

PMR 3411  
PROJETO DE MÁQUINAS

Gilberto F. Martha de Souza

Arthur H. A. Melani

2023

# 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.
- Requisitos:
  - Desenho Técnico Mecânico
  - Elementos de Máquinas
  - Acionamentos
  - Materiais

# 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.

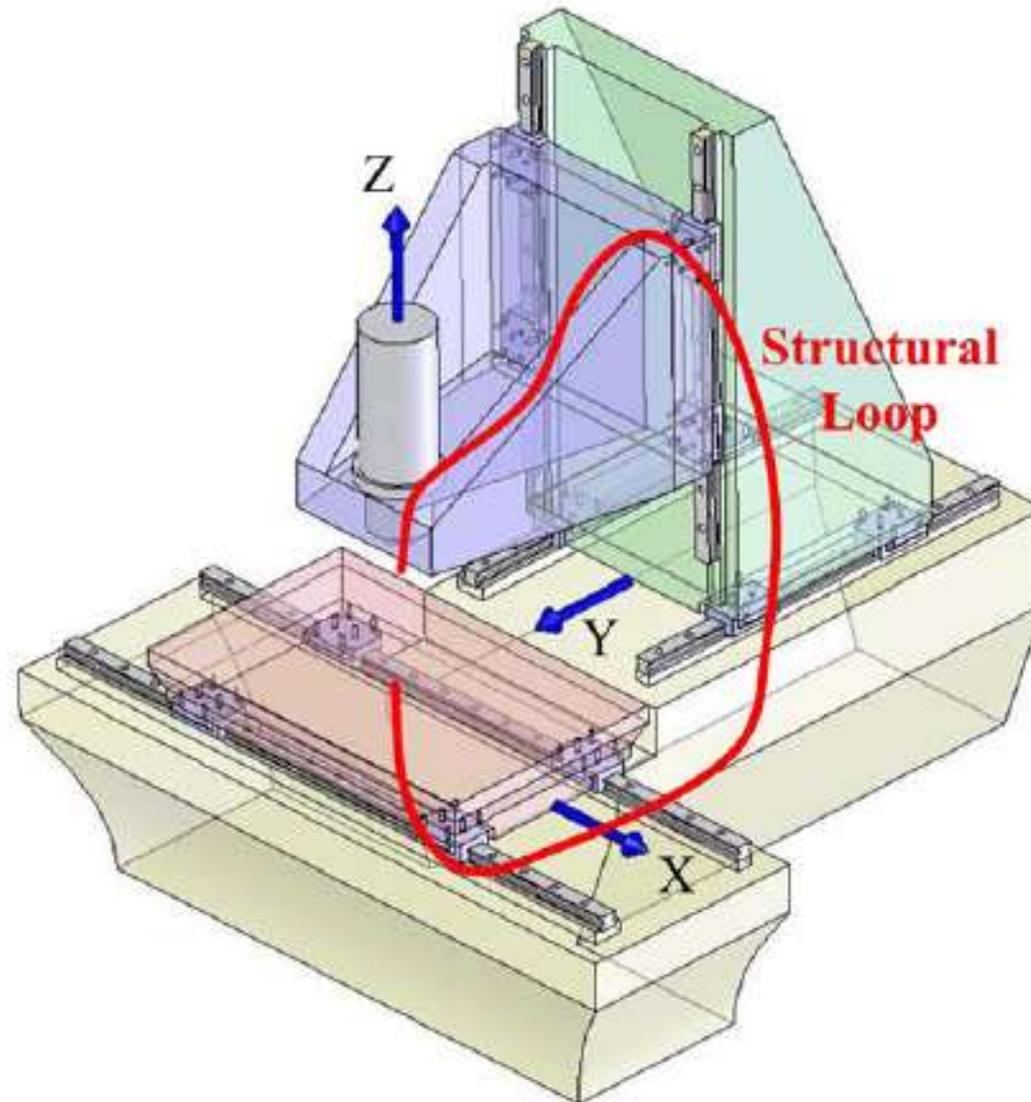
# Categorias de máquinas CNC

- 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:  $8\text{ kW}$ ,  $16000\text{ rpm}$

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 ( $x=30\text{m}$ ,  $y=6\text{m}$ ,  
 $z=3,5\text{m}$ )

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



EPUSP  
2010

# Máquinas especiais

Fabricação de prancha de surf – 3 eixos



EPUSP  
1992

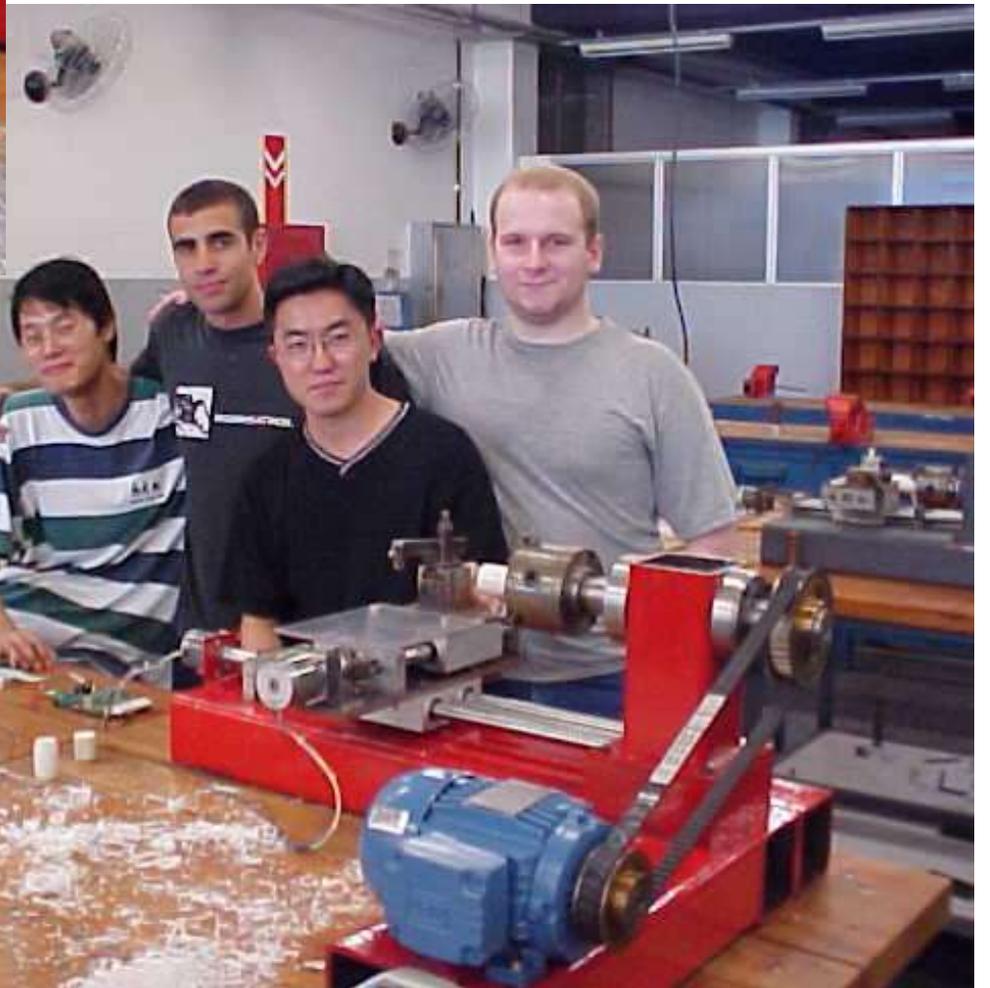
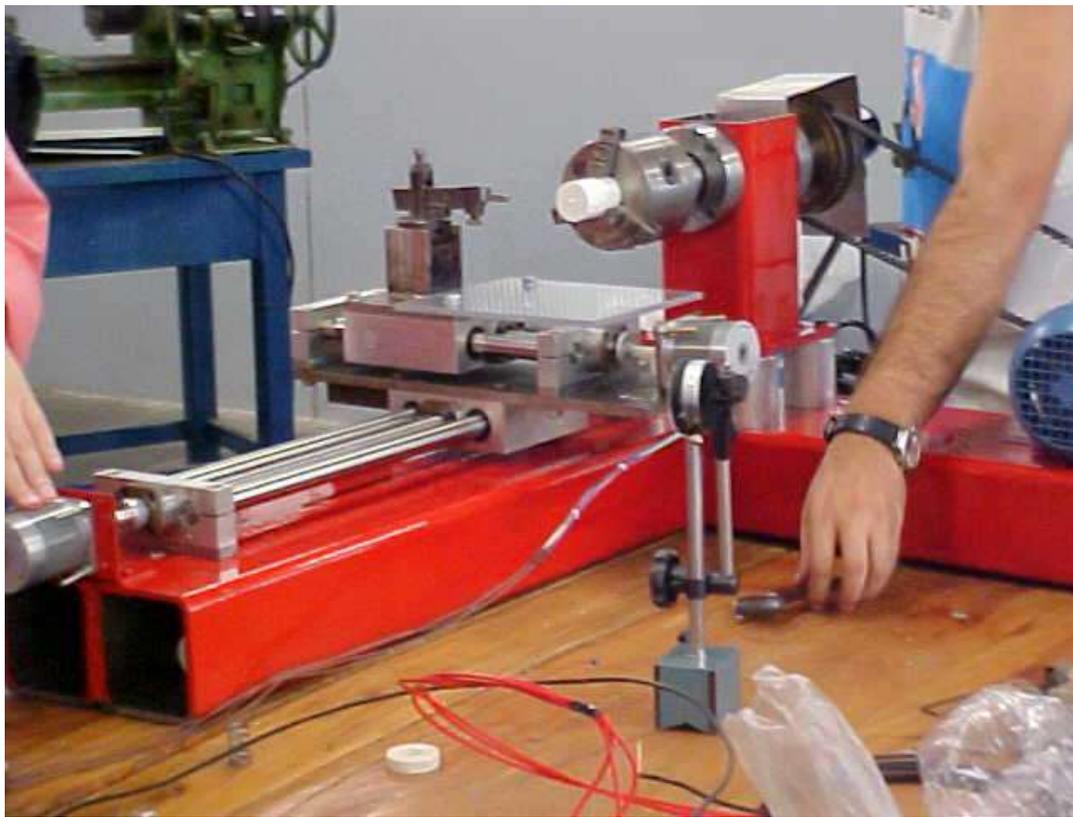
# Projetos dos alunos 2002 a 2017

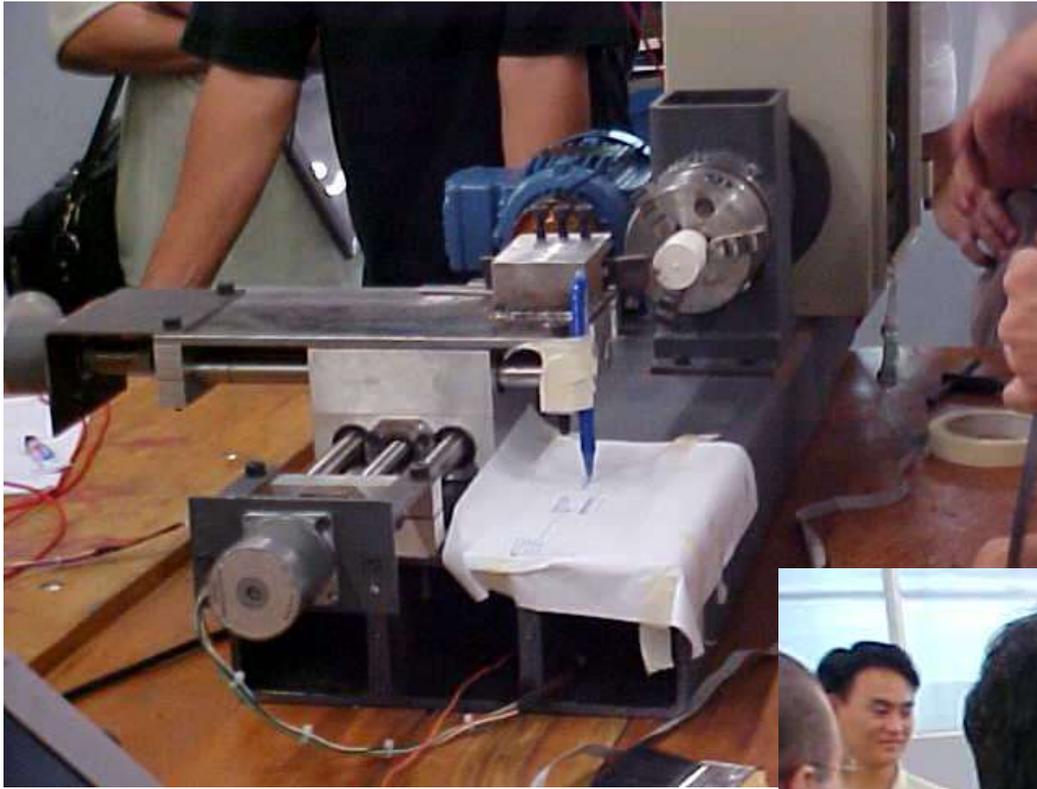
mini-fresadoras

mini-tornos

fresadoras para usinagem de madeira

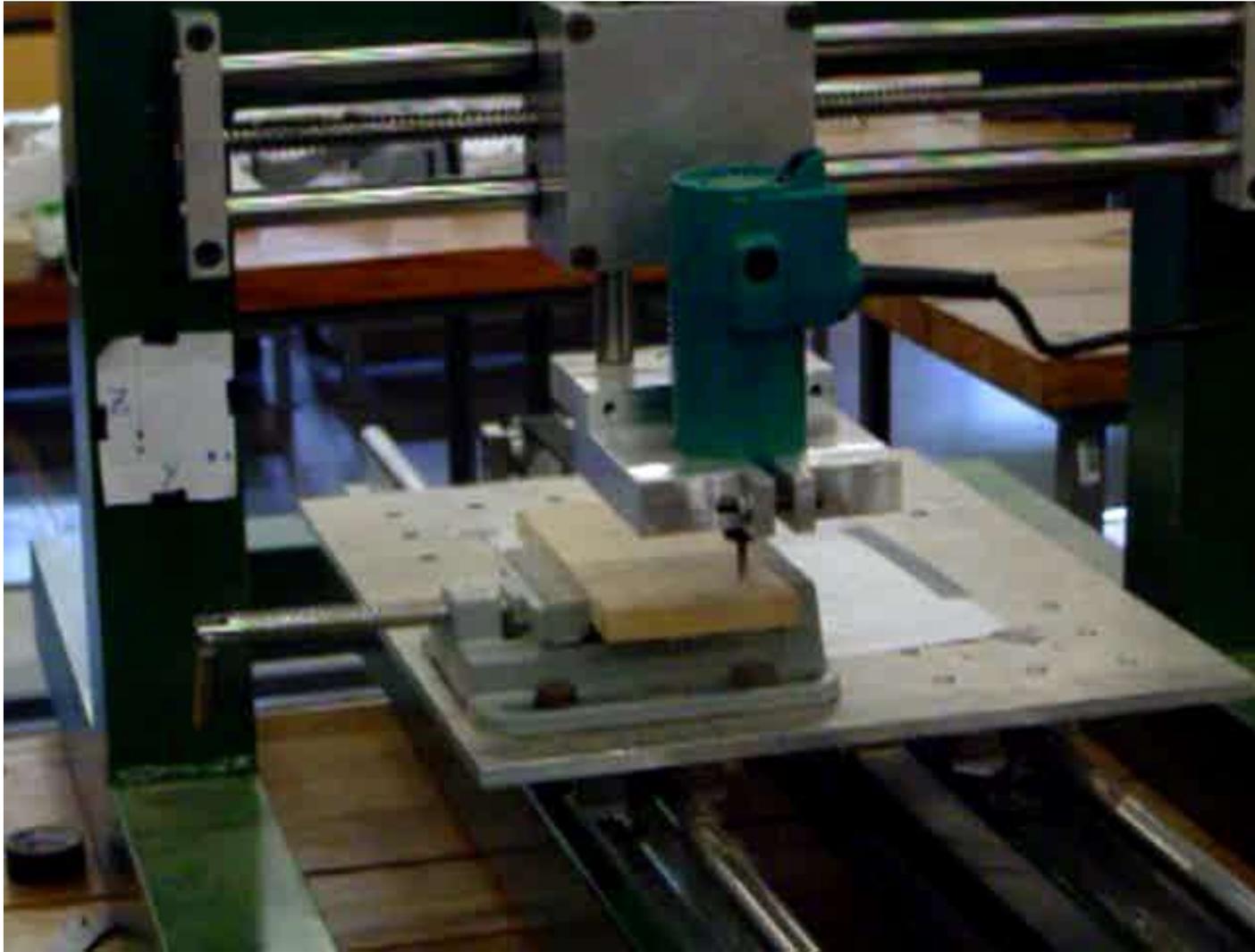






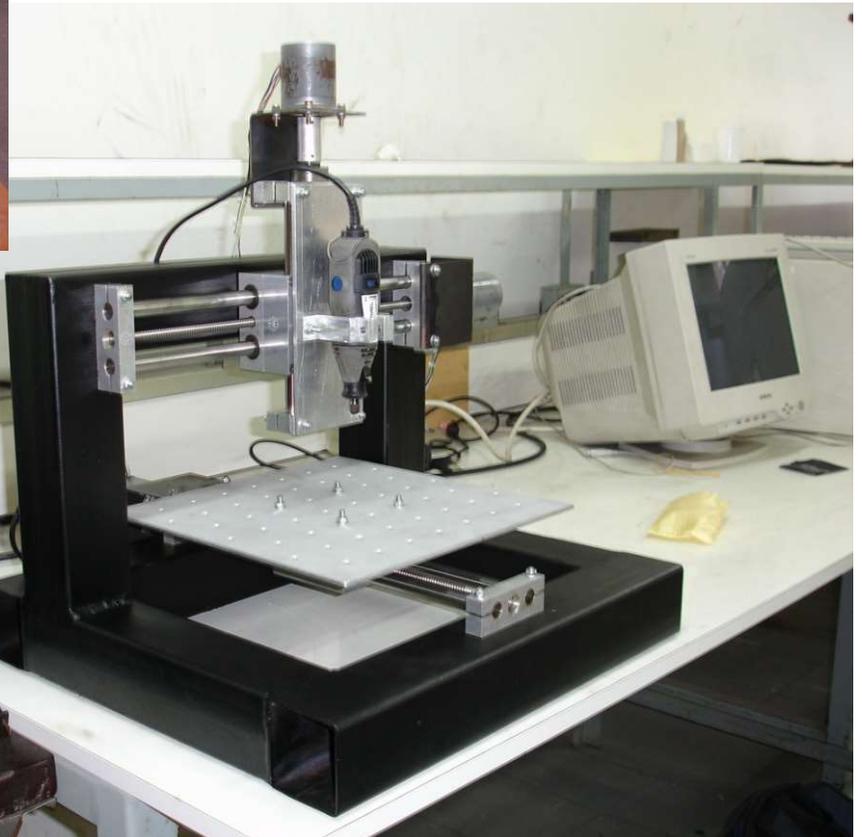
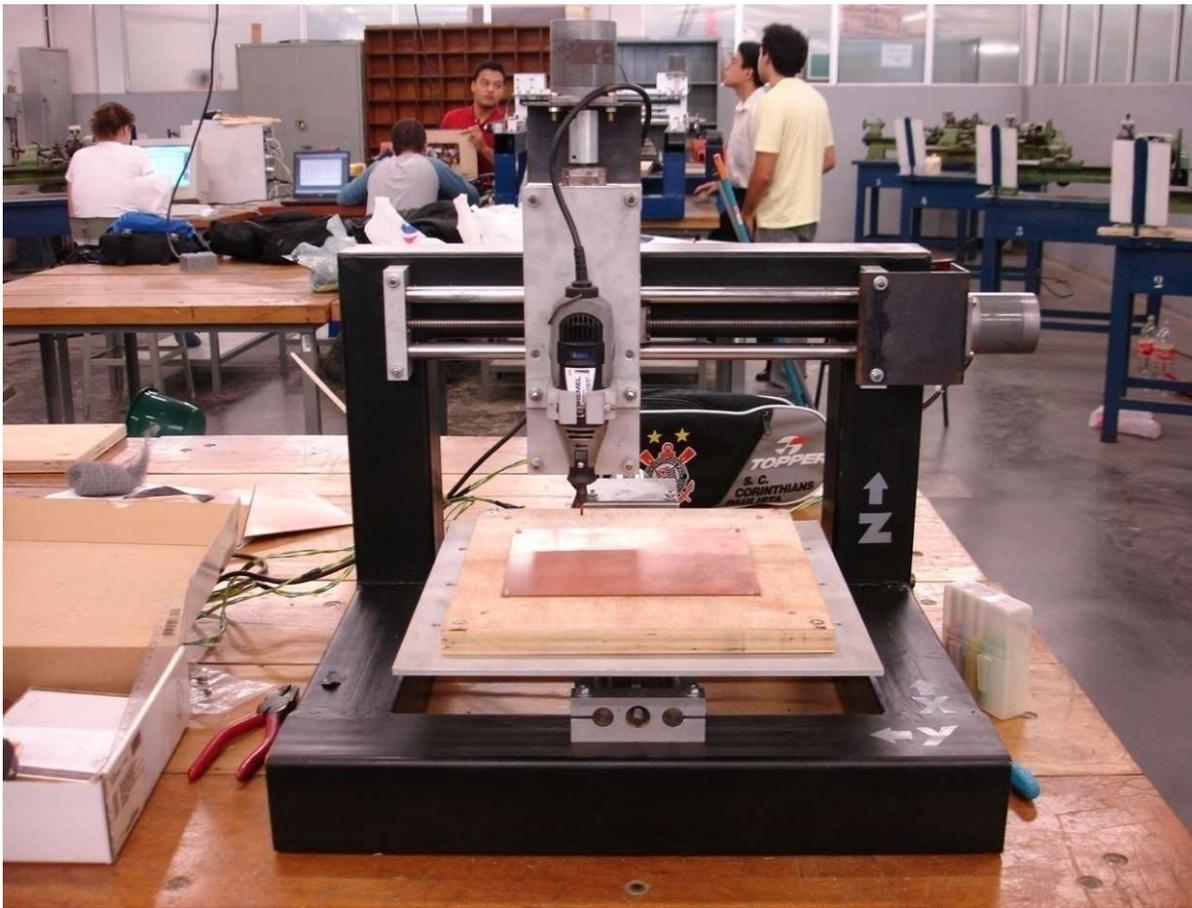












# O nosso Projeto

Projeto e construção de 4 máquinas CNC

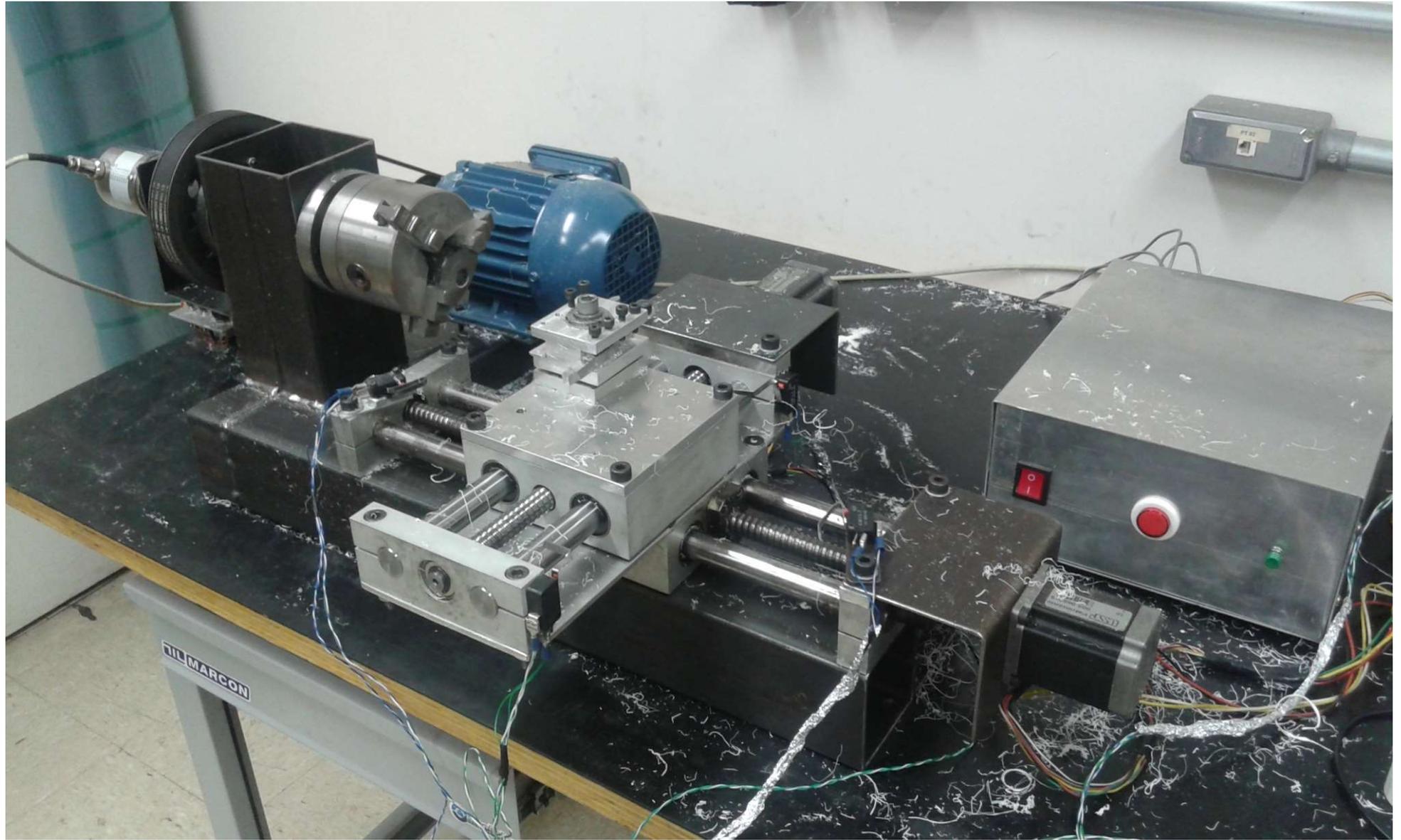
Equipes com  $N$  alunos, sendo  $N \approx$  número total de alunos / 4

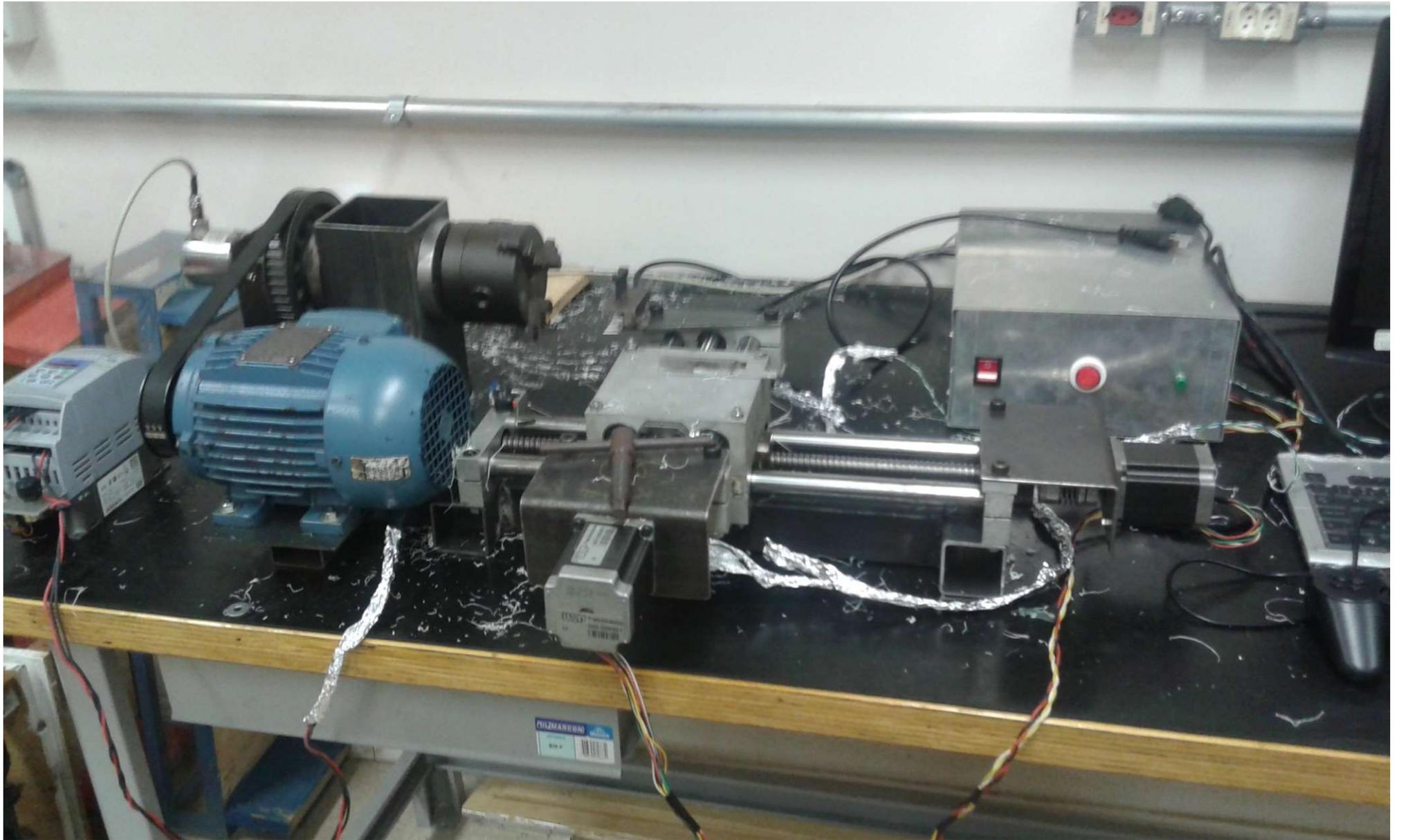
- Espera-se quatro equipes de 11 componentes

# 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](http://www.linuxcnc.org))

Controle através da porta paralela e joystick

**Linux PC**

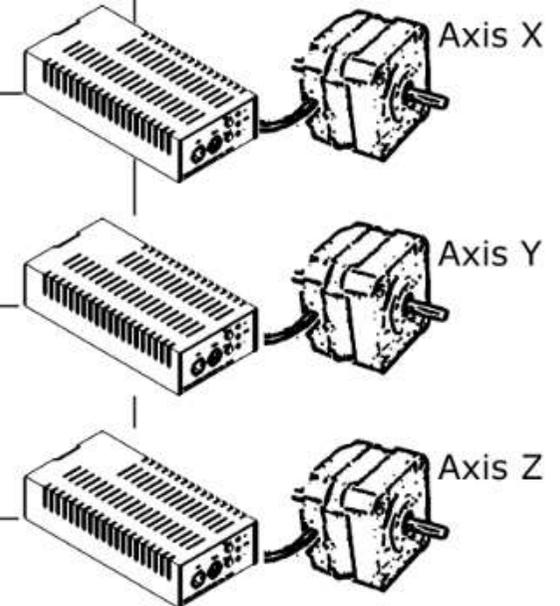


**Power supply**



**Step/Dir**

**Parallel port**



**Stepper drives**

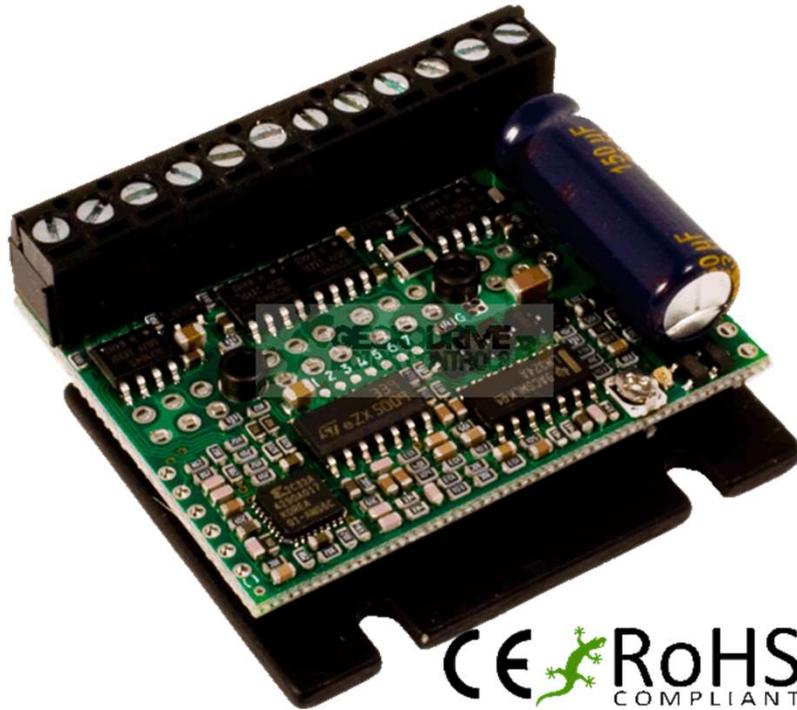
**Stepper motors**

joystick



USB

# 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](http://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