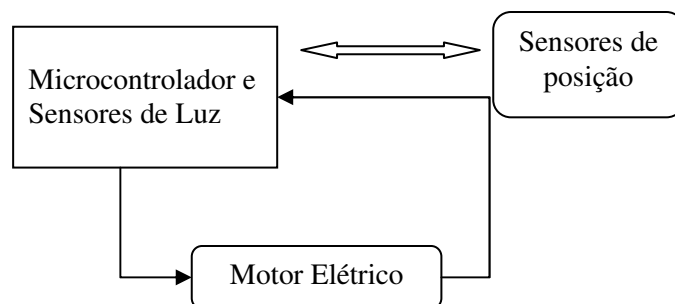


Figura 5.6 – Diagrama de blocos

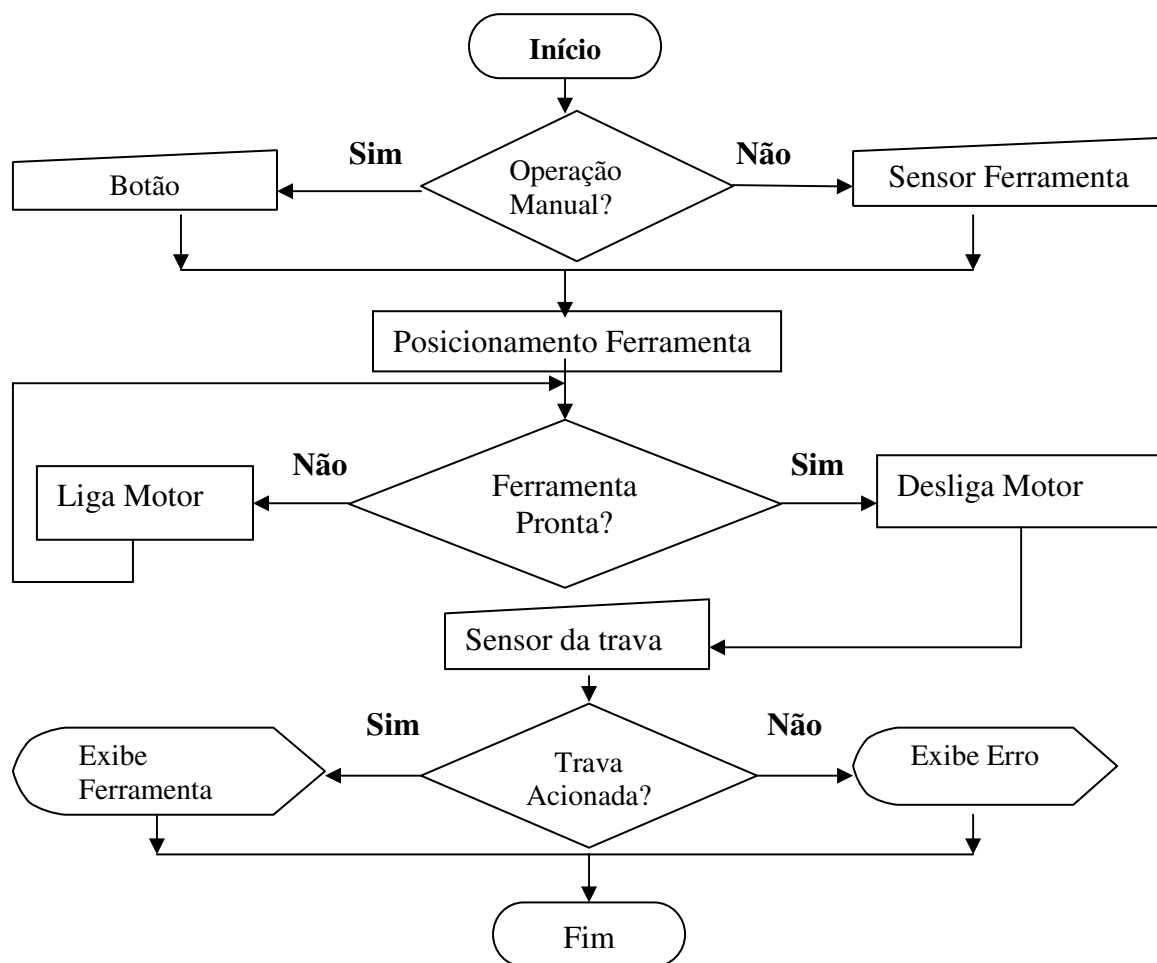


Figura 5.7 – Fluxograma do funcionamento

CAPITULO 6

CONCLUSÕES

Como relatado em capítulos anteriores, no torno CNC escolhido para a implantação da torre são usinadas somente peças de PVC. Sendo assim o projeto da torre foi simplificado visando um baixo custo e sem a necessidade de suportar as altas forças de corte advindas da usinagem de materiais metálicos.

No teste realizado com esse material plástico, o desempenho da torre foi considerado satisfatório pois foi possível fabricar uma peça completa efetuando as trocas de todas as ferramentas, havendo apenas a necessidade de pequenos ajustes na altura das ferramentas e na folga dos dentes das engrenagens.

Para poder avaliar os benefícios de redução de custos que este trabalho poderia gerar, levantou-se a hipótese da fabricação de um lote de 500 peças supondo serem utilizadas quatro ferramentas. Como não há mais a necessidade do operador trocar a ferramenta manualmente, quando eram gastos aproximadamente cinquenta segundos para cada ferramenta, a redução do tempo de fabricação do lote é de quase vinte e oito horas.

Para a fabricação da torre proposta foi investido o equivalente a 10% do custo da torre fornecida pelo fabricante da máquina, considerando-se o custo de todos os materiais utilizados, o tempo para a fabricação, a montagem e os testes de todo o conjunto. Comparando-se esse investimento com o que seria necessário para a compra da torre fornecida pelo fabricante (quarenta mil reais) verifica-se a grande economia obtida.

Nos cursos ministrados pelo CEFETSP os professores têm como objetivo principal que o aluno aprenda a programar e operar o torno, tendo seu comando características diferentes da grande maioria dos comandos CNC encontrados no mercado, como a

possibilidade de operação semelhante a um torno convencional, quando o aluno vai relembrando as operações de torneamento e introduzindo gradativamente os comandos CNC.

Outra grande e importante vantagem é poder gerar um programa a partir de uma peça usinada manualmente, o que proporciona ao aluno uma melhor assimilação entre os movimentos executados e os códigos utilizados.

Cabe aqui ressaltar que o sistema de troca automática, resultado deste trabalho e observado na Figura 6.1, somente será utilizado no torno do CEFETSP para fins didáticos na usinagem de peças plásticas, não havendo nenhuma pretensão de utilizá-la em materiais metálicos ou implantá-la em máquinas similares adquiridas por indústrias. Para isso seriam necessários novos estudos visando o dimensionamento do conjunto e a utilização de componentes mais caros.

Através desse trabalho a troca manual de ferramentas foi totalmente eliminada, o que proporcionou a diminuição de riscos de acidentes e um maior conforto aos operadores da máquina, obtendo-se uma troca automática de ferramentas que atendeu totalmente as expectativas e necessidades de operação do torno escolhido.

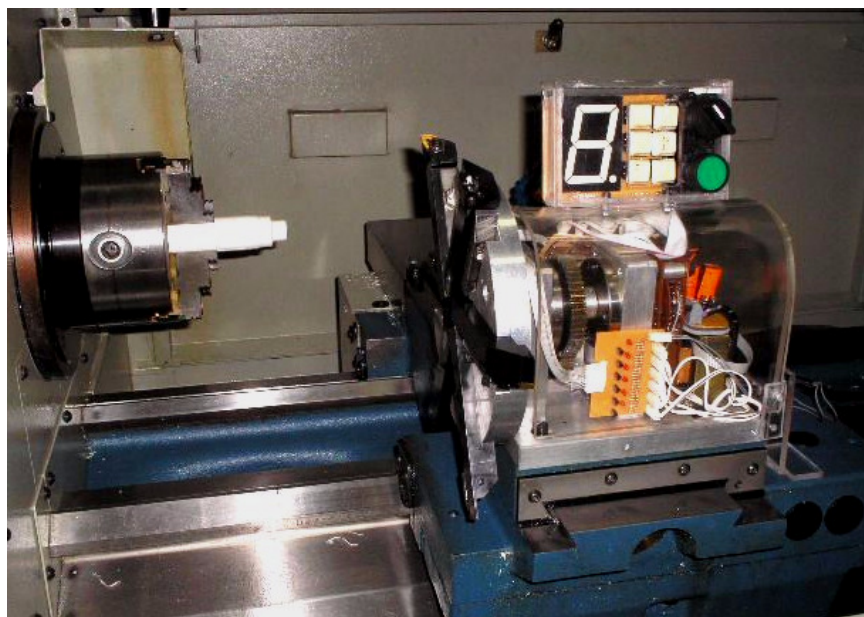


Figura 6.1 – Testes finais do sistema de troca automática de ferramentas

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir do trabalho desenvolvido, seria interessante esse torno CNC funcionar de uma maneira totalmente automática. Para isso seriam necessários o projeto e implementação de uma placa pneumática para a fixação das peças de trabalho e de um alimentador automático de barras de PVC. Há necessidade também que o processo de torneamento tenha continuidade após a troca da ferramenta, o que pode ser conseguido se o microcontrolador fizer o acionamento da tecla “start” do painel de comando da máquina e a abertura/fechamento da placa pneumática através de sinais elétricos.

Outro trabalho possível, visando ainda a automação completa da operação, seria a alimentação e retirada das peças da placa do torno através de um robô manipulador controlado também por sensores e um microcontrolador.

Um trabalho de maiores proporções, em conjunto com o exposto acima, seria a integração desse torno ao Centro de Fresamento CNC, existente no mesmo laboratório. Através de robôs e de uma esteira transportadora, as peças fabricadas no torno poderiam, em seguida, serem usinadas no Centro de Fresamento, como acontece na célula de Manufatura Integrada por Computador (CIM) existente no CEFETSP. Para esse trabalho haveria a necessidade de utilização de um microcomputador e a implantação de um *software* específico para fazer o gerenciamento de todo o sistema. Seria necessária também a implementação de sistemas pneumáticos para a abertura e fechamento das portas do torno e do centro de fresamento.

REFERÊNCIAS

AMIC, P. J. Computer Numerical Control Programming. Prentice Hall Inc. 1997. 2-9 p.

BATESON, R. T. N. Introduction to Control System Technology. 5^a. ed. Prentice Hall Inc. 1996. 327 p.

BARRON, C. H. Numerical Control for Machine Tools. McGraw-Hill Book Co. 1971. 1-5 p.

BEZERRA, J. C. Simplesmente Just-in-Time, IMAM, 1990, 36-41 p.

BUEHLER. Catálogo de motores elétricos com redução. Buehler Motor Group. site <http://www.buehlermotor.com> consultado em abril/2005.

CHANG, T. C., WYSK, R. A. & WANG, H. S. Computer-Aided Manufacturing. 2^a. ed. Prentice Hall Inc. 1998. 315 p.

DOMINGUES, S. S. Programação de Comandos Numéricos Computadorizados. 9^a. ed. Ed. Érica. 2005. 19-85 p.

FANUC. Manual de Programação e Operação. 1998. 15 p.

FERRARESI, D. Fundamentos da Usinagem dos Metais. VI. Ed. Edgard Blücher Ltda., 1977.

FILLIPPO, G. F. Motor de Indução. 8^a. ed. Ed. Érica 2002. 55 p.

GUIBERT, A. A. P. et al. Mecânica, Processos de Fabricação, VI. Ed. Globo. 1997. 10-13 p.

GUIBERT A. A. P. et al. Mecânica, Processos de Fabricação.VII. Ed. Globo. 1997. 104 p.

HUGHES A. Electric Motors and Drives. 2^a ed. Ed. Newnes. 1993. 1-5 p.

MACKENZIE, I. S. The 8051 Microcontroller. 2^a. ed. Prentice Hall Inc. 1995. 17p.

MARCONDES, F. C. A História do Metal Duro. Sandvik do Brasil. Unidas Artes Gráficas e Editora Ltda. 1990. 16,32 p.

MELCONIAN, S. Elementos de Máquinas. 10^a. ed. Ed. Érica. 2005. 81-107 p.

QUINTÃ A. F. & SANTOS., J. P. O. Habilitar um sistema de troca automática de ferramentas, Artigo da Universidade de Aveiro, site jps@mec.ua.pt consultado em abril/2005.

REHG, J. A. Introduction to Robotics in CIM Systems. 3^a. ed. Prentice Hall Inc. 1997.

ROMANO, V. F., DUTRA M. S. Introdução à Robótica Industrial. Ed. Edgard Blucher Ltda. 1^a ed. 2002. 1-3 p.

SANDVIK. Catálogo eletrônico de torneamento. Sandvik do Brasil. 2005.

SINGH, N. Systems Approach to Computer-Integrated Design and Manufacturing. John Wiley & Sons Inc. 1996.

SOUZA, A. C. Proposta de Metodologia para Determinação do Nível de Agilidade de uma Empresa e Gerenciamento de Custos, Tese de Doutorado, UNICAMP, 2001.

SOUZA, D. J. Desbravando o PIC . 11^a. ed. Ed. Érica. 2004. 3p.

WECK, M. Handbook of Machine Tools. V 3^a. ed. John Wiley & Sons 1984. 1-4 p.

WERNECK, M. M. Transdutores e Interfaces. Ed. Livros Técnicos e Científicos Ltda. 1996. 1-95p.

Autorizo cópia total ou parcial desta obra, apenas para fins de estudo e pesquisa, sendo expressamente vedado qualquer tipo de reprodução feita para fins comerciais sem prévia autorização específica do autor.

Autor: José Antonio Neves

Taubaté, dezembro de 2005.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)