

PROJETO MECÂNICO (SEM 0347)

Notas de Aulas v.2022

Aula 05 – Estrutura de Máquinas

Professores: Carlos Alberto Fortulan
Benedito de Moraes Purquerio

Colaborador: João F. P. Lovo

Máquina

A máquina é um dispositivo que ajuda a tornar a execução de um trabalho mais fácil por realizar uma ou mais das seguintes funções:

- ✓ transferir uma força de um lugar para outro;
- ✓ mudar a direção de uma força;
- ✓ aumento da magnitude de uma força;
- ✓ aumento da distância de ação de uma força; ou
- ✓ aumento da velocidade de uma força.

Considerações importantes no projeto de Máquinas

1. Tipo de **Carga** e **Tensões** causadas pelo carregamento

- Cargas mortas
 - Cargas vivas
 - Carregamento estático
 - Carregamento dinâmico
 - Choques (eventuais)
 - Impactos (velocidade de aplicação)
- Tensões normais (tração, compressiva) e de cisalhamento
 - Tensões de torção
 - Tensões de flexão
 - Tensões térmicas

2. **CINEMATICA** da máquina (movimento dos componentes)

- Encontrar uma disposição mais simples que ofereça mais eficiência ao movimento necessário.

3. Seleção dos **MATERIAIS**

- É necessário um conhecimento das propriedades dos materiais e do seu comportamento em condições de trabalho.
- Resistência, dureza, rigidez, resistência fadiga, peso, resistência ao calor e à corrosão, a condutividade elétrica, usinabilidade, etc

4. DESENHO E DIMENSÃO dos componentes

As dimensões serão determinadas pela aplicação de forças/torque nos componentes/material de tal forma que uma falha (ruptura, deformação permanente ou elástica excessiva) não ocorra.

Constituintes de uma máquina

✓ Estrutura

Material
Desenho
Fabricação

✓ Movimentação

Linear
rotativa

Contínua
Pulsante

✓ Atuação

Hidráulica/pneumática;
Motor
.....

Elétrico,
Combustão

✓ Controle → Precisão/acuracidade/resolução – vibração - estabilidade

ESTRUTURA - função

- ✓ receber esforços;
 - ✓ Recebe e conduz calor
 - ✓ Localiza e posiciona componentes;
 - ✓ Recebe e amortece as vibrações (Damping);
 - ✓ Design
- Rigidez;
Resistência.
- Expansão térmica;
Condutividade.
- Funcional;
Ergonômico;
Estético.



Rigidez estática e rigidez dinâmica

Em um projeto mecânico a rigidez, muitas vezes, é mais importante que a capacidade de carga.

Rigidez estática,

Deformação sob cargas estáticas:

Peso das partes móveis;
Peso da peça obra;
Forças de corte

Rigidez dinâmica,

Comportamento sob ação de cargas inerciais e vibrações

Desenho

- ✓ Resistência → maior e mais leve → maior momento de inércia;
- ✓ Rigidez → maior e mais leve → maior momento de inércia;
- ✓ Peso → mais leve;
- ✓ Dissipação de calor e compensação da distorção;
- ✓ Acomodação dos componentes;

Desenho

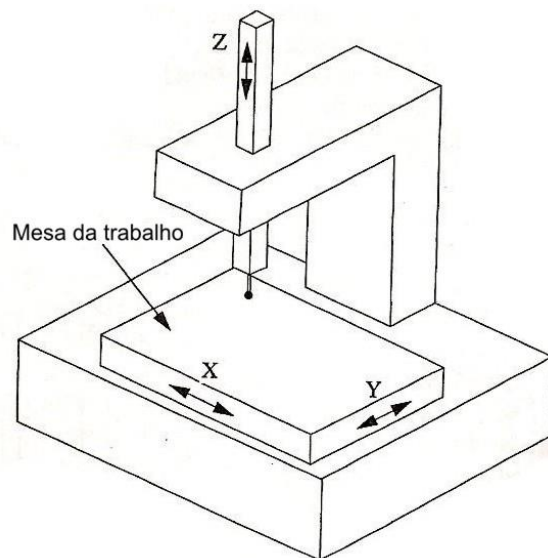


Figura 3.3 – Estrutura em “L” (SLOCUM, 1992).

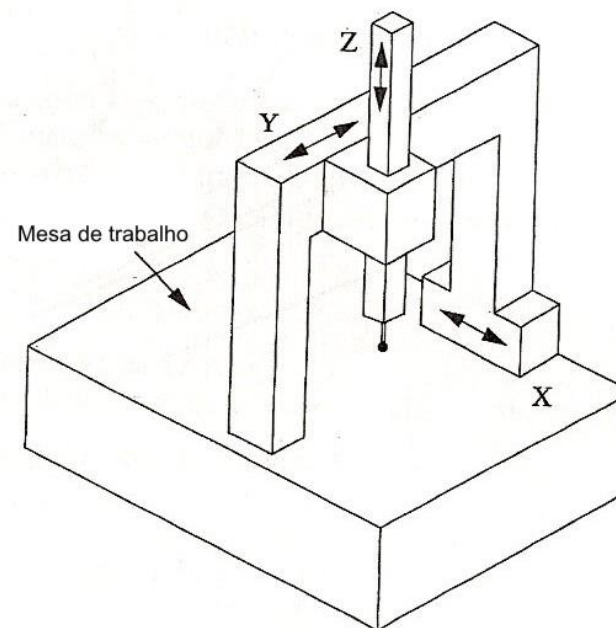
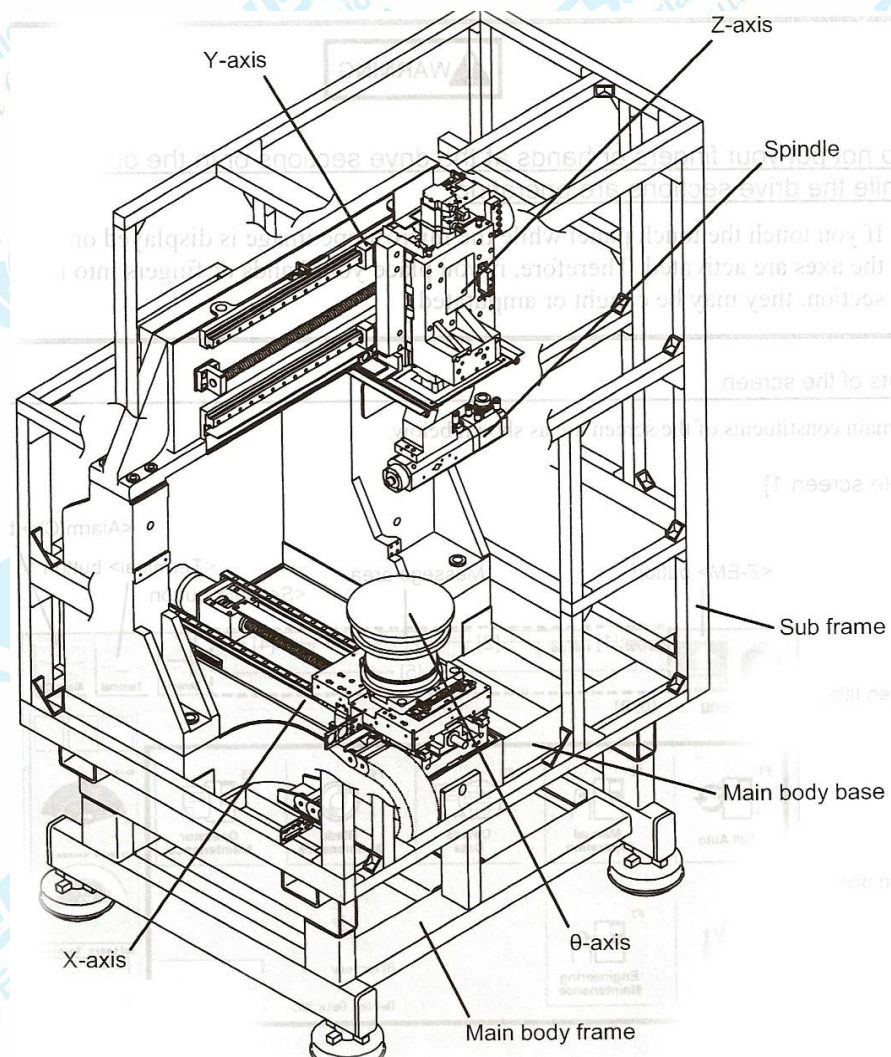


Figura 3.4 – Estrutura tipo Ponte (SLOCUM, 1992)



DAD 3350 da DISCO CORPORATION (OPERATION MANUAL, 2007)

ESTRUTURA – material

Na fase conceitual, uma estrutura baseada no material deve ser decidida.
A principais classes de estrutura são:

- ✓ Estrutura em ferro fundido;
- ✓ Estrutura Soldadas;
- ✓ Estrutura em Granito sintético;
- ✓ Estrutura em Concreto;
- ✓ Estrutura em Compósitos (filamento);
- ✓ Estrutura parafusada (Perfil modular);
- ✓ Estrutura impressa em 3D.

Materiais para estrutura

	σ_{RT} tração MPa	σ_{RT} compr. MPa	σ_e MPa	E GPa	ρ g/cm ³	H Brinell	H vickers	α X 10 ⁻⁶ 0-100 °C	K_{IC} MPa.m ^{1/2}	K W/m-K
Ferro fundido cinzento, classe 20	152	572		66-97	7,15	156	161			
Ferro fundido cinzento, ASTM A48 classe 40	276	134			7,15	183 - 234	246			
Ferro fundido dúctil (nodular) – Classe A	414		310			190	199			
Fofo nodular ASTM A897 grade 1	965	1380	758	163	7,1	302		14,6	109	22,1
AISI 1020 - laminado	450		330	200	7,87	143	179	11,7		51,9
AISI 1045 – laminado a quente	565		310	200	7,87	163	170	11,2		51,9
Alumínio 6063-T5	186		145	68,9	2,7	60	70	23,4		209
Granito Sintético*	27	103	26	36	2,1	75~300		14		1,2

Fonte: www.matweb.com; * Lovo et al. (2017) Synthetic granite composite for precision equipment structures

PROJETO MECÂNICO (SEM 0241) – PURQUERIO BM; FORTULAN CA (2022)

Materiais para estrutura

	Usinabilidade	Soldabilidade	Observações
Ferro fundido cinzento, classe 20	Fácil	Difícil	
Ferro fundido cinzento, ASTM A48 classe 40	Fácil	Difícil	
Ferro fundido dúctil (nodular) – Classe A			
Fofo nodular ASTM A897 grade 1			
AISI 1020 - laminado	Fácil	Fácil	Após o corte ao maçarico não tempera ao ar
AISI 1045 – laminado a quente	Fácil	Fácil	Após o corte ao maçarico tempera ao ar dificultado subseqüentes usinagens.
Alumínio 6063-T5	Fácil	Média	
Granito Sintético	Difícil	-----	

Fonte: www.matweb.com

- Ultra High Strength Steel
- Extra High Strength Steel
- Very High Strength Steel
- High Strength Steel
- Mild Steel / Forming Grades
- Aluminium
- Magnesium



Estrutura em Ferro Fundido

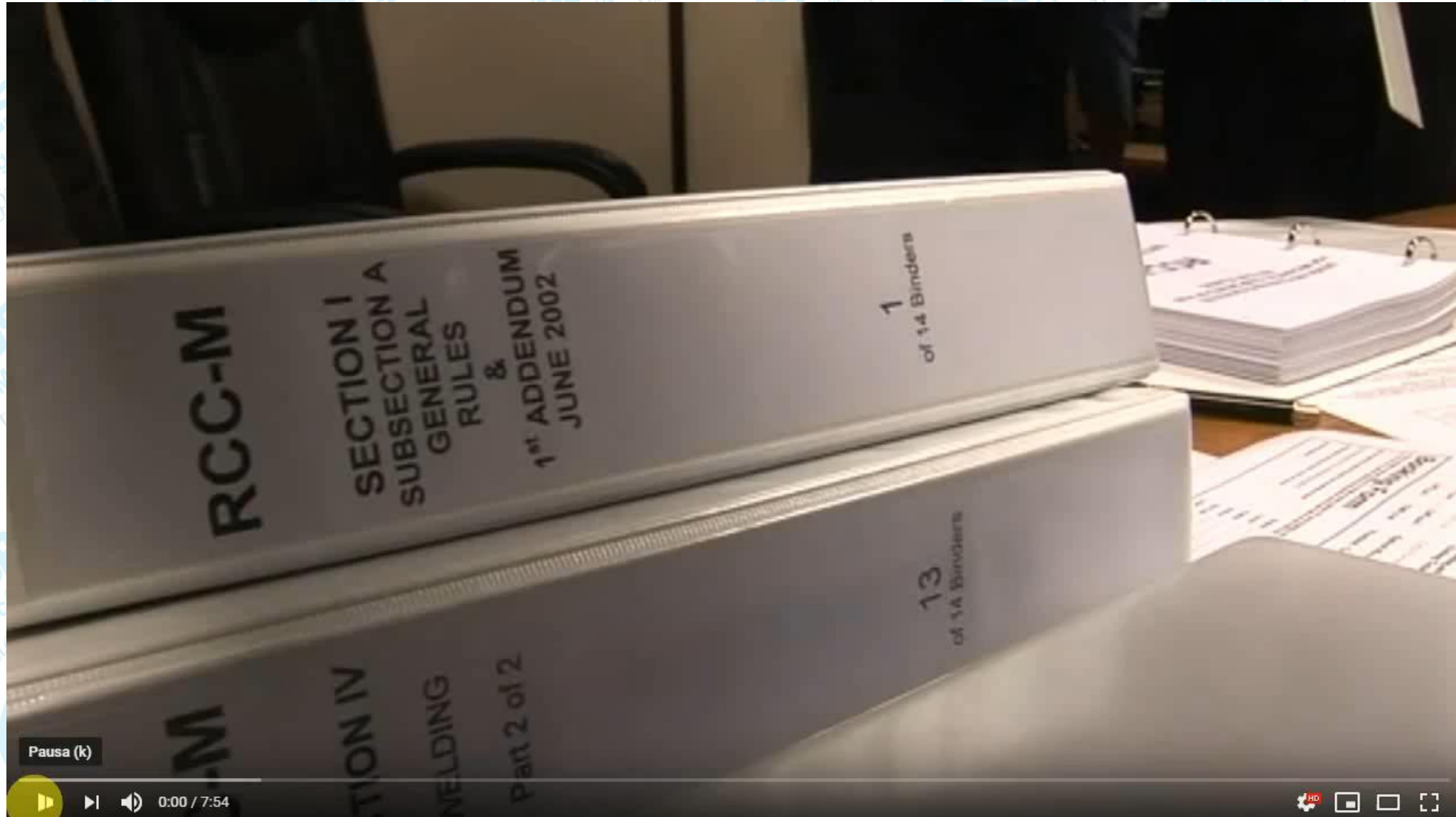
As boas propriedades gerais dos ferros fundidos e a facilidade de fundição de peças fizeram do ferro fundido a base da Indústria de Máquinas Ferramentas.



<http://www.iron-casting-chengfeng.com/machine-base-casting.htm>



http://www.taiwantrade.com.tw/EP/selica/products-detail/en_US/867733/CNC_Slant_Bed_Lathe/



Vantagens:

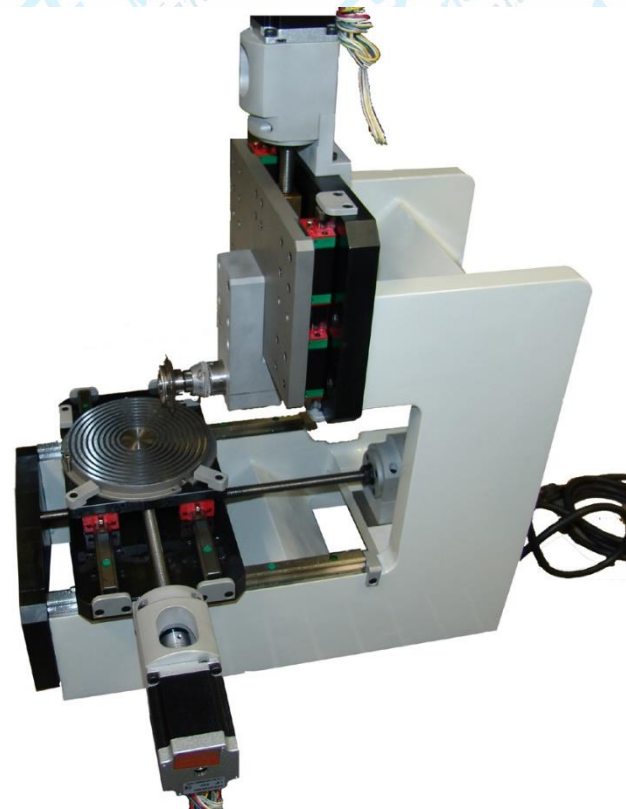
- ✓ Conformação;
- ✓ Custo;
- ✓ Grandes dimensões;
- ✓ Atrito;
- ✓ Amortecimento,

Desvantagens

- ✓ Densidade;
- ✓ Ângulo de saída → peso;
- ✓ Molde;
- ✓ Resistência Mecânica (cinzento);
- ✓ Baixa soldabilidade;
- ✓ Usinabilidade (nodular);
- ✓ Baixa resist. Fadiga

Estrutura Soldadas

Fabricação sem grande investimentos de infra estrutura e equipamentos com possibilidade de montagem parcial ou total em campo.



Araujo LAO (2009) . Projeto e desenvolvimento de uma mini máquina para fatiamento de substratos cerâmicos. Dissertação Mestrado

PROJETO MECÂNICO (SEM 0241) – PURQUERIO BM; FORTULAN CA (2022)

Vantagens:

- ✓ Baixo investimento;
- ✓ Custo;
- ✓ Rigidez;
- ✓ Alta resistência mecânica;
- ✓ Usinabilidade;
- ✓ Alterações;
- ✓ Estabilidade

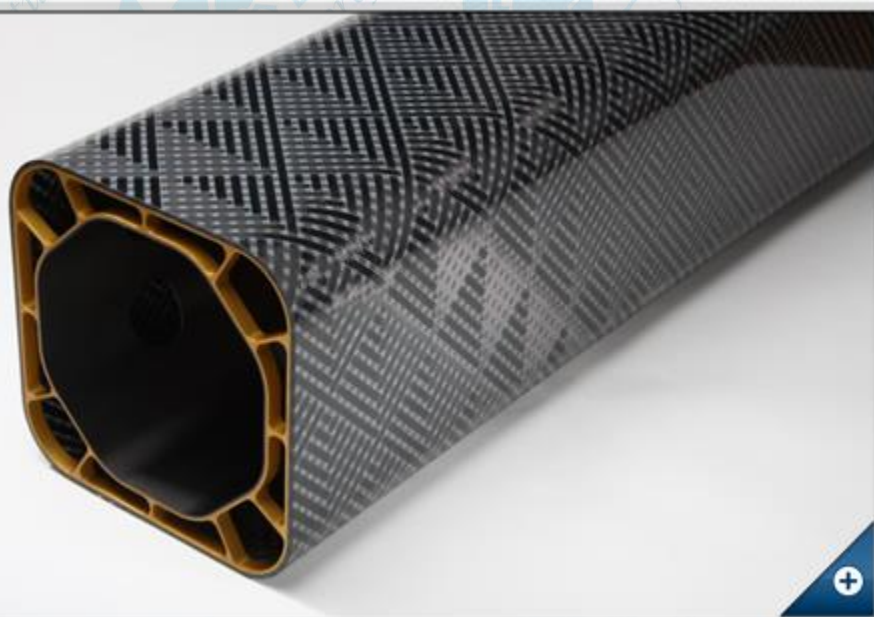
Desvantagens:

- ✓ Distorção geométrica e dimensional;
- ✓ Sensitização;
- ✓ Acesso;
- ✓ Operador;
- ✓ Juntas soldadas → falhas

Estrutura Compósitas

Vantagens

- ✓ Baixo peso;
- ✓ Resistência mecânica;
- ✓ Rigidez;
- ✓ Desenho e Estética



Desvantagens

- ✓ Manufatura complexa;
- ✓ Difícil automação;
- ✓ Necessidade de juntas;
- ✓ Anisotropia;
- ✓ Ambiental.



<http://g01.a.alicdn.com/kf/HTB12dNKKXXXXXa0XXXXq6xXFXXX1/Qav280-100-fibra-de-carbono-através-da-estrutura-da-máquina-de-carbono-leve-128-g-FPV.jpg>

Estrutura parafusadas – perfil modular

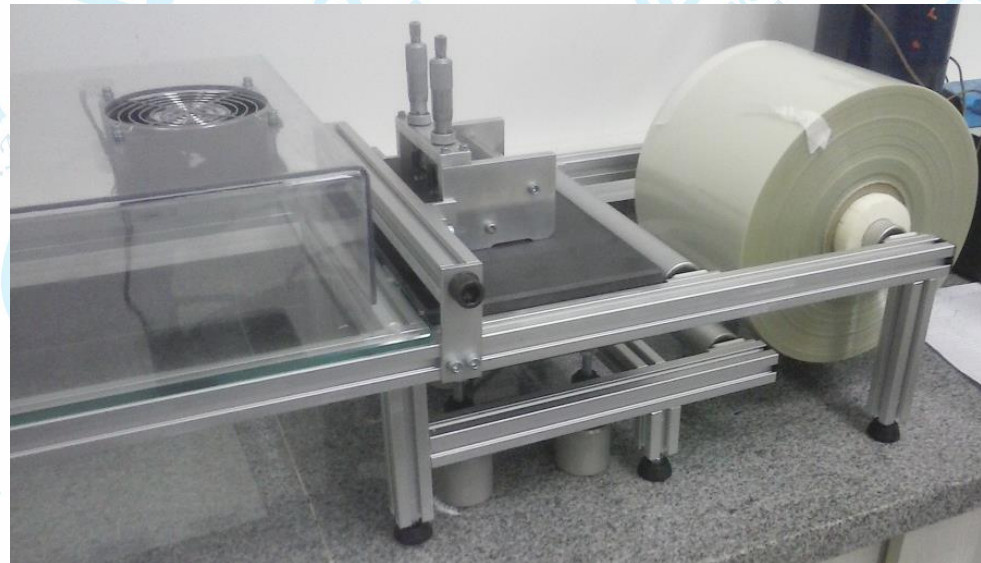
Atualmente em uso crescente

Vantagens:

- ✓ Rapidez de montagem;
- ✓ Baixo investimento;
- ✓ Custo;
- ✓ Padronização de partes
- ✓ Acabamento
- ✓ Alterações;

Desvantagens

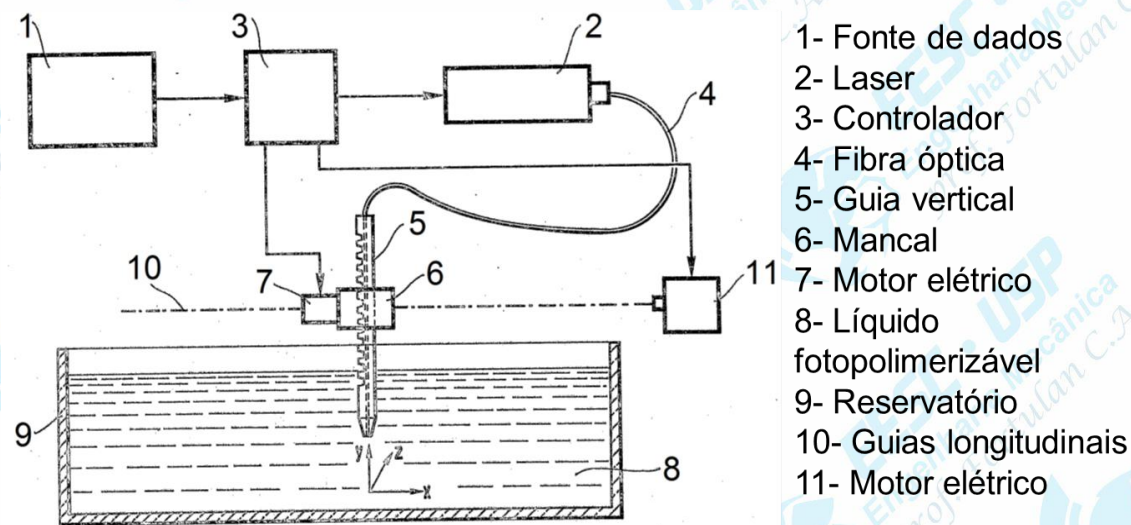
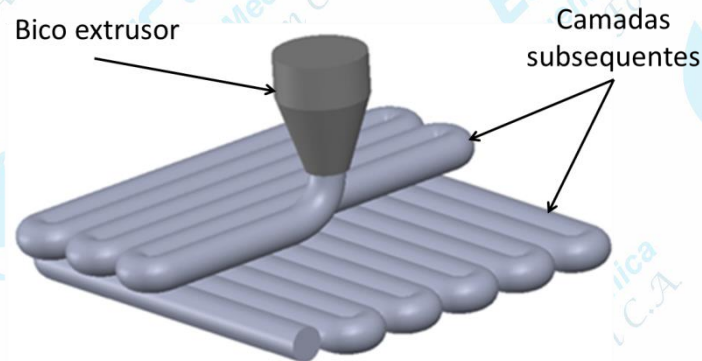
- ✓ Baixa rigidez;
- ✓ Baixa resistência Mecânica
- ✓ Visual;
- ✓ NR12.



Futuro

Estruturas Impressas em 3D

Manufatura Aditiva é o processo de fabricação por adição de material pelo qual um produto pode ser diretamente fabricado a partir de um modelo 3D computacional, e tal técnica de fabricação possibilita a produção com geometrias complexas.

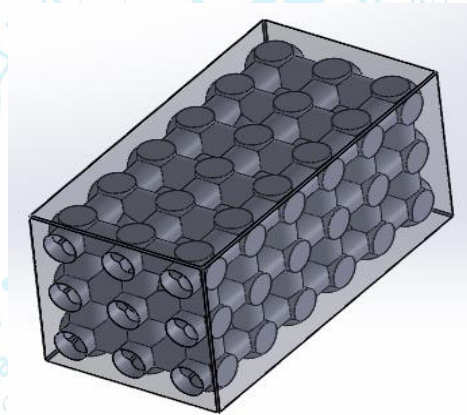


Adaptado de MEHUATÉ, ANDRÉ e WITTE (1984)

Estruturas Impressas em 3D

Principais vantagens:

- ✓ Material otimizado para as direções principais;
- ✓ Geometrias impossíveis com outras técnicas ;
- ✓ Facilidade de fabricação;
- ✓ Leveza estrutural;
- ✓ Menor desperdício;
- ✓ Menor gastos com transporte e novas possibilidades de logística.



<http://exame.abril.com.br/tecnologia/noticias/veja-o-material-mais-leve-do-mundo-formado-por-99-99-de-ar>



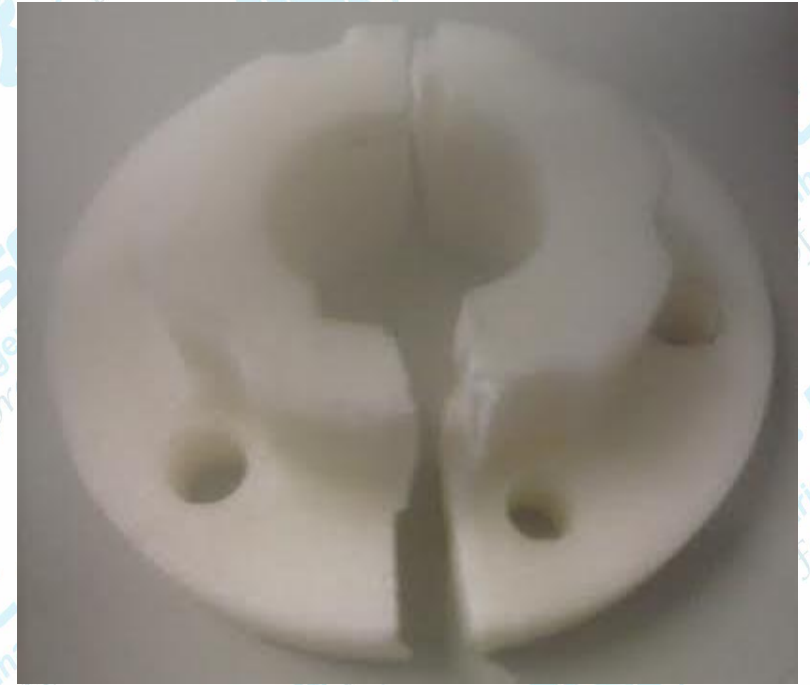
<http://www.rapidreadytech.com/2015/06/edags-light-cocoon-is-a-metamorphosis-for-car-design/>

https://www.youtube.com/watch?v=yM3_ajyWo4Q&feature=youtu.be

Estruturas Impressas em 3D

Limitações atuais:

- ✓ Dimensão;
- ✓ Custo x Resistência mecânica;
- ✓ Acabamento superficial;
- ✓ Custos;
- ✓ Velocidades de impressão.



Generative Design (Design generativo)



“O presente com cara de futuro”
“ Fator de forma perfeito”

Vídeo_1

Vídeo_2

Possível, hoje, graças: materiais, fabricação (3D), análise (FE)

Programa computacional que executa um processo iterativo na geração de certo número de saídas que atendem a determinadas restrições

PROJETO MECÂNICO

GRANITO SINTÉTICO

B. de M. Purquerio
Engenheiro Mecânico, M. Sc., Ph. D.

GRANITO SINTÉTICO

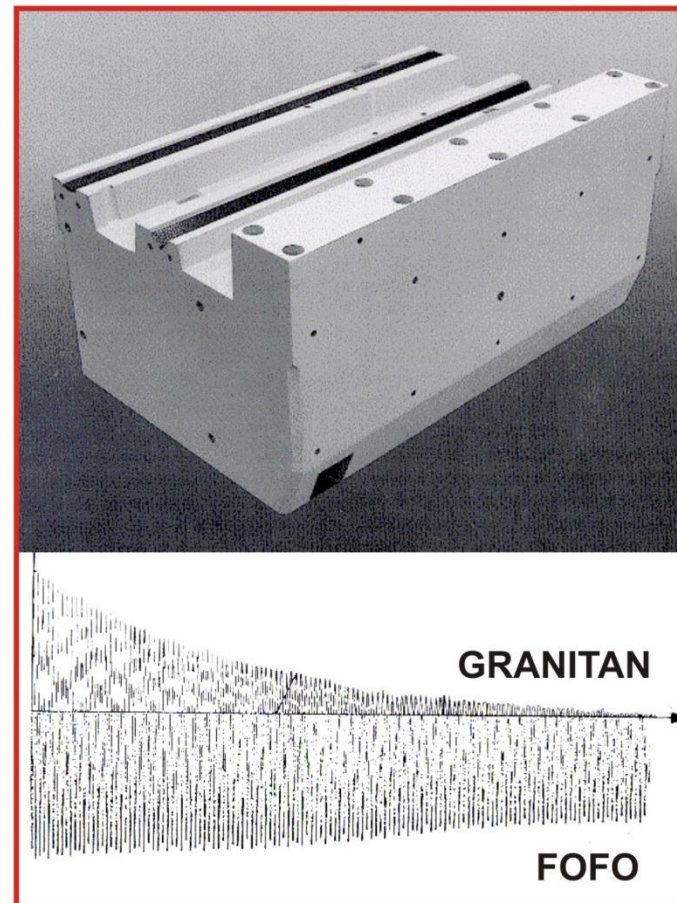
Densidade: 2400 kg/m^3

M. Elasticidade: 35000 N/mm^2

Resistência à tração: 15 N/mm^2

Resistência à compressão: 100 N/mm^2

Resistência à flexão: 22 N/mm^2



made of **studer**
granitan[®]

PROJETO MECÂNICO

GRANITO SINTÉTICO



Dispositivos de Usinagem

Inserto Metálico



Corpos-de-provas



PROJETO MECÂNICO

GRANITO SINTÉTICO

SEQUENCIA DE MOLDAGEM DE ESTRUTURAS DE GRANITO SINTÉTICO



RESINA
E
CATALIZADOR



BASE INSTALADA
NA MÁQUINA



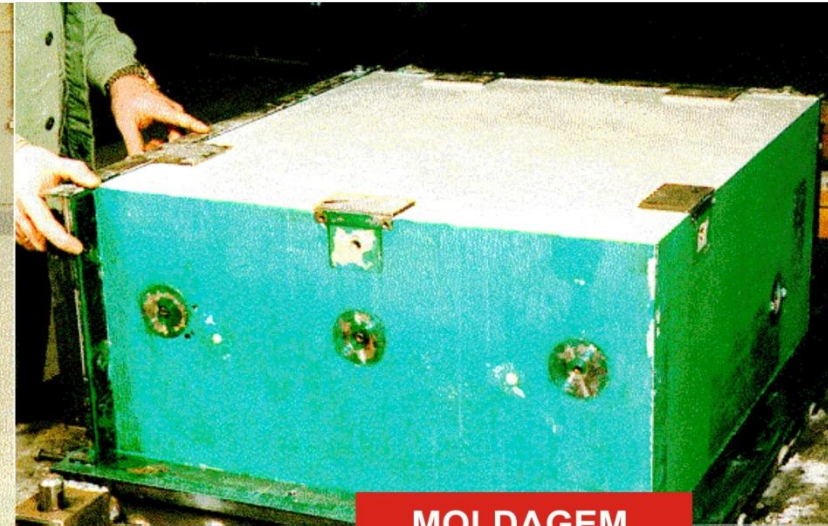
PROJETO MECÂNICO

GRANITO SINTÉTICO

GRANITO SINTÉTICO

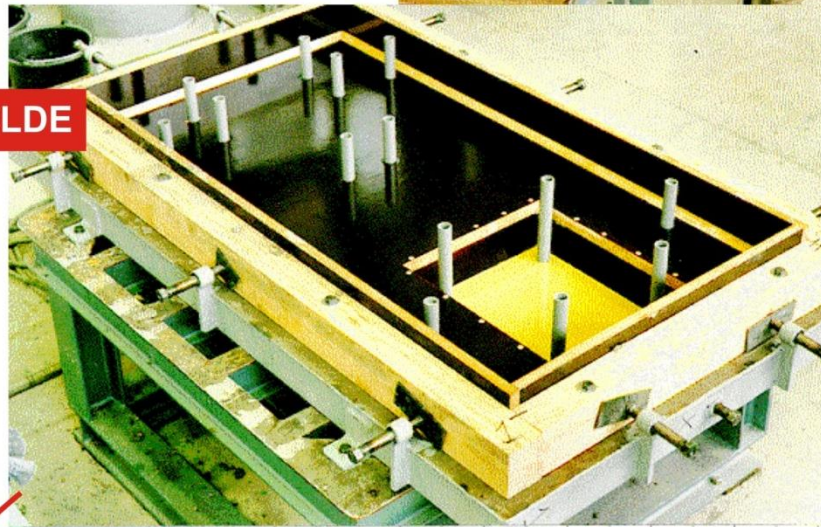
STEWING

MISTURA



MOLDAGEM

MOLDE



PROJETO MECÂNICO

GRANITO SINTÉTICO

GRANITO SINTÉTICO

SYNCONCRETE

Base de Máquina
Moldada

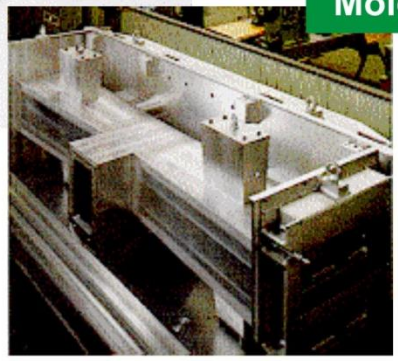


Máquina CNC

Molde



Molde



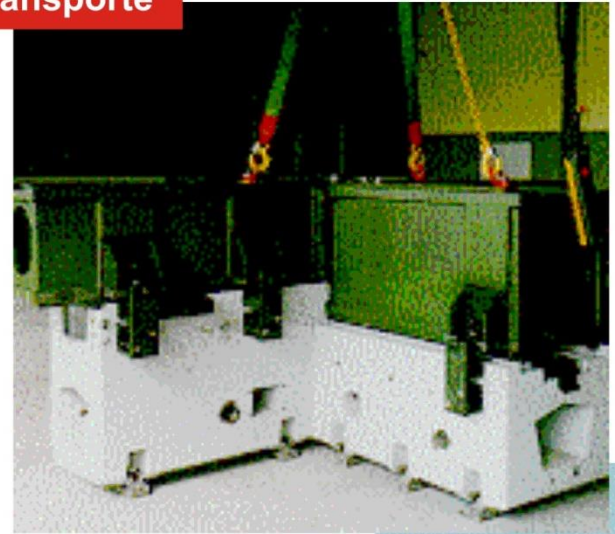
PROJETO MECÂNICO

GRANITO SINTÉTICO

GRANITO SINTÉTICO

SYNCONCRETE

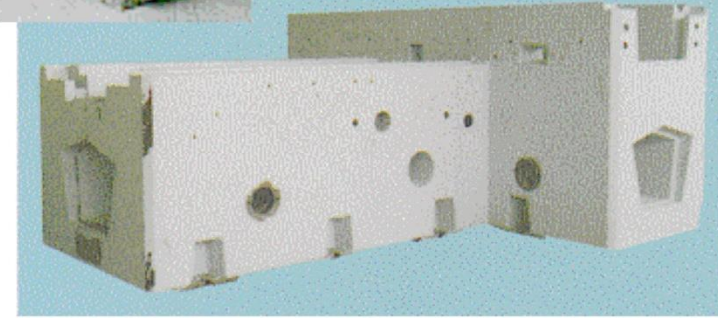
Transporte



MOLDAGEM



Base de Máquina Moldada



GRANITO SINTÉTICO

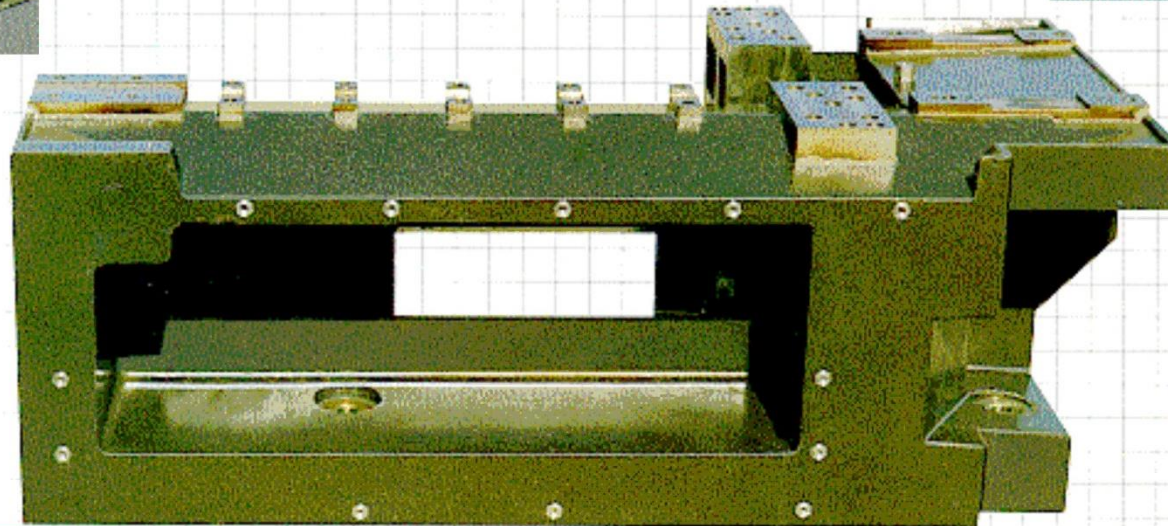
STEWING



Estrutura de Fresadora



Estrutura de Retificadora



Estrutura de Torno Paralelo



Natural Granite Base –

Nanoform 700 ultra

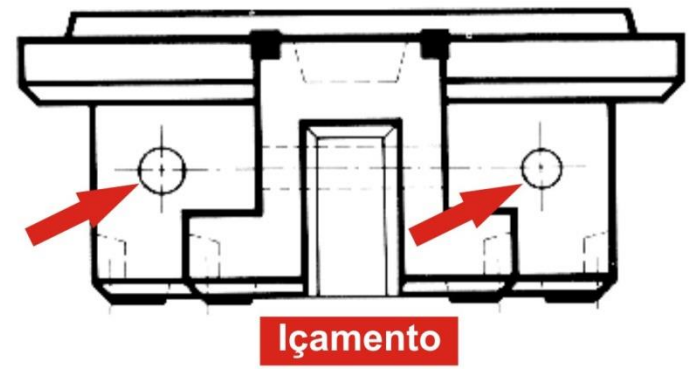
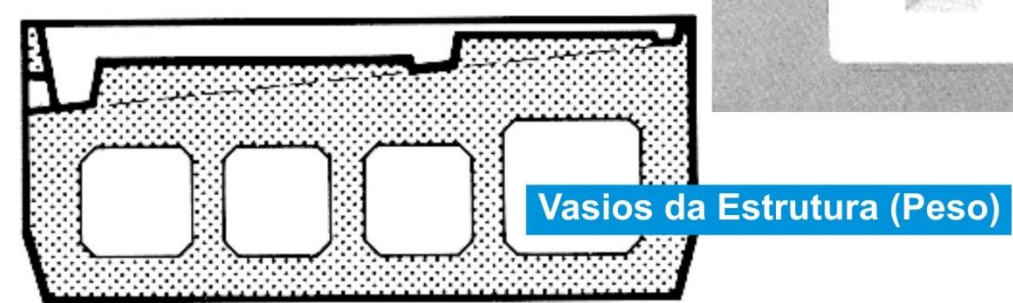
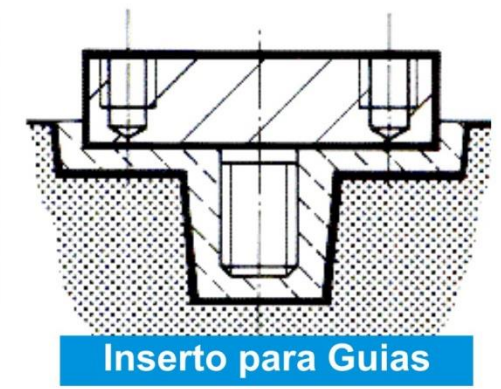
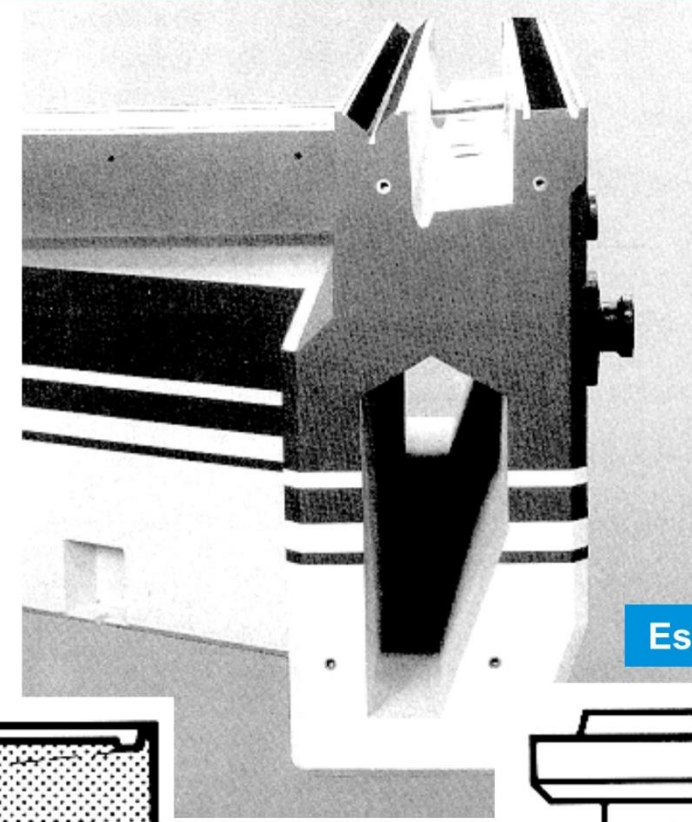
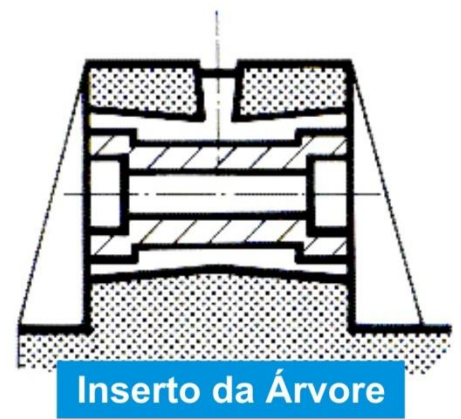
Natural granite base is lapped flat at Precitech and then sealed for life. The X-axis risers are also natural Granite. Granite provides excellent long term stability of the base of the machine so straightness and squarenesses will not be distorted over time.

<https://www.precitech.com/product/largeframelathesoverview/nanoform700ultra>

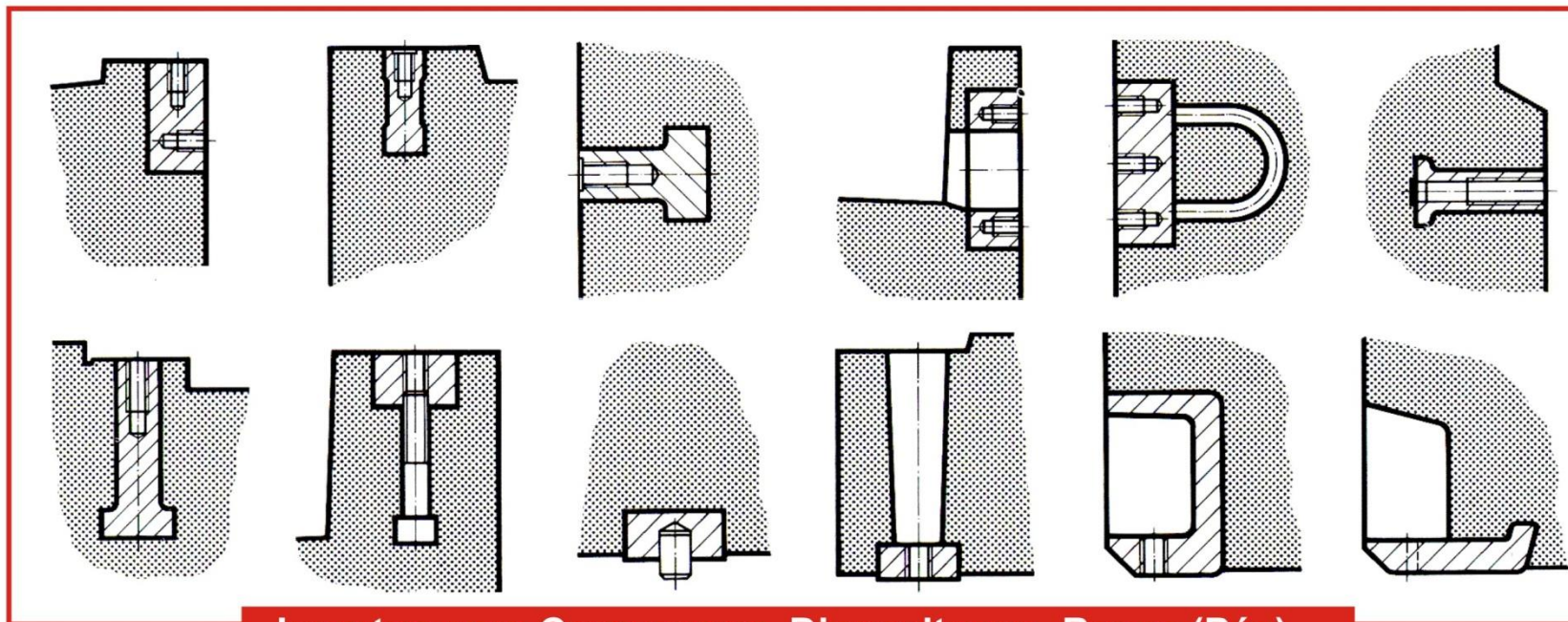
PROJETO MECÂNICO

GRANITO SINTÉTICO

ESTRUTURA DE RETIFICADORA EM GRANITO SINTÉTICO - Fonte: Suder.



INSERTOS E FIXAÇÃO DE GUIAS EM ESTRUTURAS DE GRANITO SINTÉTICO



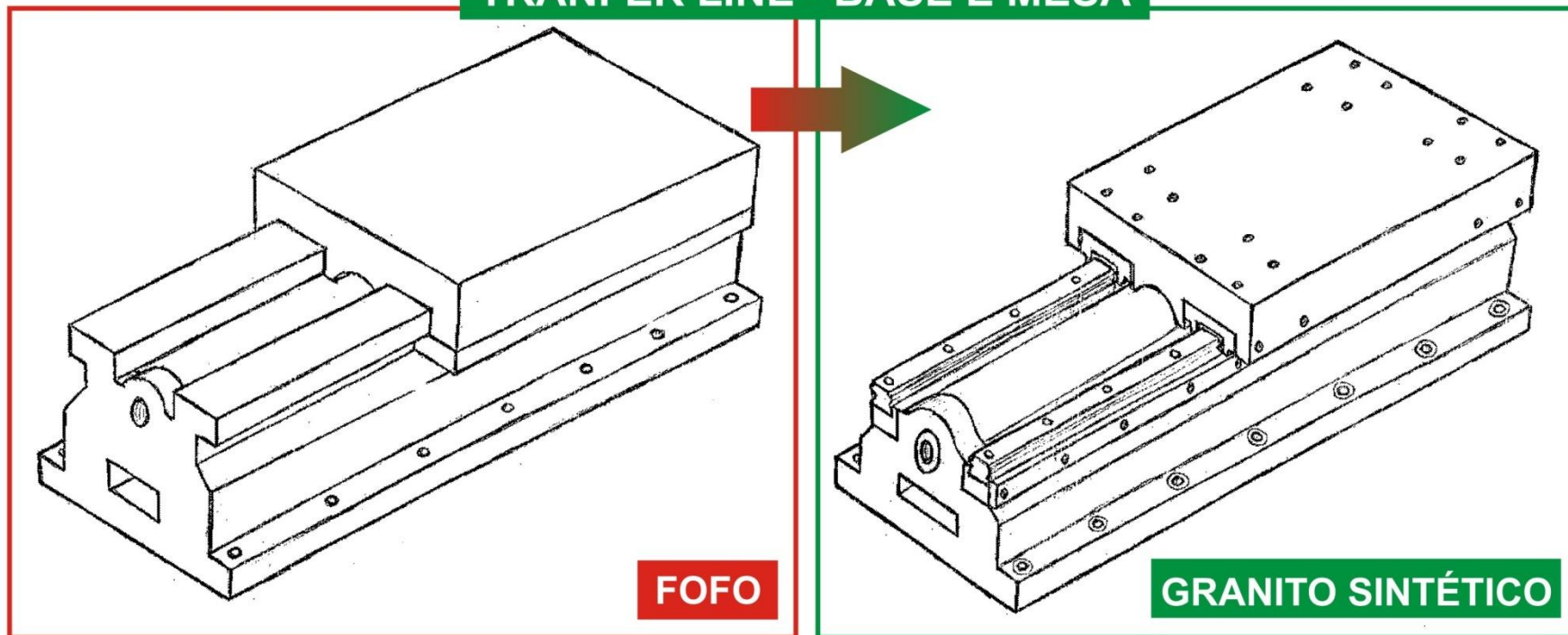
Insertos para Carenagens, Dispositivos, Bases (Pés)...



Insertos para Fixação de Guias (Mancais)

EXEMPLO DE APLICAÇÃO

TRANSFER LINE - BASE E MESA

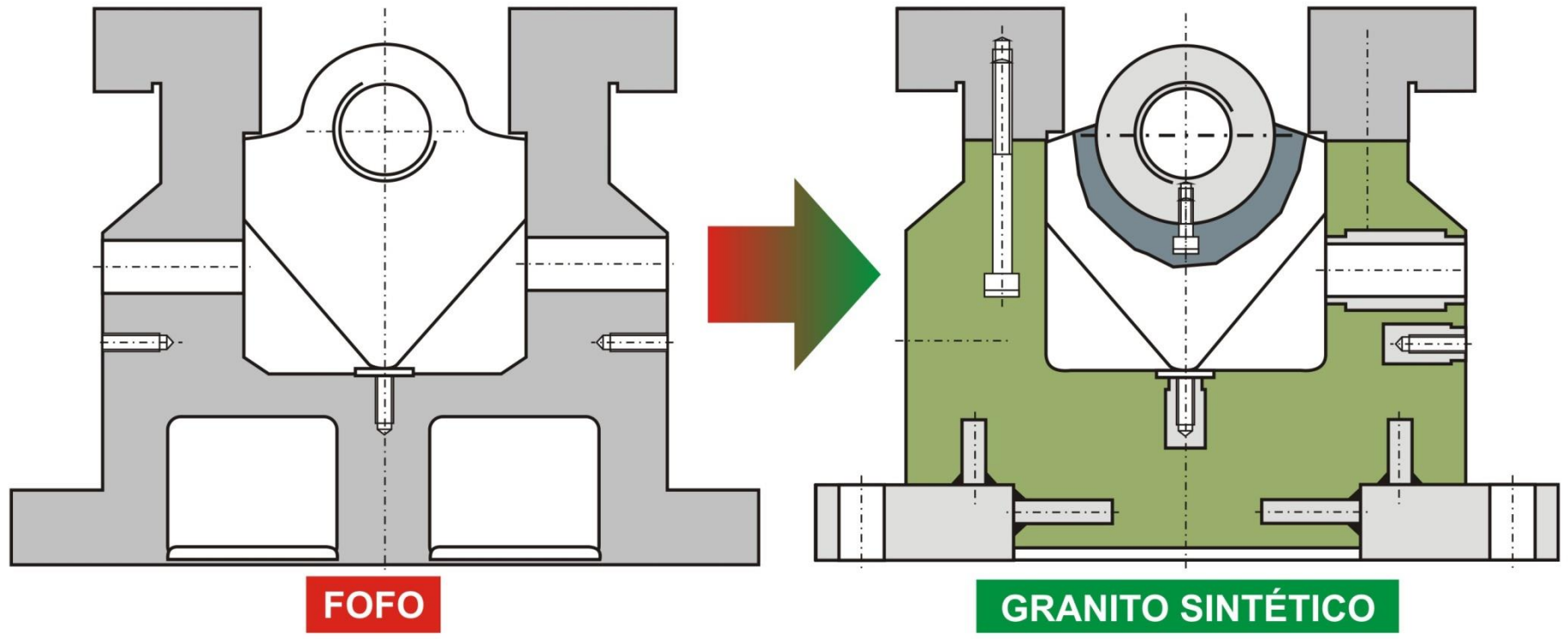


PROJETO MECÂNICO

GRANITO SINTÉTICO

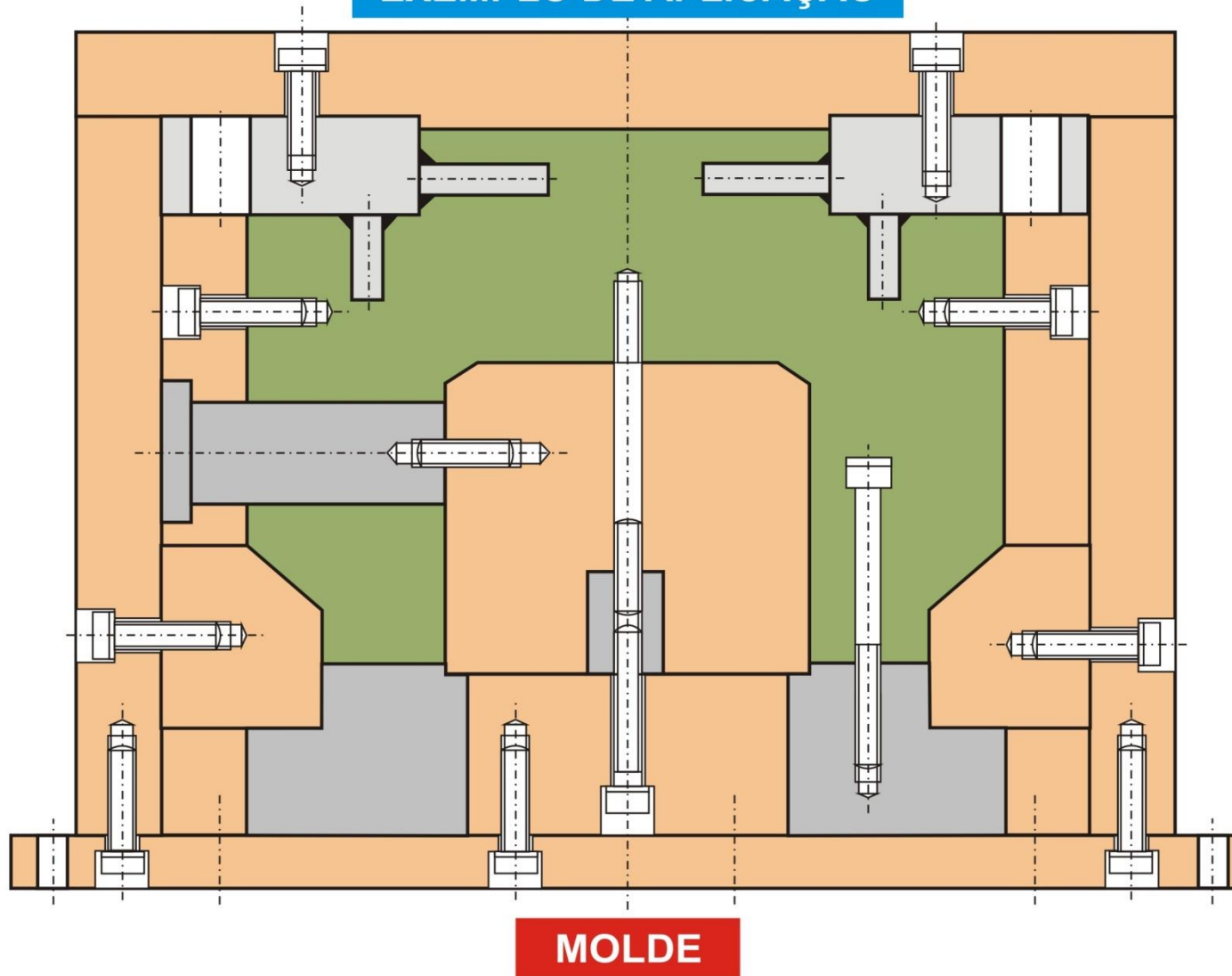
EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Detalhes dos Inserts

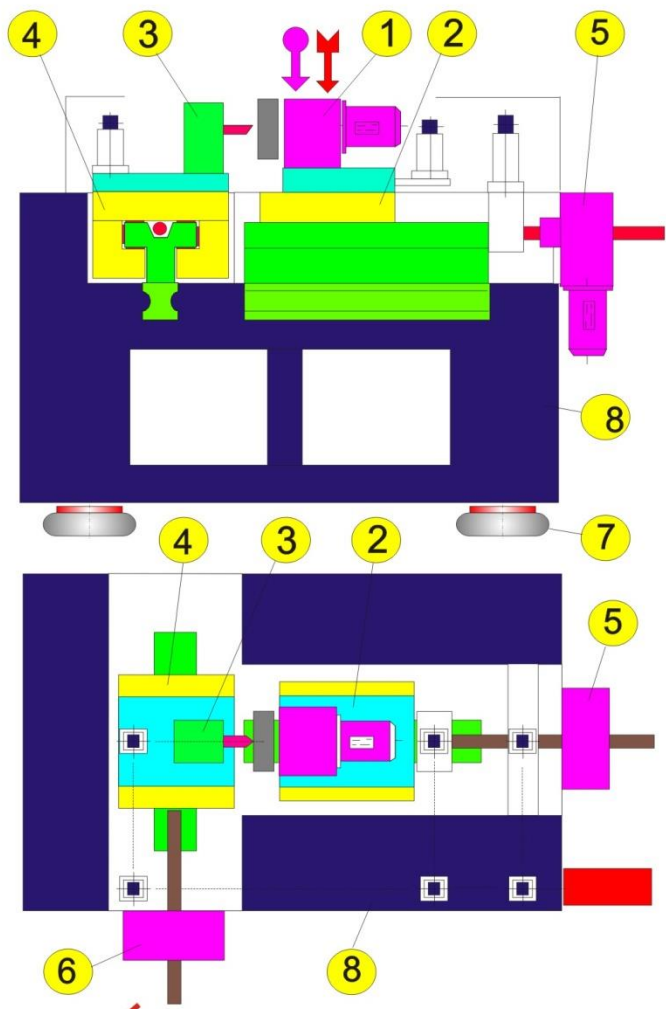


ESTRUTURA PARA TRANFER LINE

EXEMPLO DE APLICAÇÃO



TORNO DE ULTRAPRECISÃO PARA USINAGEM COM DIAMANTE MONOCRISTALINO (CROQUI)



EXEMPLO DE APLICAÇÃO

- 1 - CABEÇOTE AEROSTÁTICO
- 2 - MESA DO CABEÇOTE
- 3 - PORTA FERRAMENTA
- 4 - MESA DO PORTA FERRAMENTA
- 5 - ACIONAMENTO DA MESA DO CABEÇOTE
- 6 - ACIONAMENTO DA MESA DO PORTA FERRAMENTA
- 7 - AMORTECEDORES

SISTEMAS

- Vácuo
- Interferométrico
- Ar comprimido

8 - ESTRUTURA DE GRANITO SINTÉTICO

PROJETO MECÂNICO

GRANITO SINTÉTICO

MOLDES E ESTRUTURAS MOLDADAS



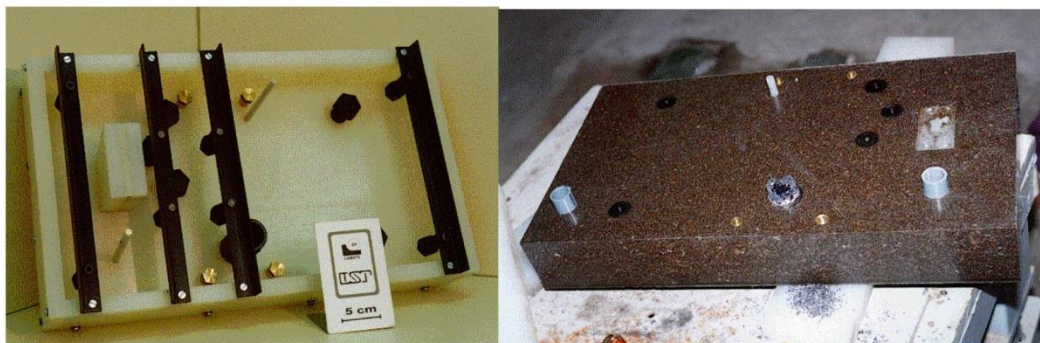
BASE DO RELÓGIO ATÔMICO (IFSC)
Molde e Base.

ESQUEMA DA RETIFICAÇÃO
DE ESFERAS DE CERÂMICAS



ESTRUTURA DA RETIFICADORA
DE ESFERAS DE CERÂMICA - Molde.

EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

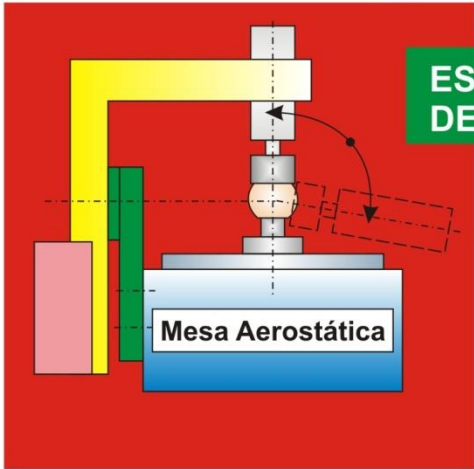


BASE DA RETIFICADORA DE CORPOS-DE-PROVAS DE CERÂMICA- Molde e Base.

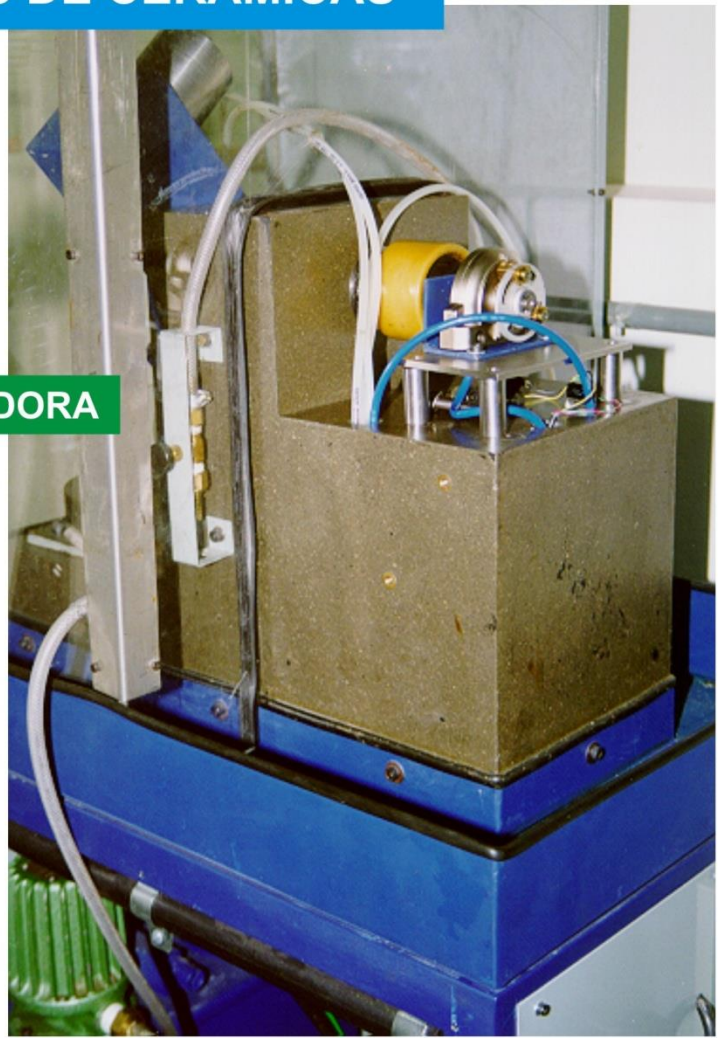
PROJETO MECÂNICO

GRANITO SINTÉTICO

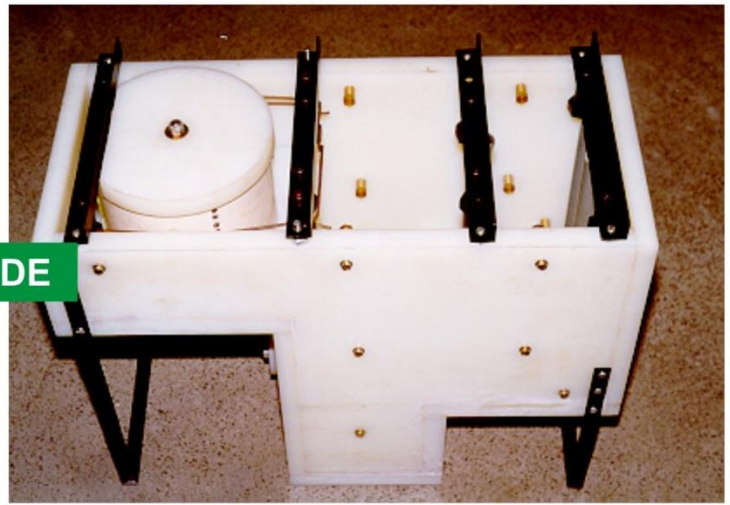
RETIFICADORA DE ESFERAS DE CERÂMICAS



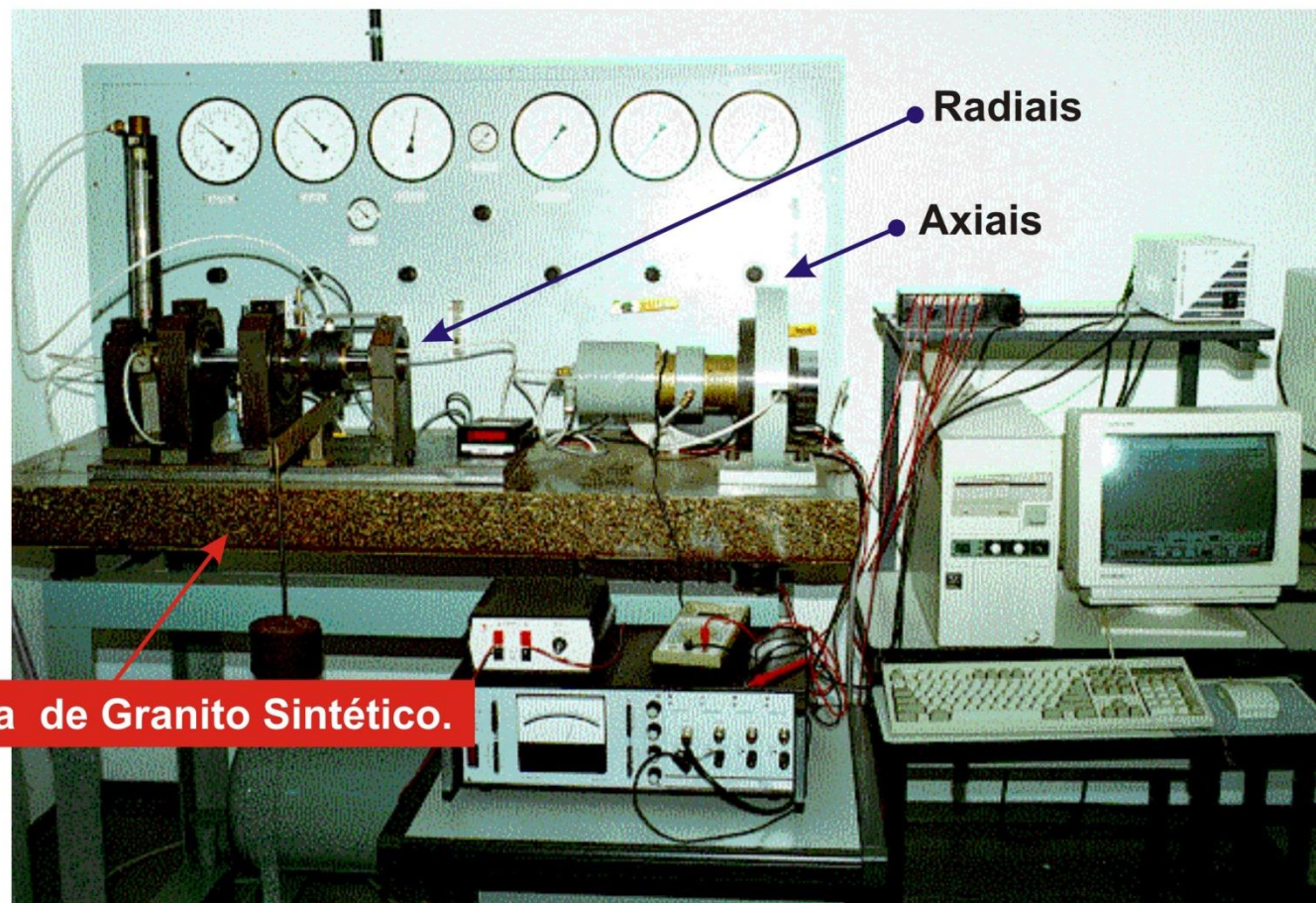
ESQUEMA DA RETIFICAÇÃO DE ESFERAS DE CERÂMCAS



RETIFICADORA



MOLDE

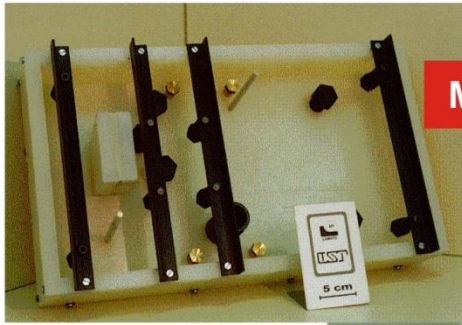


Mesa de Granito Sintético.

BANCO DE ENSAIOS DE MANCAIS AEROSTÁTICOS AXIAIS E RADIAIS

PROJETO MECÂNICO

GRANITO SINTÉTICO



MOLDE DA BASE

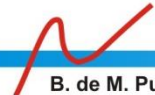


RETIFICADORA



BASE MOLDADA

RETIFICADORA DE CORPOS DE PROVAS

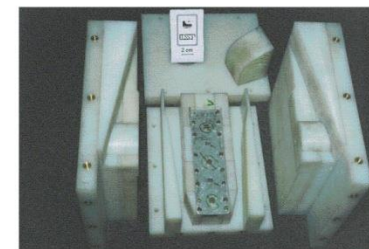


Microscópio Óptico Brasileiro

FAPESP CNPq finep



INSERTOS METÁLICOS



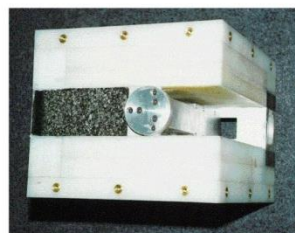
PARTES DO MOLDE



FIXAÇÃO NA MESA VIBRATÓRIA



MOLDAGEM

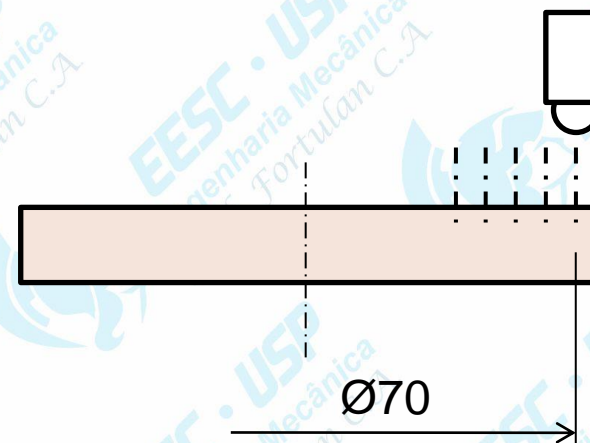
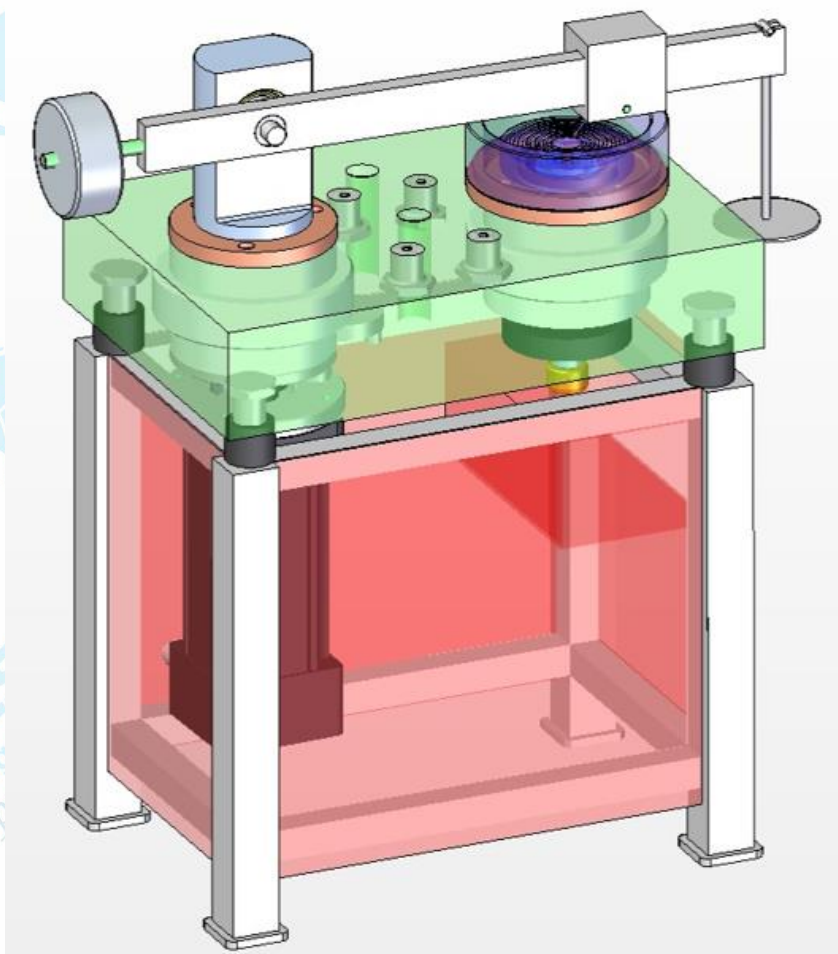


DESMOLDAGEM



DESMOLDAGEM-COMPLETA

Projeto: *pin-on-disc*



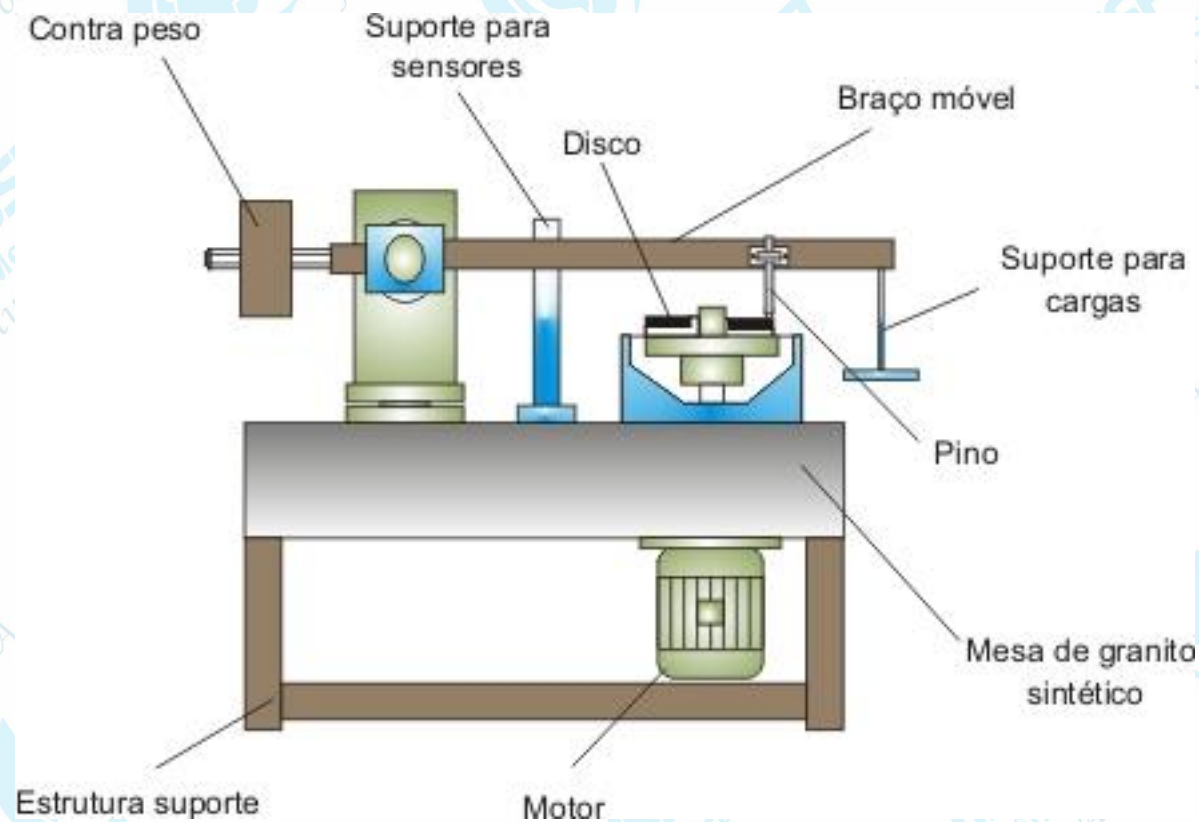
$W = 0 \text{ a } 40\text{N}$

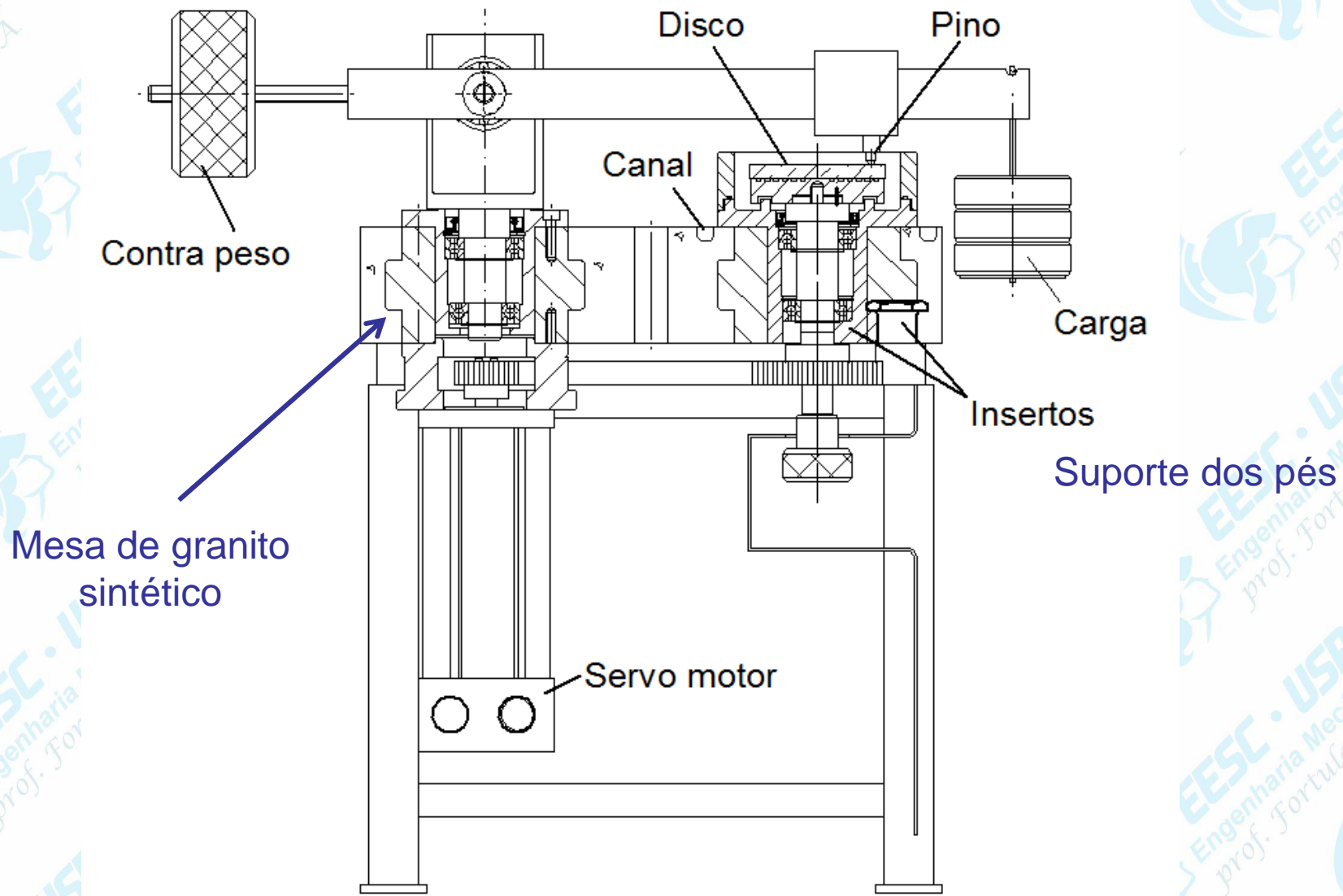
$V = \dots\dots\text{até } 5\text{m/s}$

A seco ou lubrificado

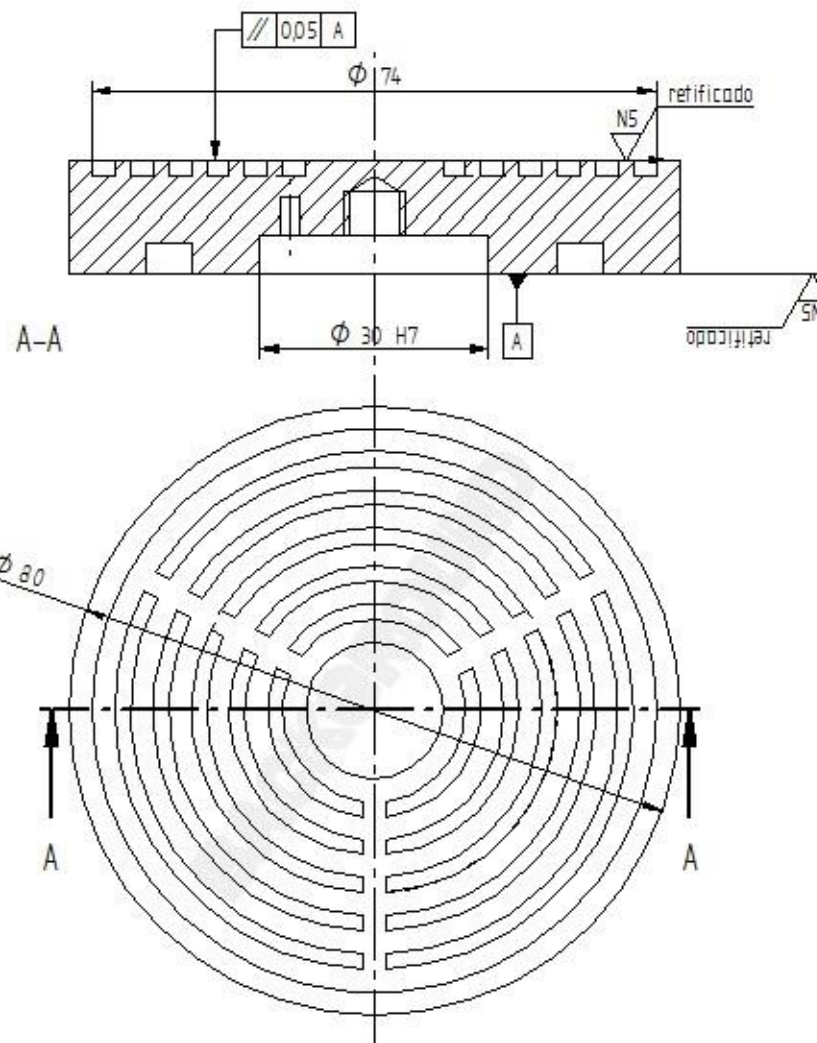
$M_t = 4,5 \text{ N.m}$

Projeto 1994 – LTC/EESC

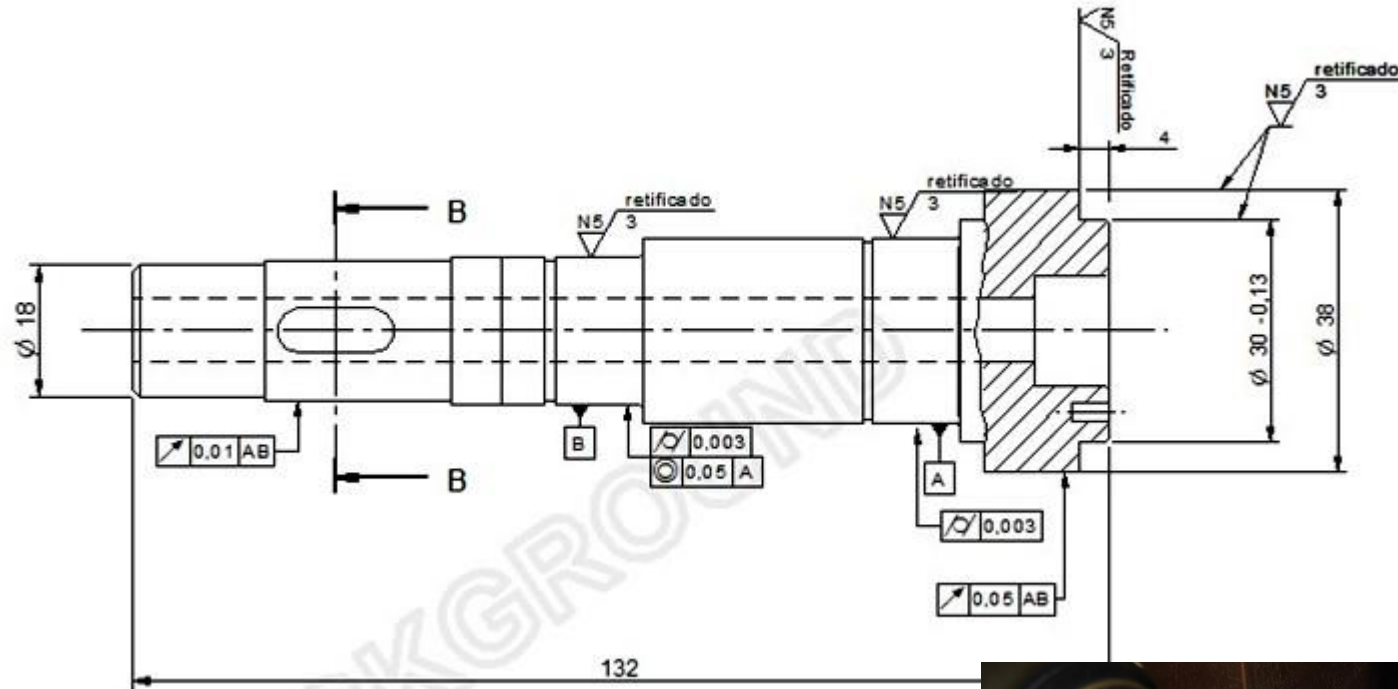




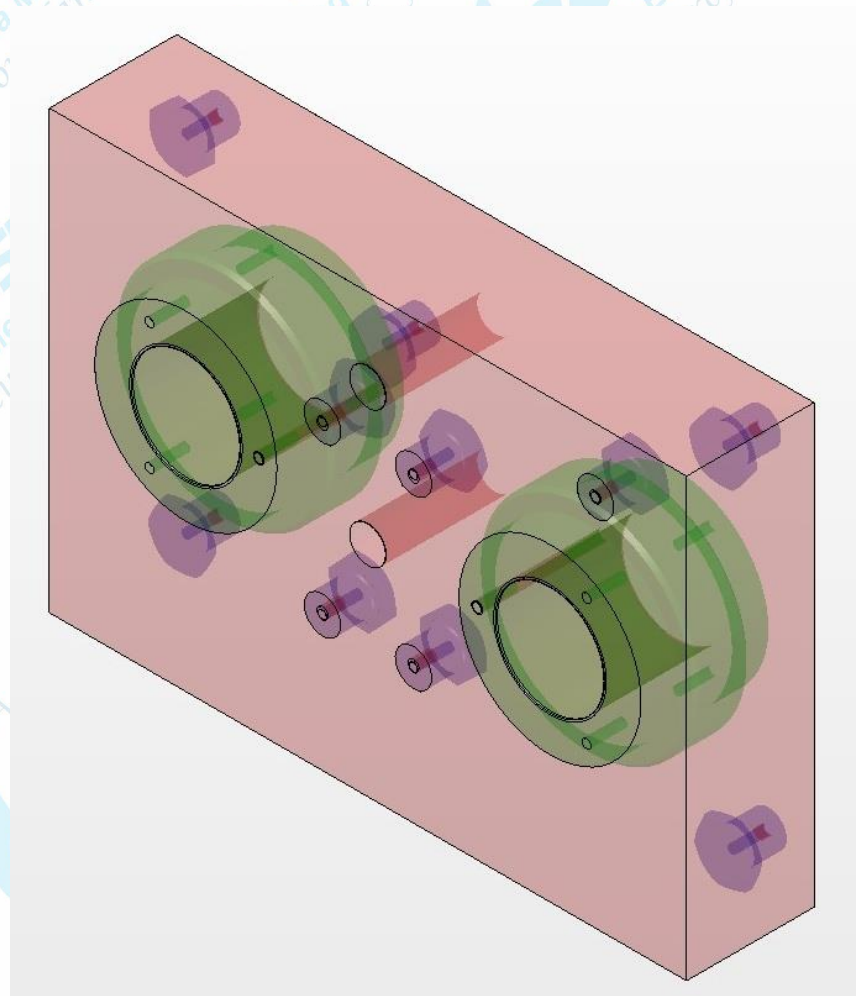
Suporte do disco



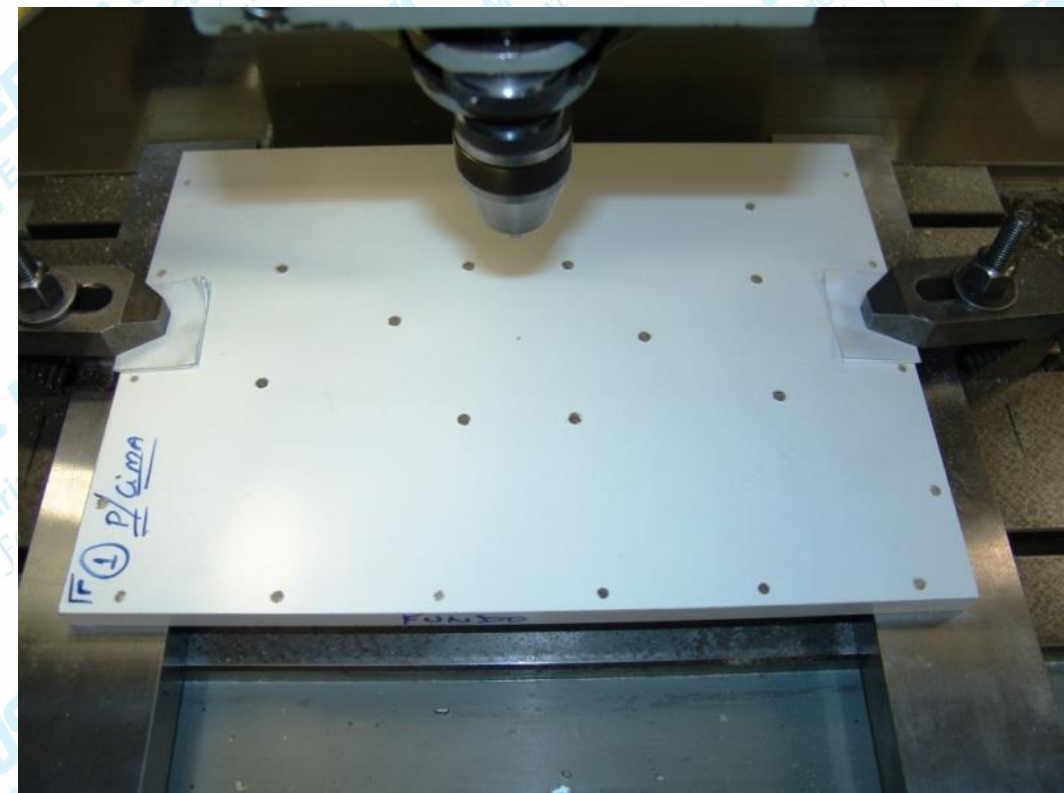
Eixo



Mesa – projeto

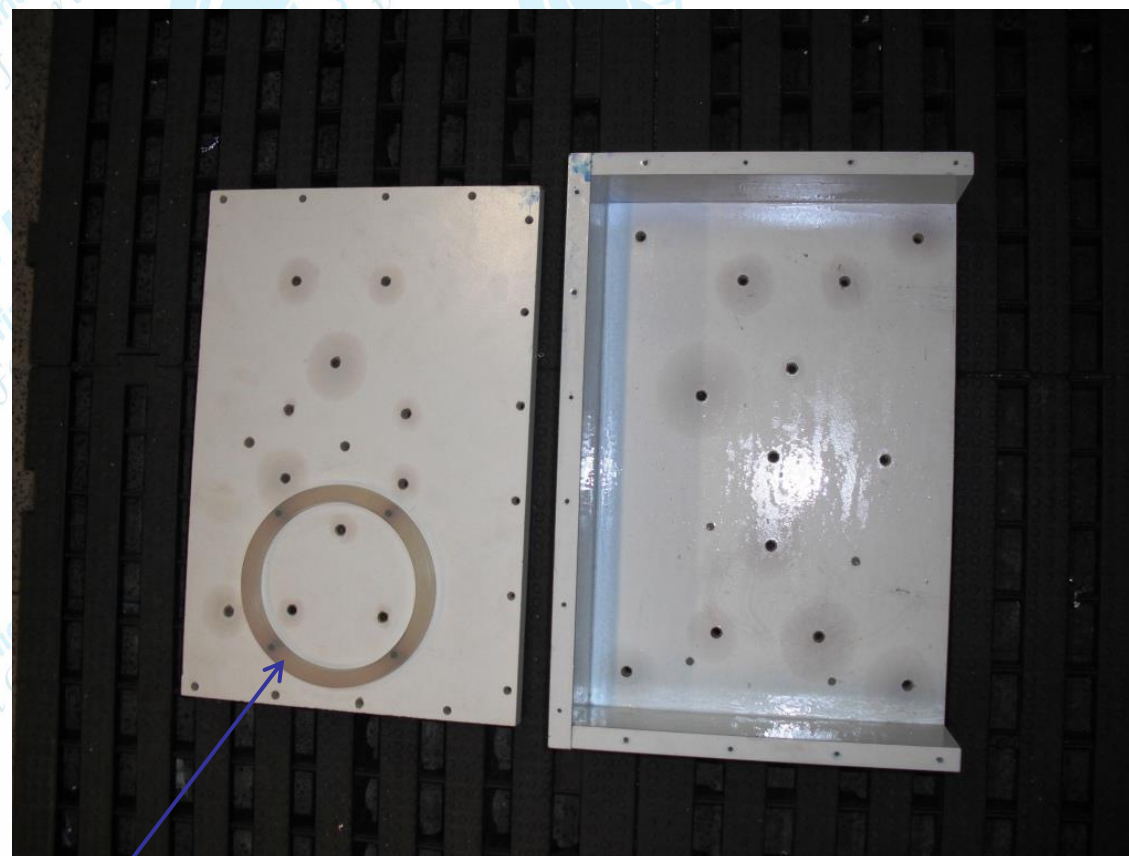


Mesa – fabricação do molde





Montagem – desmoldante - PVAI



Anel para canal de retenção de fluídos

Formulação

Três tamanhos de grãos de granito:

- Fino – 0,3 a 1,2 mm
- Médio – 2 a 4 mm
- Grosso – 7 a 12 mm

18 testes de compactação :

- 30% de grosso;
- 20% de médio;
- 50% de fino.

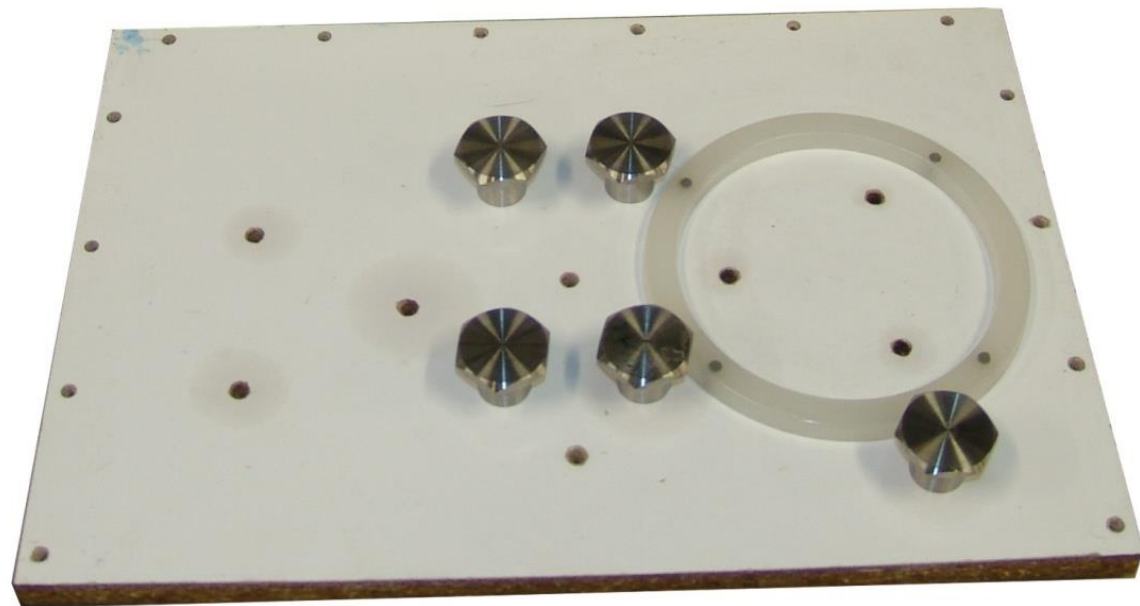
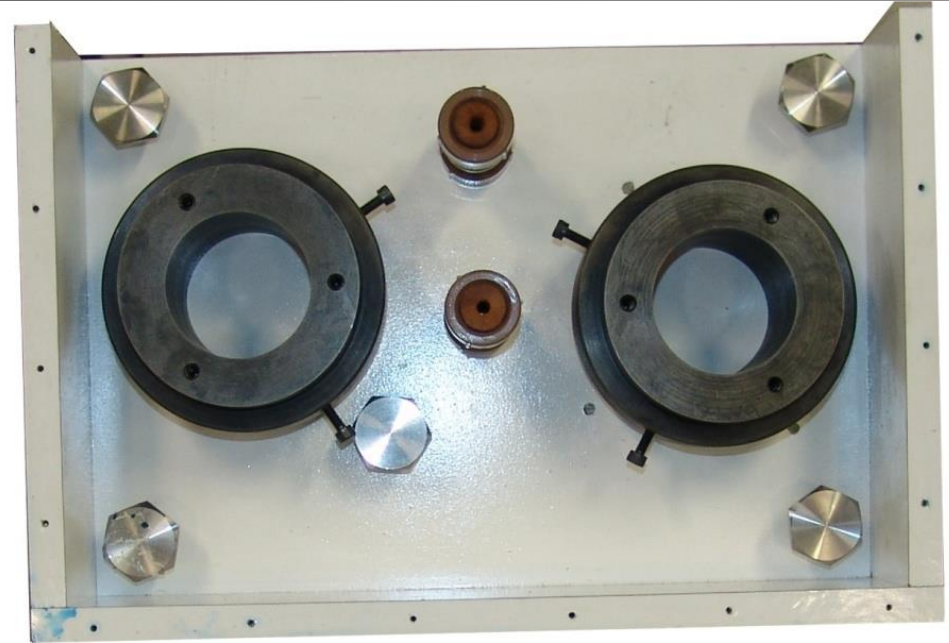
ρ 1,67 g/cm³

Mesa:

(vol excedente de 10%)

- 8,083 Kg de granito;
- 1,726 Kg de resina;
- 345g de endurecedor.

Molde - montagem



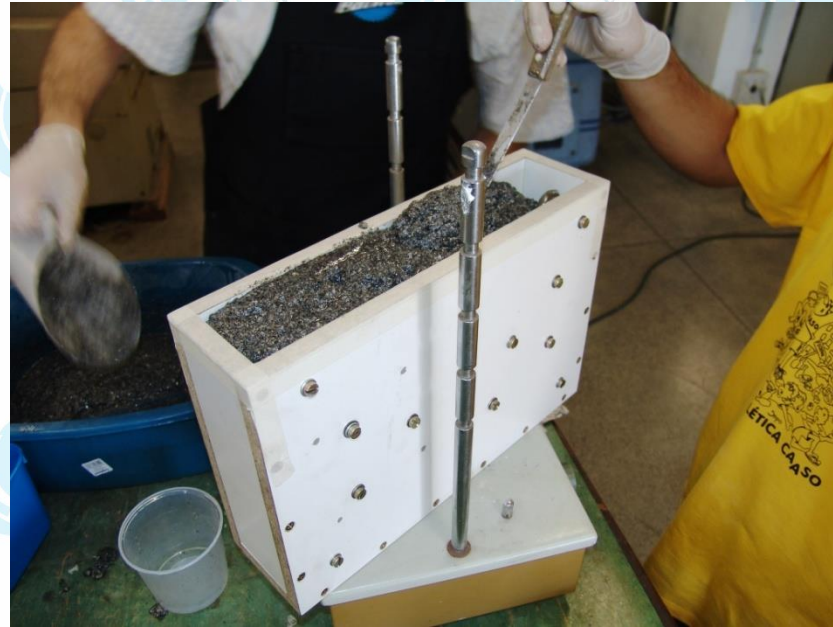
Mistura



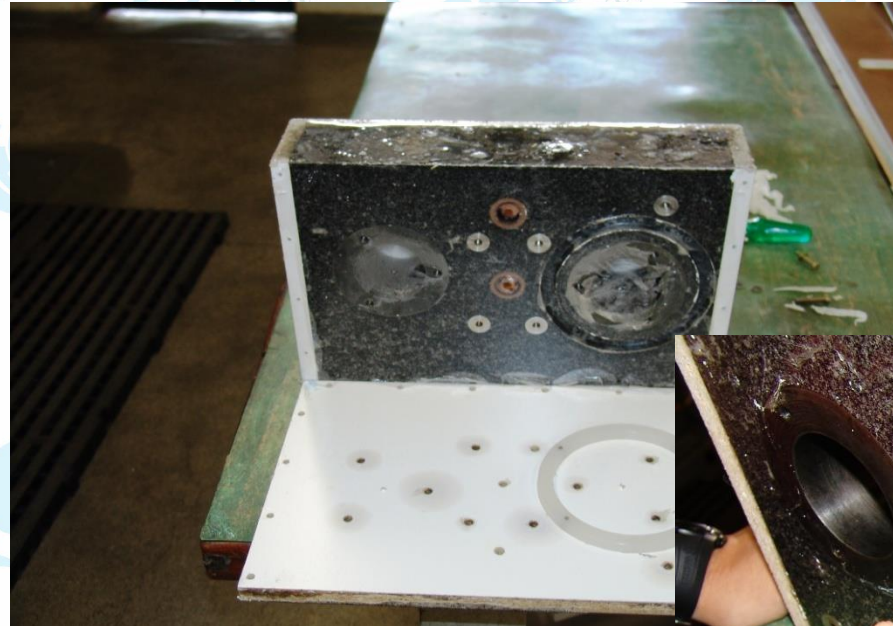
Mesa vibratória

Preenchimento

Moldagem - finalização

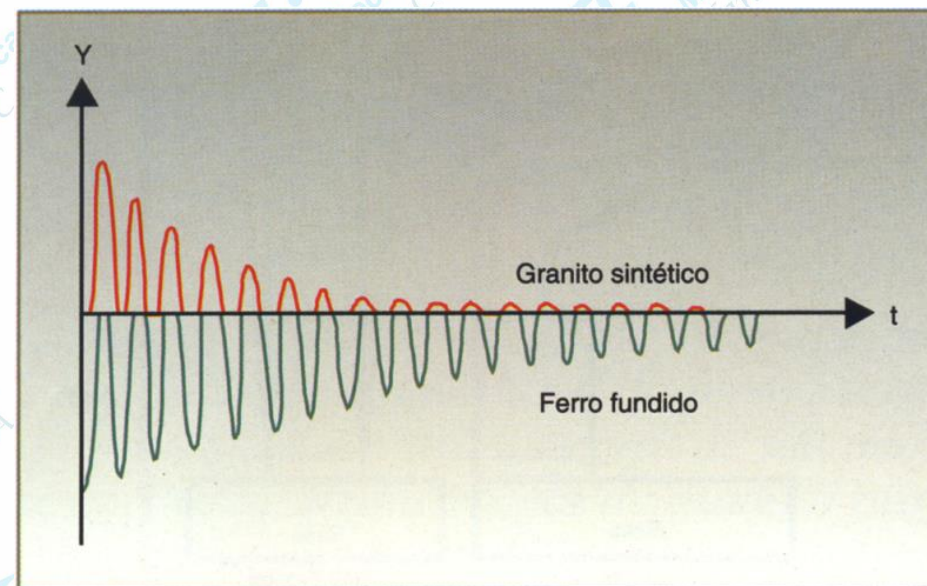


Desmoldagem



Filme de PVAI

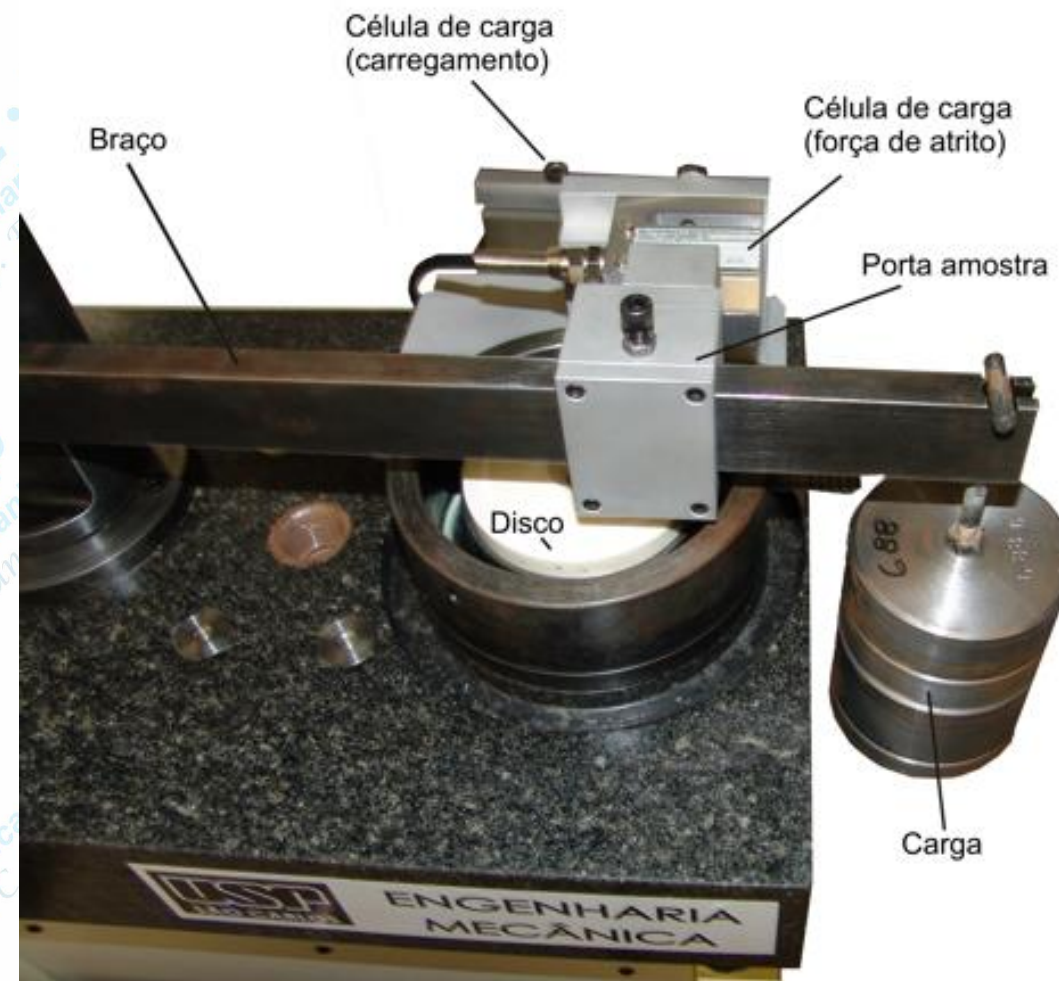
MESA



Componentes



Protótipo



Estrutura



Células de carga - fixação



CERTIFICADO



54º Congresso Brasileiro de Cerâmica

30 de maio a 02 de junho de 2010 • Foz do Iguaçu • Paraná • Brasil

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA

de conformidade com seu Estatuto Social confere o

*Prêmio de Terceiro Melhor Trabalho Apresentado no
54º Congresso Brasileiro de Cerâmica*

aos autores

Ramos, D.T.L.; Fortulan, C.A.; Pallone, E.M.J.A.; Purquerio, B.M.

do trabalho

Projeto de um Protótipo de um Banco de Ensaio de Desgaste do Tipo “PIN-ON-DISC”

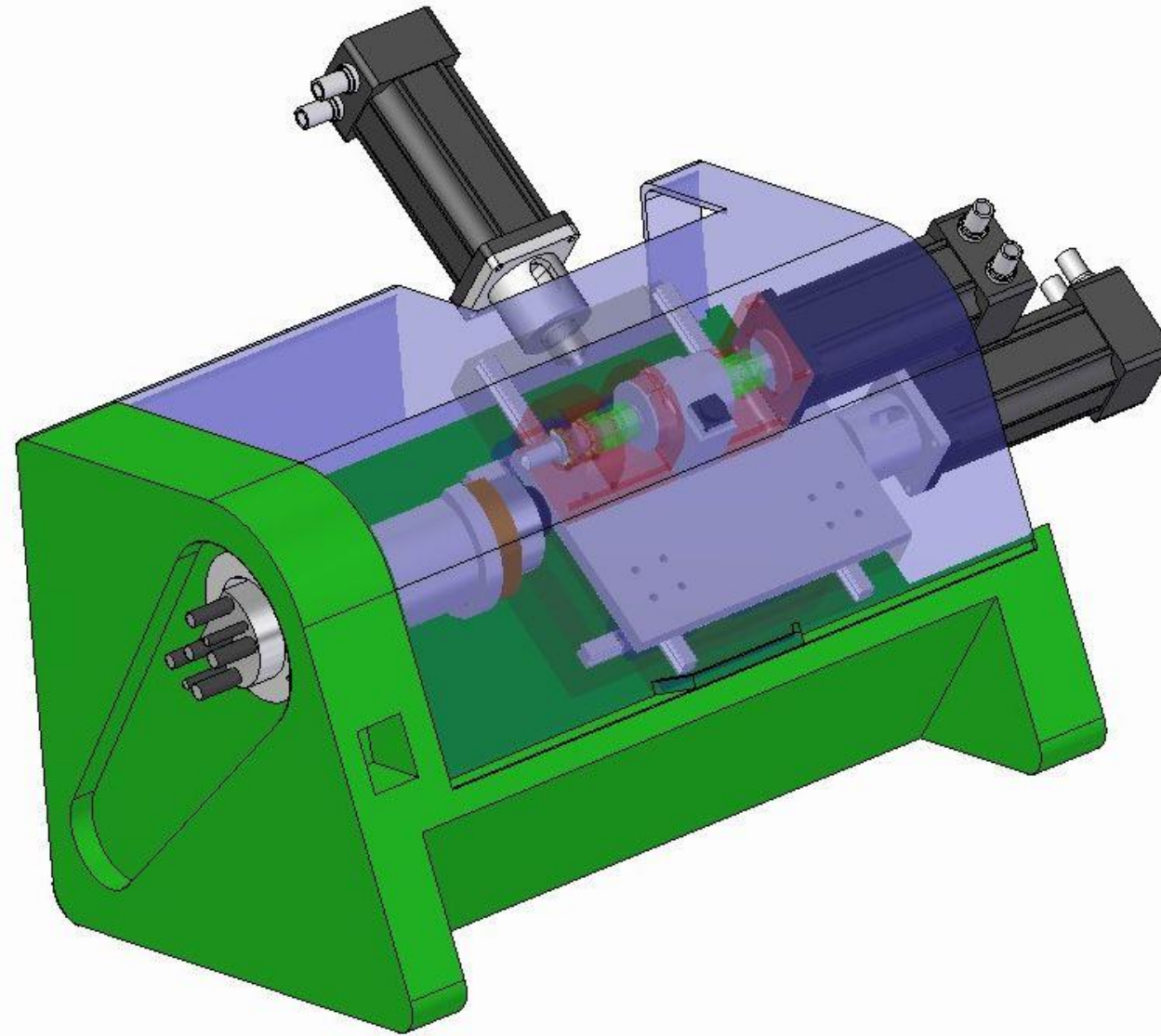
Apresentado por

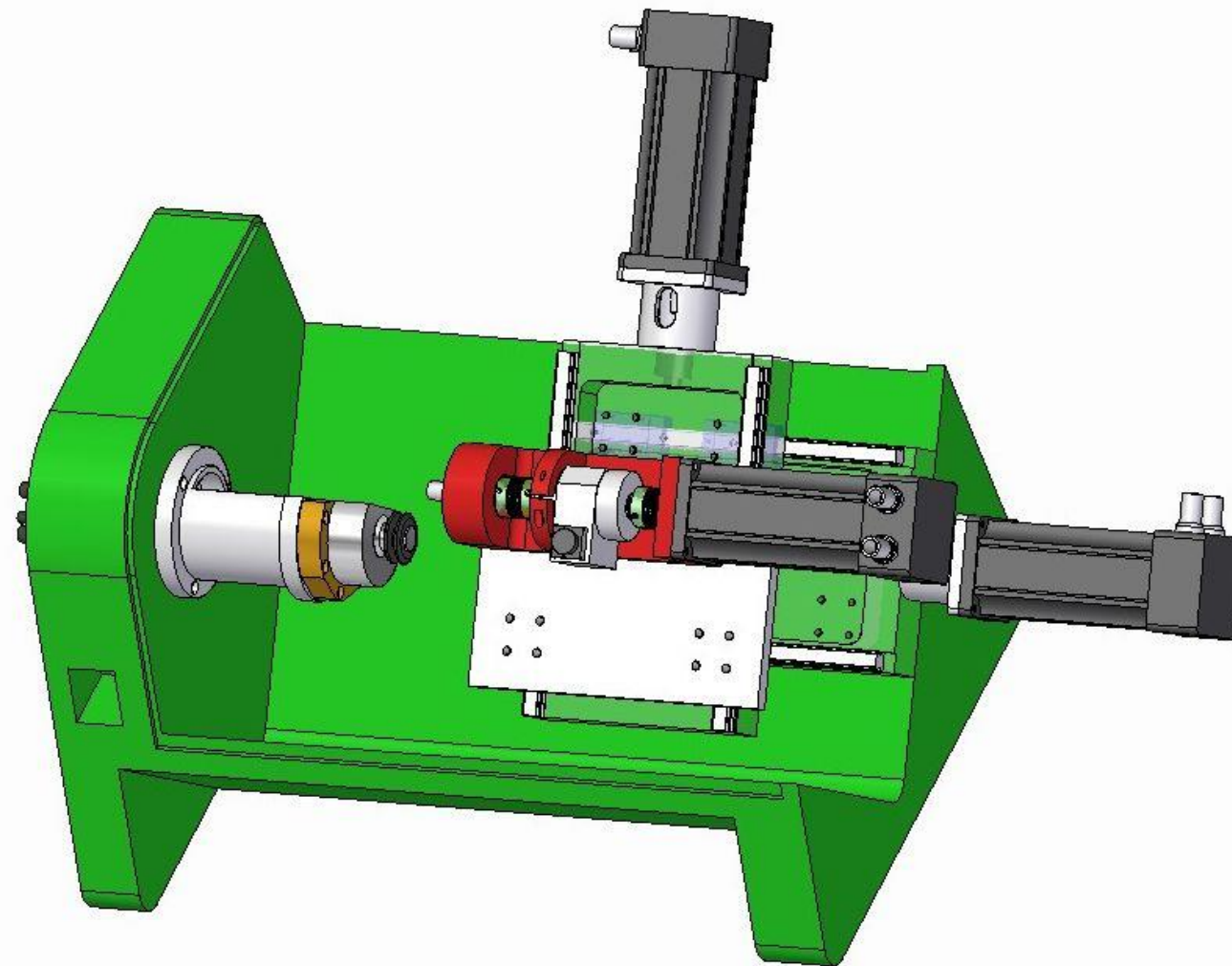
Carlos Alberto Fortulan

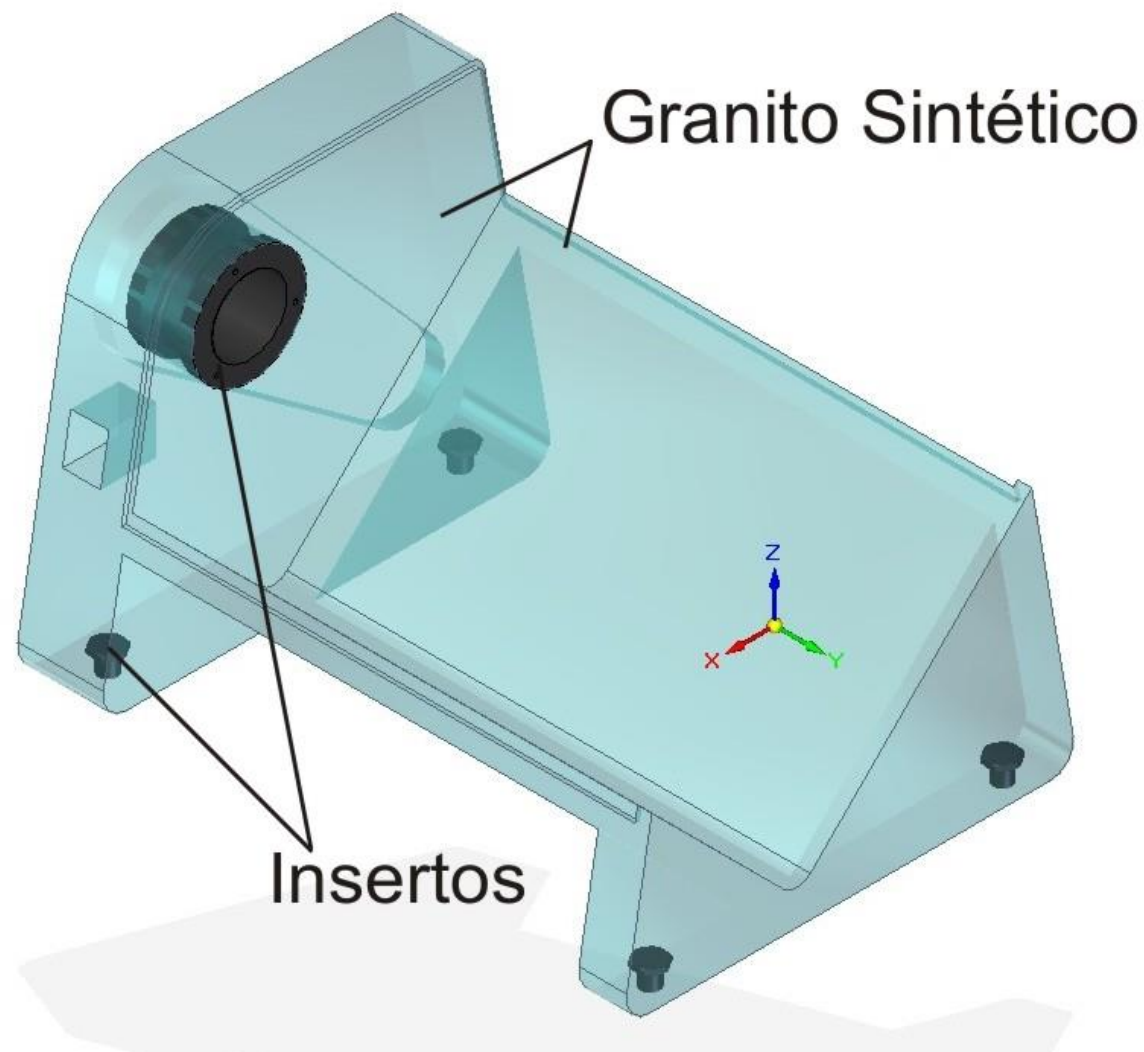
Foz do Iguaçu, 02 de junho de 2010.

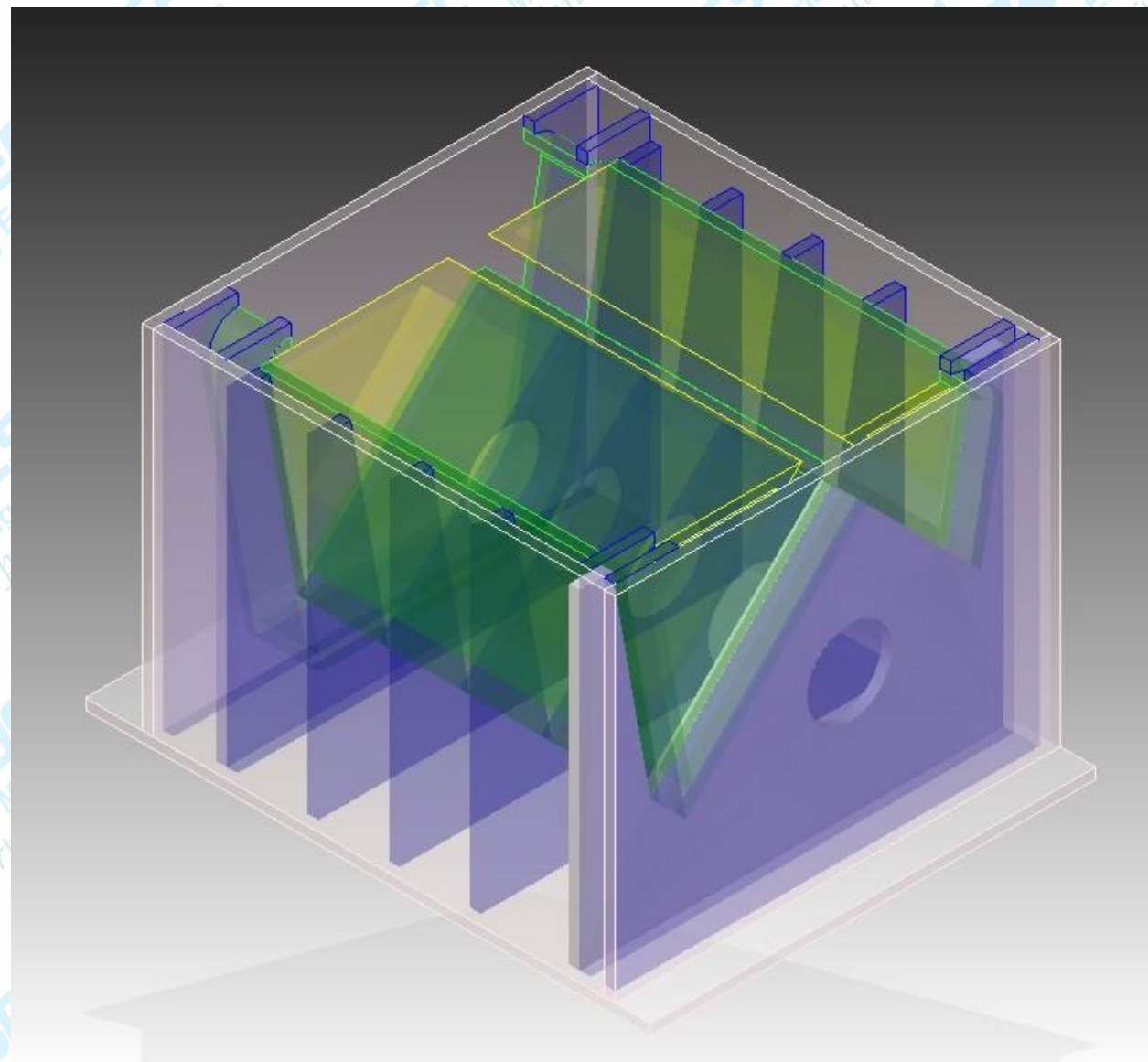
Ana Paula Margarido Menegazzo
Diretora de Eventos

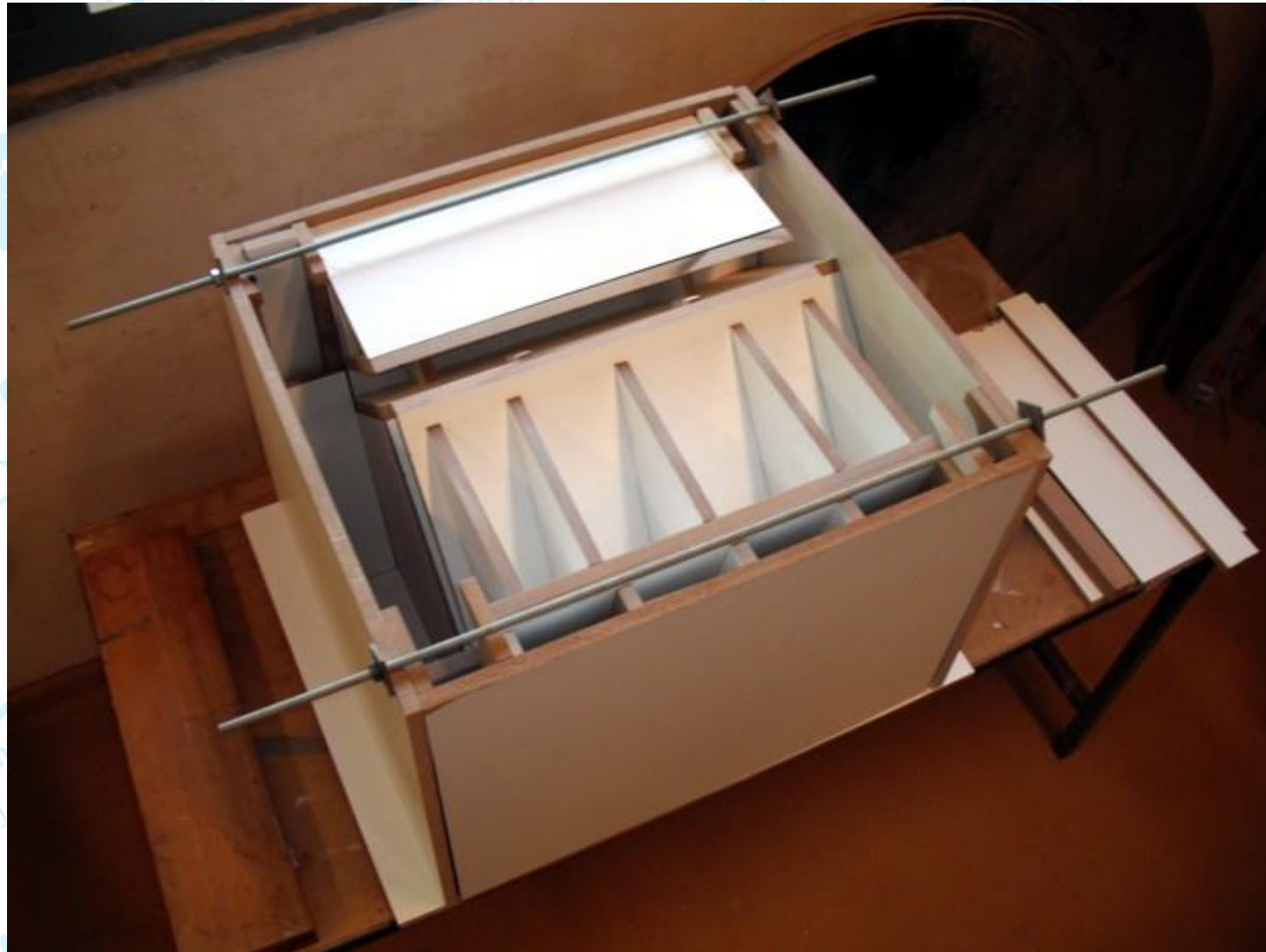
Leonardo Curimbaba Ferreira
Presidente









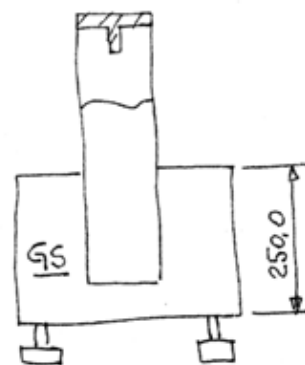
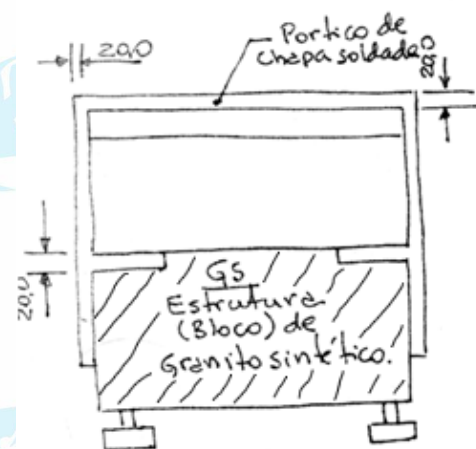




Aula 06 - Teórica

Fazer Croqui do Granito sintético com os insertos

- ✓ corte parcial do granito com os insertos



13.09.11

O pórtico de mini máquina é montado com 12 ou 16 para fusos Allen ϕ M10

- 1) Desenhar os insertos para a montagem do pórtico na estrutura (bloco) de granito sintético.
 - 2) Desenhar os insertos dos pés.
- Obs: Somente um inserto de cada, inserido na estrutura de G.S.

