

PMR 3411
PROJETO DE MÁQUINAS

Gilberto F. Martha de Souza

Julio C. Adamowski

2020

Objetivos

Exercitar o projeto e a construção de uma máquina com controle numérico computadorizado, aplicando os conceitos a serem apresentados na disciplina e os conhecimentos adquiridos em outras disciplinas do curso. Exercitar o trabalho em equipe na execução do projeto da máquina, envolvendo análise, síntese, fabricação, montagem e teste do protótipo da máquina.

Projeto da máquina

Projeto de máquina CNC envolve: mecânica, atuadores, sensores e controle computadorizado.

O projeto de uma máquina CNC exige a **participação de uma equipe de trabalho** atuando no projeto dos vários sub-sistemas que compõem esse tipo de máquina e na integração desses sub-sistemas.

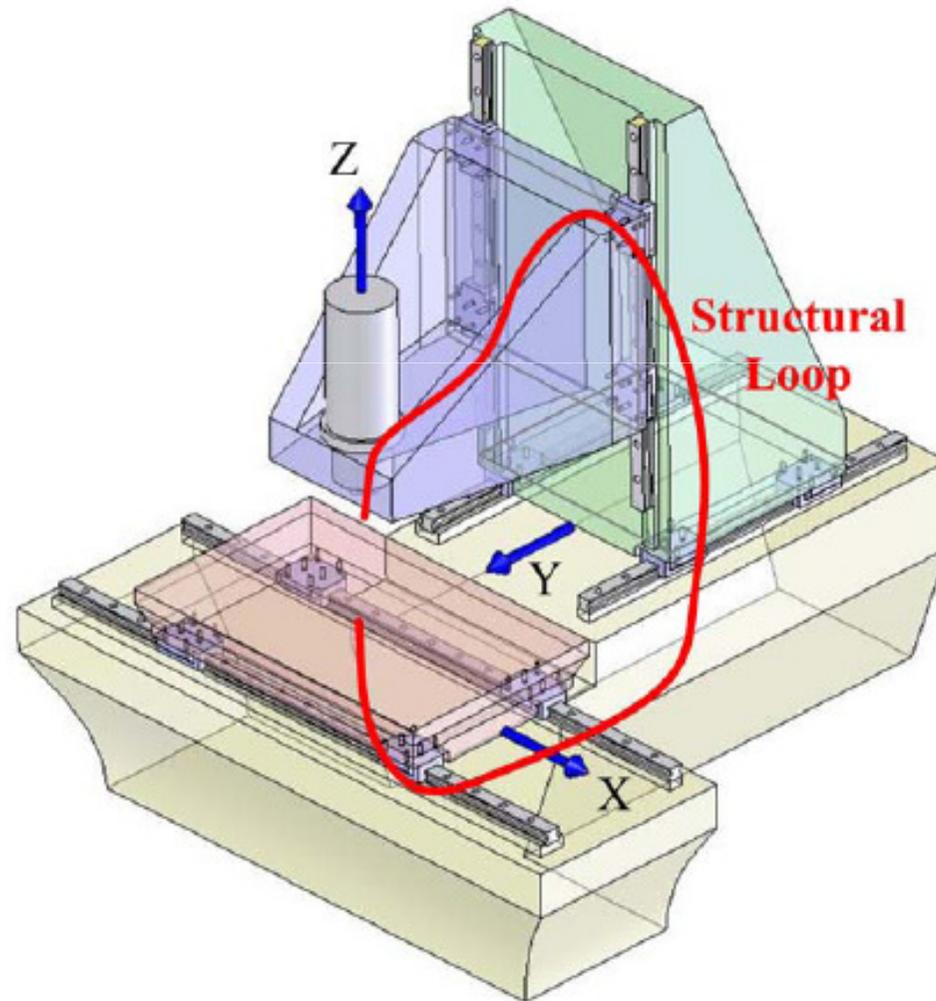
Categorias de máquinas CNC

- Máquina de alta precisão: acabamento óptico (precisão submicrométrica)
- Máquinas de precisão: precisão de micrometros
- Máquinas convencionais de usinagem: precisão de centésimos de milímetro
- Máquinas para usinagem de materiais “moles” (madeira, espumas rígidas, plástico, etc), precisão de décimos de milímetro.

Como atingir a precisão desejada?

- eliminação de folgas nos mecanismos de movimentação
- redução do atrito (ex: deslizamento x rolamento)
- redução das vibrações (aumento da frequência natural do laço estrutural da máquina) → aumento da rigidez e diminuição da massa (análise estrutural dinâmica)
- controle dos movimentos
- temperatura

Laço estrutural de uma máquina



Máquina de precisão para usinagem de metais

Cursos: $x=0,5\text{m}$ $y=0,5\text{m}$ $z=0,3\text{m}$

Velocidades

avanço rápido $x/y/z$ $1,5\text{m/s}$

usinagem: $1,5\text{m/s}$

Frequência crítica do laço
estrutural: $\approx 600\text{Hz}$

Precisão $x/y/z$ $\pm 1\mu\text{m}$

Acurácia $x/y/z$ $\pm 2\mu\text{m}$



HSMC

Usinagem de materiais “moles”

Frequência crítica do laço estrutural: $\approx 30\text{Hz}$

Precisão x/y/z $\pm 0,1\text{mm}$





Usinagem de materiais “moles”

Fresadora 5 eixos para usinagem de grandes moldes

Cursos: $x=30\text{m}$ $y=7\text{m}$ $z=2,5\text{ m}$

rotações: $A = 360^\circ$, $b= 270^\circ$

Velocidades: eixos x e $y = 1,0\text{ m/s}$

eixo $z = 0,3\text{ m/s}$

eixos A e $B = 4\text{ rad/s}$

Acelerações: eixos x , y e $z = 2\text{ m/s}^2$

eixos A e $B = 6\text{ rad/s}^2$

Frequência do laço estrutural: $\approx 25\text{Hz}$

Spindle: 8 kW , 16000 rpm

Precisão: $\pm 0,1\text{ mm}$



Usinagem de materiais “moles”

fresadora 5 eixos para usinagem leve de grandes peças (x=40m, y=10m, z=3,5m)



Usinagem de materiais “moles”

fresadora 5 eixos para usinagem leve de grandes peças (x=30m, y=6m, z=3,5m)

Frequência do laço estrutural: $\approx 25\text{Hz}$



EPUSP
2010

Máquinas especiais

Fabricação de prancha de surf – 3 eixos



EPUSP
1992

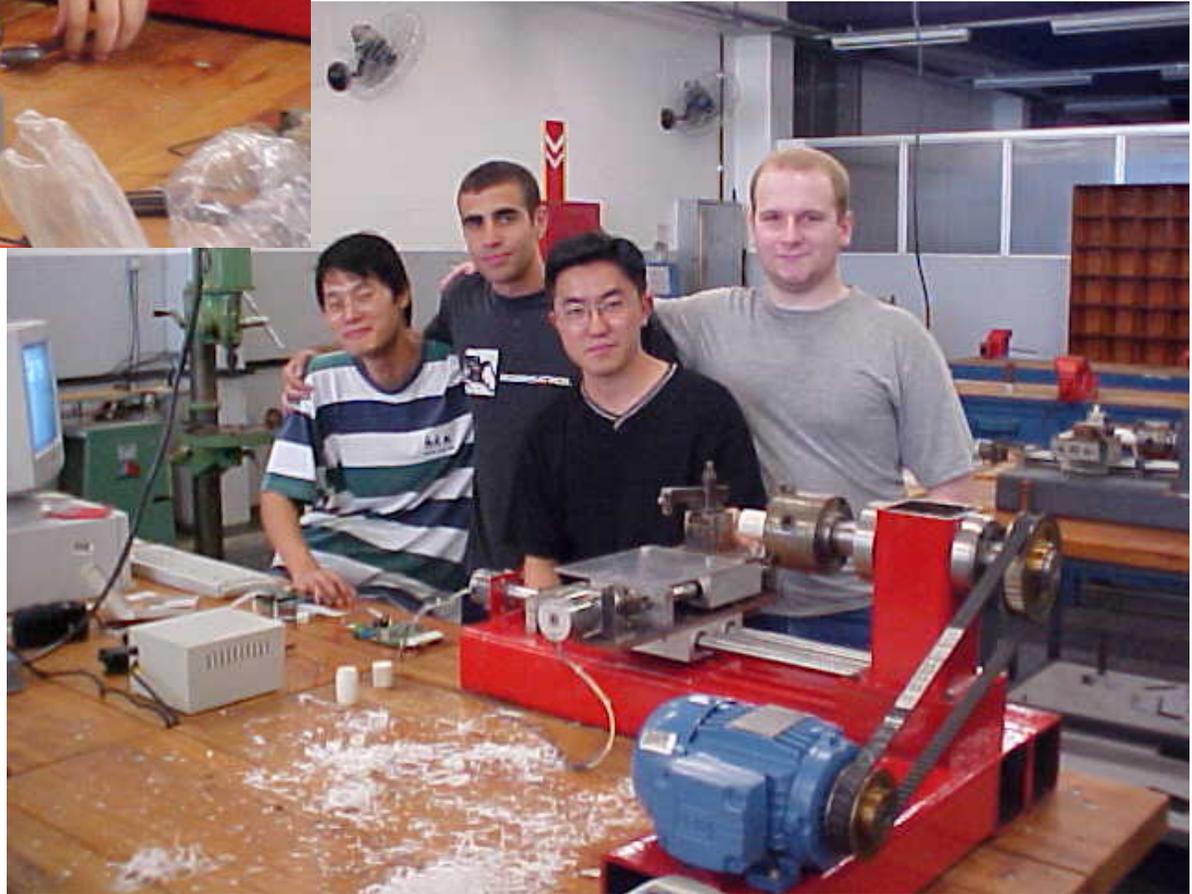
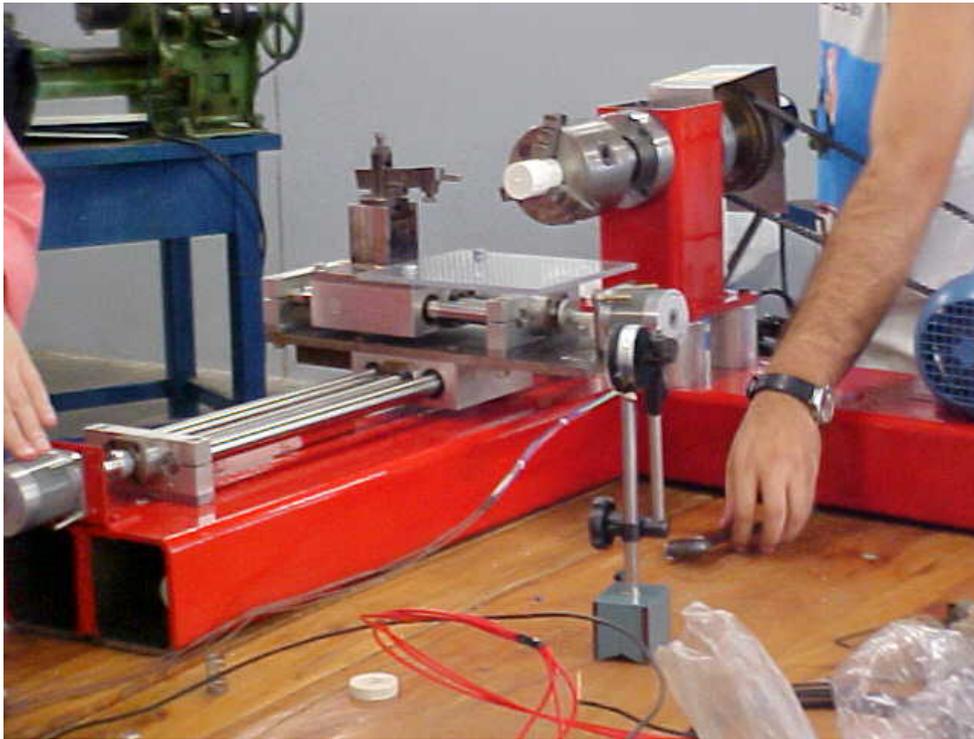
Projetos dos alunos 2002 a 2017

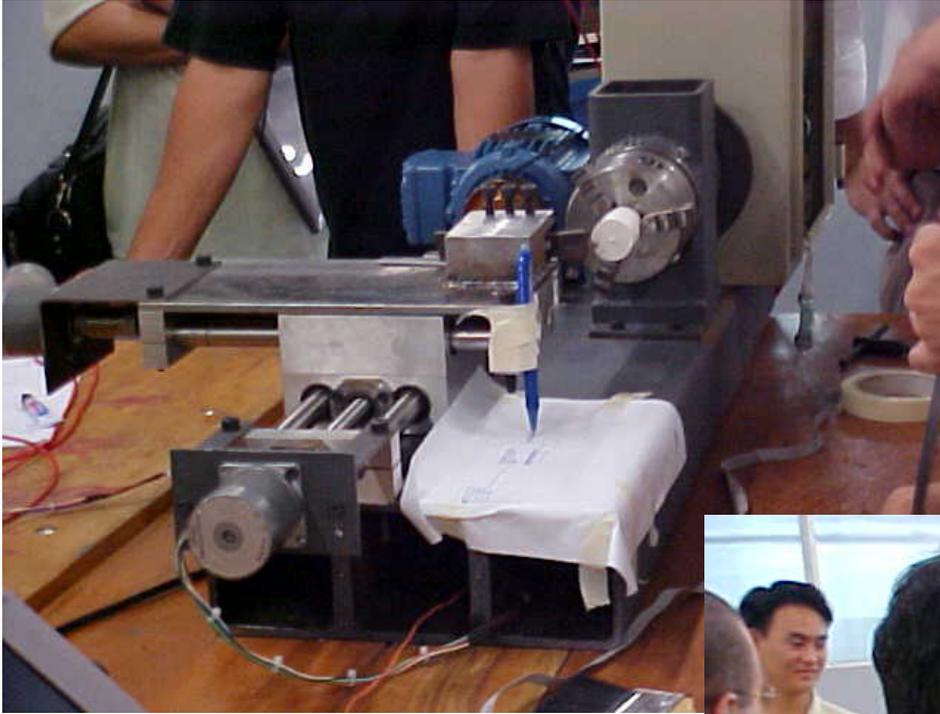
mini-fresadoras

mini-tornos

fresadoras para usinagem de madeira

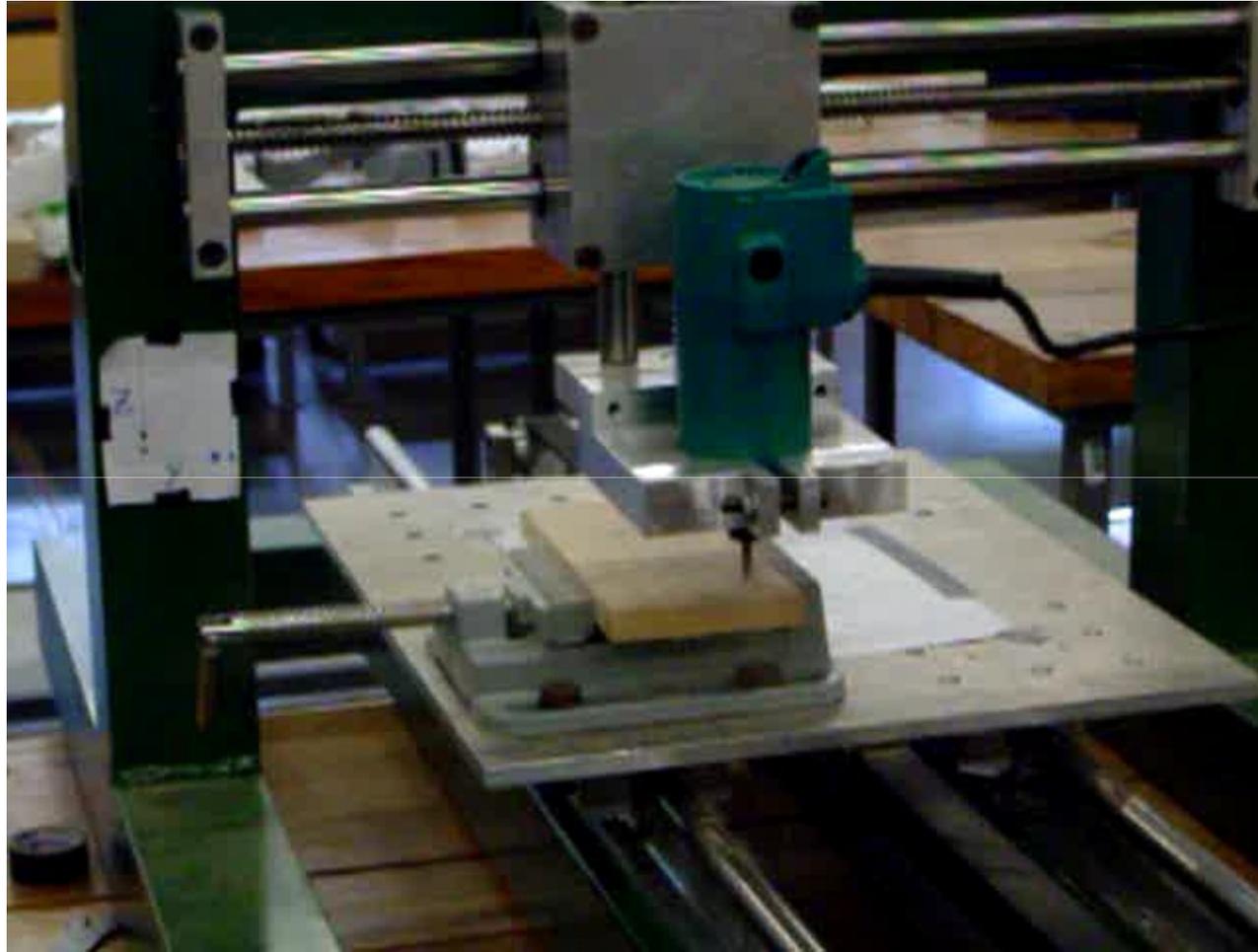






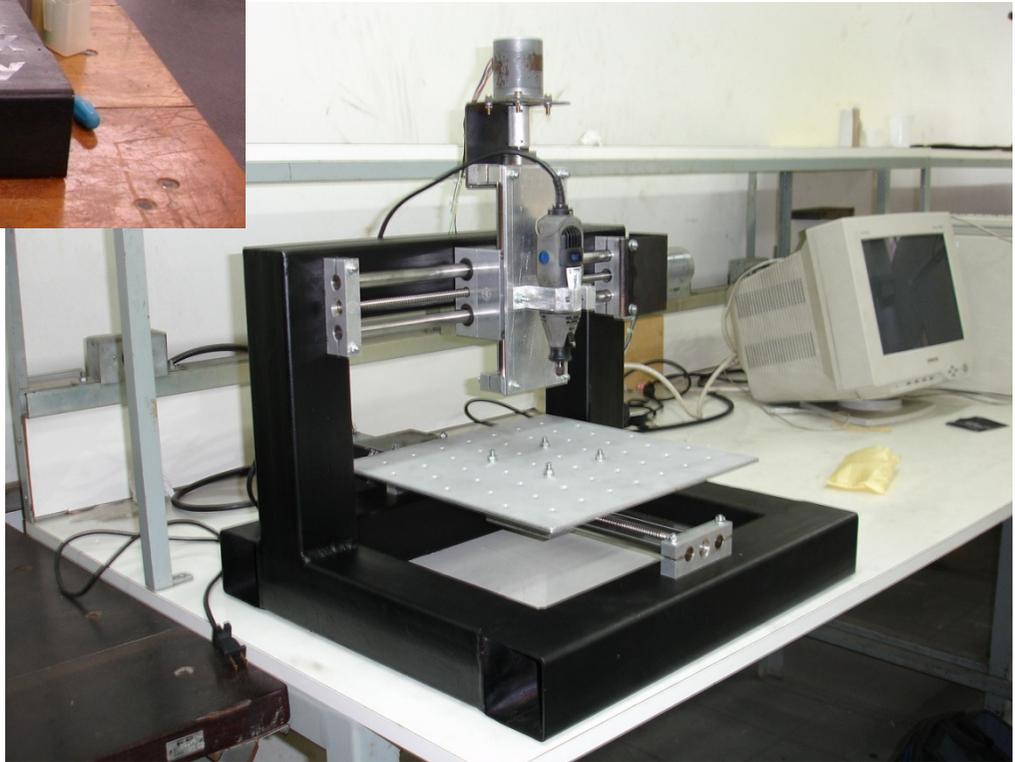
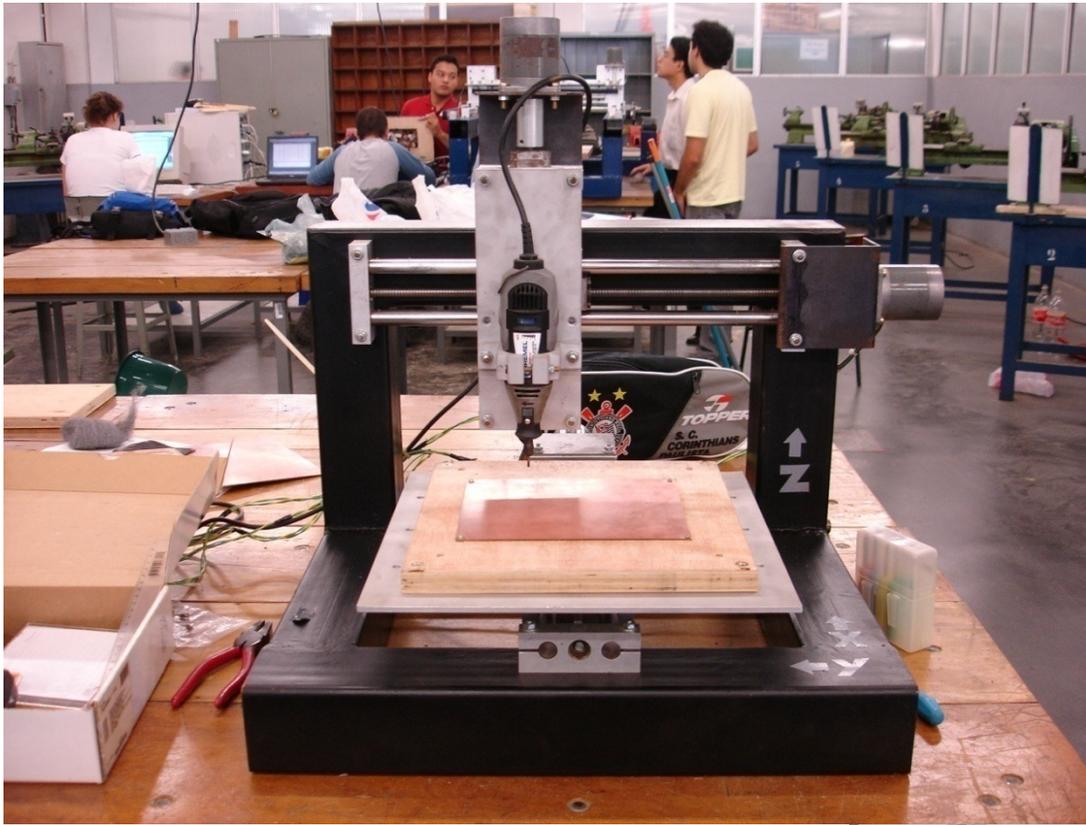












O nosso Projeto

Projeto e construção de 4 máquinas CNC

Equipes com N alunos, sendo $N \approx$ número total de alunos / 4

Máquinas

mini-torno

2 eixos com guias lineares e acionamento através de motores de passo e sincronização da rotação do eixo árvore com as translações por meio de encoder óptico e chaves de fim de curso nos dois eixos.

Máquina de controle numérico:

- estrutura e sistema de movimentação
- controlador – acionamento dos motores, leitura dos sensores, controle de trajetória com LinuxCNC, Programação CNC
- Uso de joystick para movimentação manual

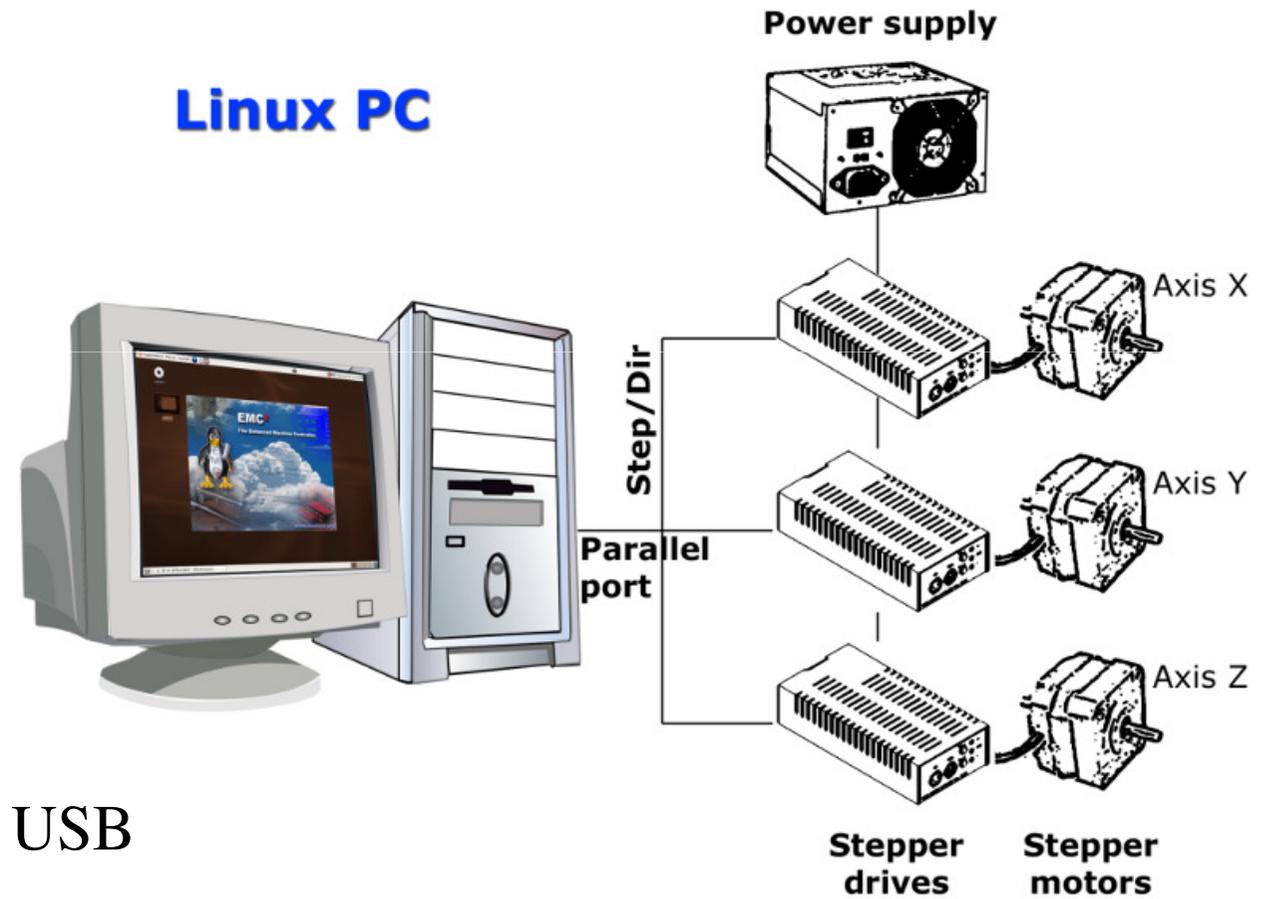
Componentes mecânicos e eletrônicos:

Guias lineares, fusos com castanhas de esferas recirculantes, acoplamentos, polias e correias sincronizadoras, rolamentos radiais, tubos quadrados de aço para a estrutura, tarugos de aço e alumínio, motores de passos, motor CA, encoder óptico, placas de acionamento de motores de passos, inversor de frequência, transistores, relés, **chaves de fim de curso**, etc .

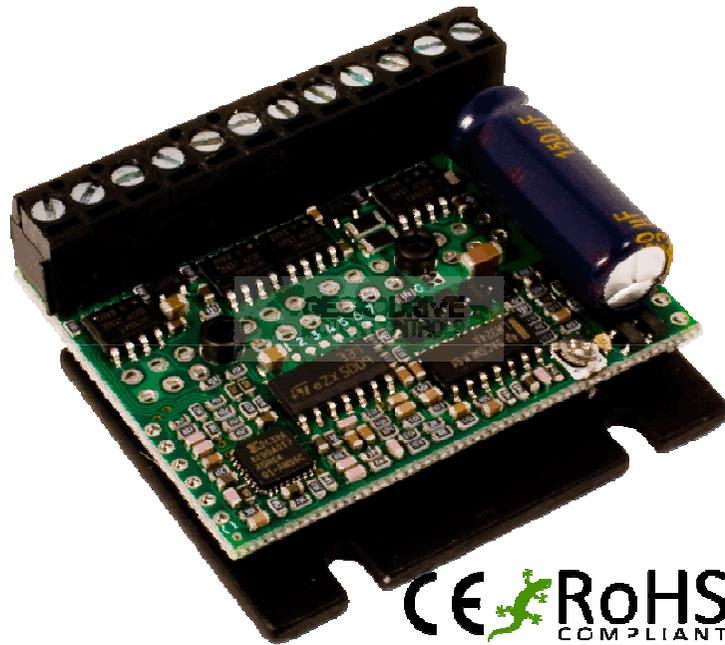
Controlador

PC com Linux CNC (www.linuxcnc.org)

Controle através da porta paralela e joystick



Acionamento eletrônico para motor de passo



<http://www.geckobrasil.com.br/driver-para-motor-de-passo-g251x.html>

Acionamento eletrônico para motor de passo

exemplo de montagem



Responsabilidades

Cada equipe receberá os componentes em condições de uso demonstradas na entrega e deverão repor componentes que sofram danos que não possam ser reparados no PMR.

Exemplos:

Acionamento de motor de passo (Gecko), que deixou de funcionar por uma conexão errada ou algum curto-circuito. Essa placa não pode ser reparada no PMR e, portanto, deverá ser reposta pela equipe caso deixe de funcionar.

Acoplamento elástico que rompeu por fadiga devido à falta de alinhamento correto entre o eixo do fuso e o eixo do motor.

Documentação do projeto

Pré-projeto: dimensionamento preliminar dos atuadores (velocidades, acelerações), envelope de trabalho, especificação do controlador computadorizado, etc.

Estudo das topologias: propostas de soluções e escolha da melhor solução baseada em cálculos de rigidez, massa e frequências naturais, esboços, etc.

Especificação da máquina baseado nos resultados do pré-projeto com os componentes (motores, guias, fusos, controladores, etc) disponíveis no laboratório.

Desenhos mecânicos de conjunto e de fabricação das peças (esboços e utilização de um software de CAD: Solid Edge, Autocad, Solid Works, Inventor, etc.)

Memorial de cálculos: rigidez, massas, frequências naturais, velocidade, aceleração, etc.

Esquema elétrico

Configuração do LinuxCNC.

Fabricação de uma peça de acordo com desenho fornecido. Podem ser usados pacotes CAD/CAM para programação da máquina.

Relatório final do projeto

Entrega do protótipo

Demonstração do protótipo funcionando de acordo com os seguintes requisitos mínimos:

- Funcionamento da máquina: movimentação manual com joystick (ajuste de velocidade) e automática (programação CNC)
- Configuração da interface no PC para programação e movimentação com indicação de posição de cada eixo
- Usinagem de peças a partir de desenhos fornecidos.
- Serão avaliados também os detalhes de montagem e acabamento da máquina, incluindo peso da estrutura, e o acabamento e tempo de usinagem da peça proposta.
- A utilização de peças, que deveriam ser projetadas e usinadas, já prontas, de anos anteriores, implicará em penalizações na avaliação. A montagem e ajustagem devem ser executadas pelos alunos. Os técnicos apenas executarão a fabricação das peças, de acordo com os desenhos fornecidos. A necessidade de retrabalho pelos técnicos devido a erros no projeto também implicará em penalizações na avaliação.

Organização da disciplina

Aulas expositivas sobre: sistemas mecânicos e eletrônicos e de controle que compõem máquinas CNC, tópicos sobre projeto de máquinas de usinagem, linguagem de programação CNC, metodologia de projeto, documentação do projeto, gerenciamento de trabalho em equipe.

Laboratório de projeto em sala de aula: discussão do projeto dos sub-sistemas com os colegas e professores, verificação de etapas do projeto e avaliação do progresso do projeto. A documentação a ser avaliada em uma aula específica deverá ser enviada com 24 horas de antecedência aos professores por email. Os professores farão a análise da documentação e farão a devolutiva por email, agendando uma discussão com o grupo via Google Meets no horário da aula.

Aulas de laboratório: acompanhamento da fabricação das peças, configuração de software de movimentação e controle (motores, sensores), software de interface com usuário, montagem mecânica, integração mecânica eletrônica e software.

Bibliografia Básica:

Slocum, A.H. “Precision Machine Design”, 1ª edição, Prentice-Hall, 1992.

Hyman, B. “Fundamentals of Engineering Design”, 1ª edição, Prentice-Hall, 1998.

Altintas, Y., Manufacturing Automation – Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design, Cambridge University Press, 2000.

www.linuxcnc.org

Bibliografia Complementar:

Mehta, N.K. “Machine Tool Design”, 1ª edição, Tata McGraw-Hill Publishing, 1988.

Catálogos de Fabricantes.

Avaliação

$$\text{Média } M = 0,4 * P + 0,1 * AE * c + 0,5 * T * c$$

Sendo:

T = nota do projeto;

P = média aritmética de três provas

AE = média das avaliações intermediárias do projeto

c = coeficiente de desempenho atribuído pela equipe do projeto (varia de 0 a 1)

Critério de aprovação

$$M \geq 5,0 \text{ e } P \geq 5,0$$

Prova Substitutiva com toda a matéria ao final do curso