

# *PROJETO MECÂNICO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS - SEM 0568*

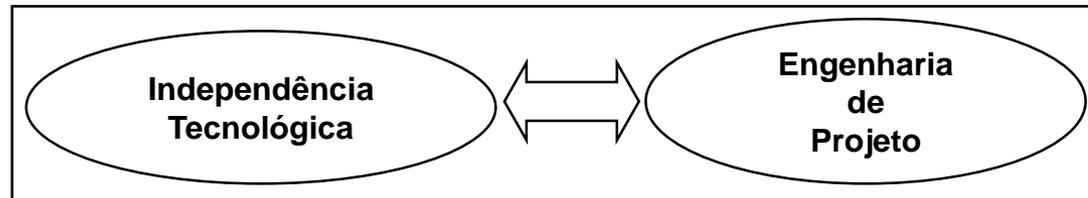
## Notas de Aulas

### *Aula 01 – Introdução, Noções de Projetos Mecânicos*

Prof. Dr. Jaime Duduch

## 1- NOÇÕES BÁSICAS SOBRE DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS

### 1.1- A importância do projeto



	material	projeto
Handheld	20%	80%
Software	0%	<b>100%</b>
Navio	70%	30%

## PROJETO

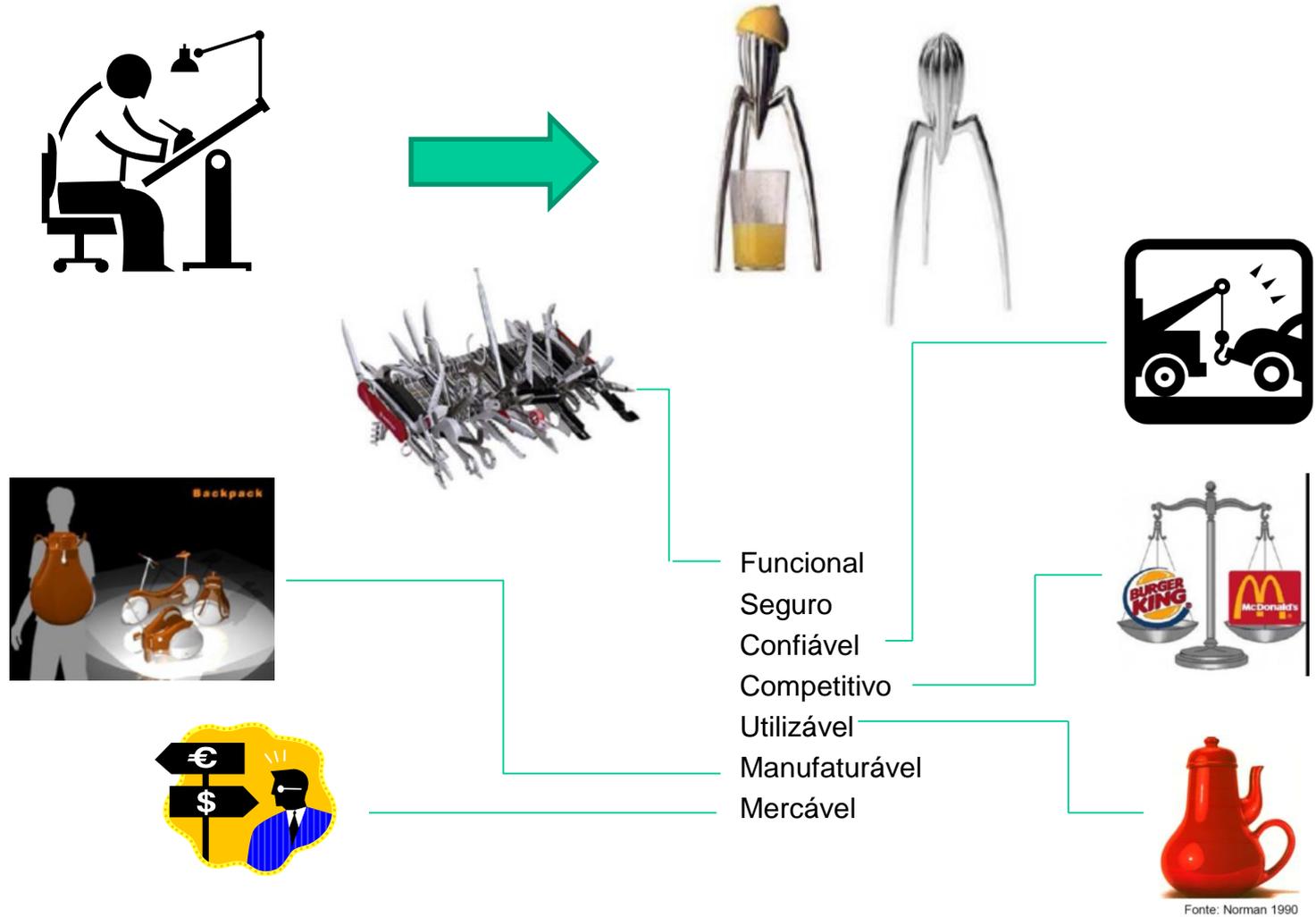
PRODUTO: Funcional  
Seguro  
Confiável  
Competitivo  
Utilizável  
Manufaturável  
Mercável

### Projeto é:

- ✓ é um processo inovador e altamente iterativo;
- ✓ é também um processo de **tomada de decisões**;
- ✓ multidisciplinar.

O Projeto mecânico é uma propriedade intelectual que exige: observação, criatividade, inteligência, atualização, domínio das ferramentas computacionais e de cálculos. Atualmente o engenheiro conta com as poderosas tecnologias computacionais (CAE-CAD-CAM) e da informação (Internet, banco de dados). Erros e incertezas são intrínsecos ao projeto. As ferramentas computacionais auxiliam muito na redução deles, *mas*, mesmo assim, é fácil construir modelos computacionais com *erros*. Pode ser fácil corrigi-los, desde que se conheça como fazê-lo.

PROJETO



Fonte: SHIGLEY, J.E., Projeto de engenharia mecânica, Ed. Bookman, 7ed, 2005

Fonte: Norman 1990

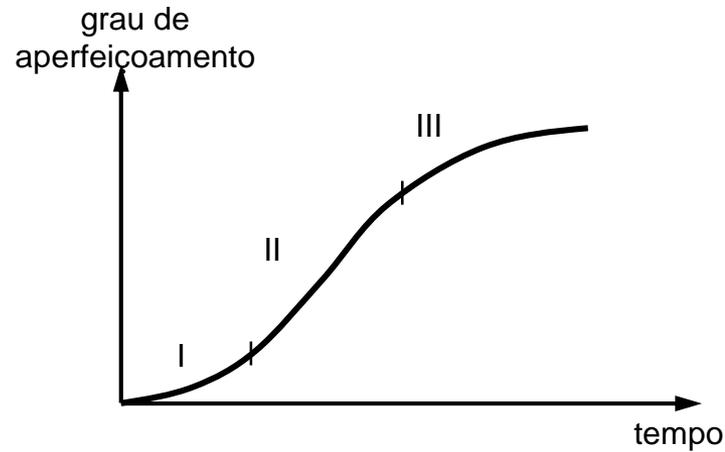
## MORFOLOGIA DO PROCESSO DE PROJETO

A abordagem científica e temática de projeto, sua organização e métodos começaram a ser estudadas e interpretadas a partir dos anos 50, e deve ao grande progresso tecnológico obtido durante e decorrente da segunda guerra mundial.

- São representações filosóficas e estratégicas para a condução de um projeto e que podem ser classificados em modelos prescritivos, descritivos e computacionais. ASIMOW 1968, EVBUOMWAN et al. 1996.
- À medida que um projeto é iniciado e desenvolvido, desdobra-se uma sequência de eventos em ordem cronológica, formando um modelo comum a outros projetos. ASIMOW 1968

## 1.2- Desenvolvimento dos projetos

- Basear-se no que já existe
- Alterar pontos fracos
- Engenharia reversa



### JAPÃO:

Anos 50: Indústria arrasada pela guerra

Anos 60: Produtos similares → custo ↓, qualidade ↓

Anos 70: Produtos similares → custo ↓, qualidade ↑

Anos 80: Produtos avançados → custo ↑, qualidade ↑

Anos 90: Liderança

FONTE: NIEMANN, G. Elementos de Máquinas. Ed. Egard Blücher Ltda v.1, 1971.

### 1.3. Fases de um Projeto

#### I - Surgimento do produto

- Análise do mercado e/ou
- Solicitação de clientes e/ou
- Plano de desenvolvimento da empresa

#### II- Esboço preliminar do produto

- Especificação bem feita do produto

#### III - Planejamento do projeto

- Fases e responsabilidades
- Cronograma

#### IV - Ante-projeto

- Dimensionar
- Verificar (cálculos)
- Desenhar

#### V - Análise de custos

- Processo preliminar de fabricação

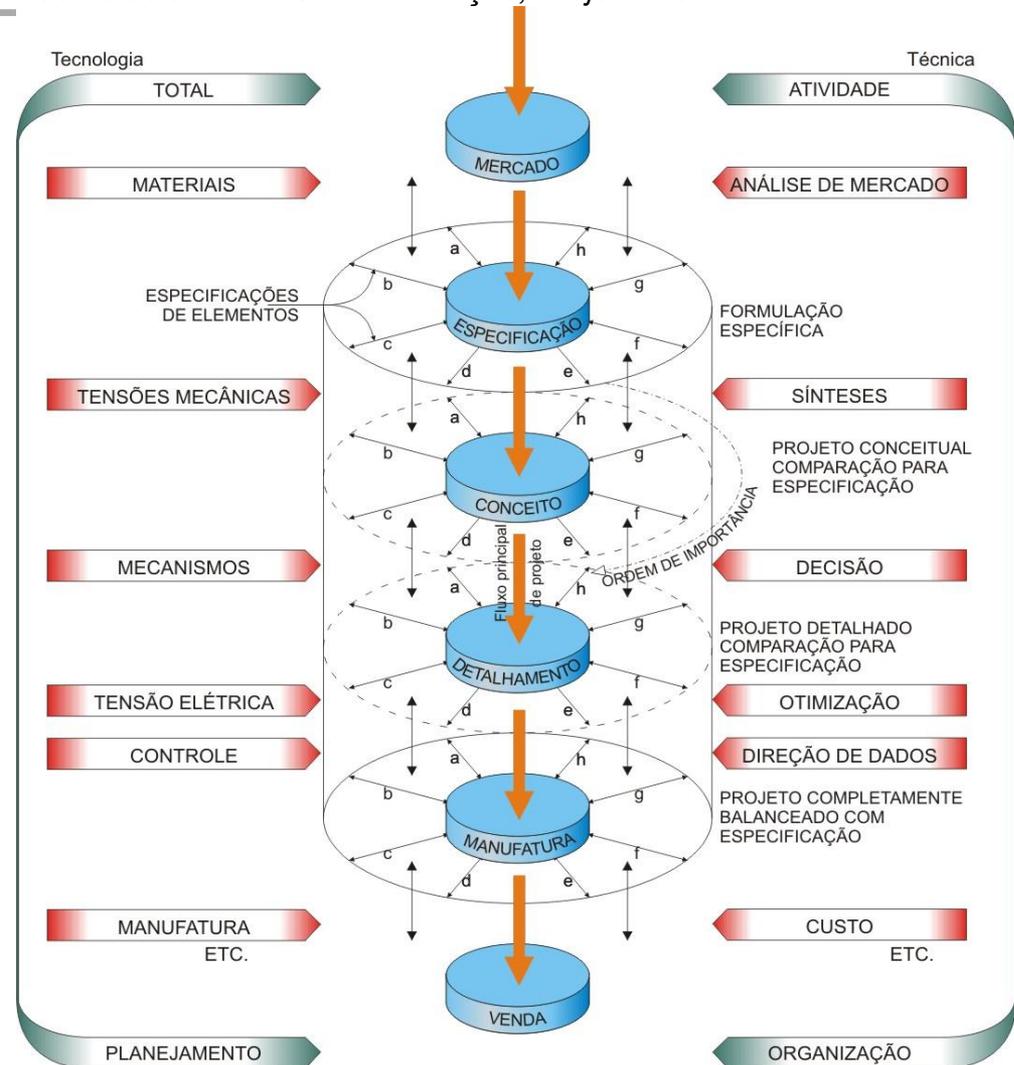


Figura 2.7 – Modelo ativo do “Total Design”. (PUGH, 1995)

**VI - Avaliação do projeto**

Envolver todos os departamentos:

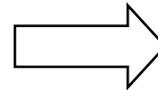
- Marketing/vendas
- Assistência técnica
- Projeto
- Fabricação
- Planejamento
- Controle de Qualidade
- Custos
- Compras

**VII - Projeto final (definitivo)**

- Protótipo
- Modelagem com CAE

**VIII - Construção de protótipo**

CAE  
(Computer Aided Engineering)



- Elementos Finitos
- Cálculos computadorizados

**IX - Testes e avaliação do Produto****X - Alterações****XI - Liberação final para produção**

OBS:

Vida e obsolescência de projetos!

# PROCESSO DE PROJETO



# 1. Reconhecimento de uma necessidade

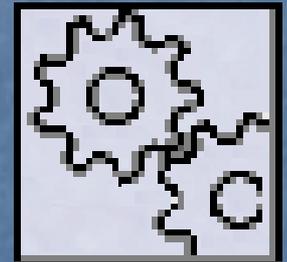


- Necessidades geralmente surgem de uma insatisfação
  - > Reduzir o custo
  - > Aumentar a confiabilidade/eficiência
  - > Mudar



## 2. Definição do problema

- A definição de um problema inclui:
  - > Apresentação do problema
  - > Objetivos e metas
  - > Definições de termos técnicos
  - > Restrições
  - > Critérios de avaliação





### 3. Análise e formulação do problema

- Para projetar algo:

- > Use a disciplina apropriada da ciência

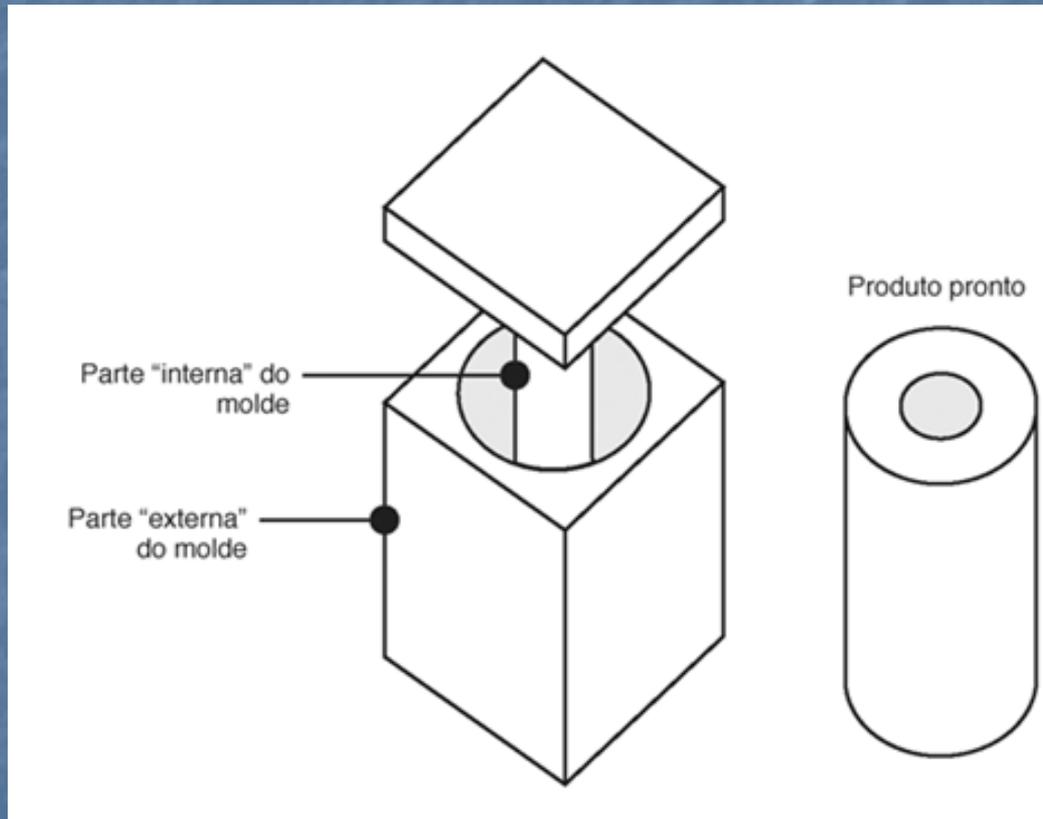
- Escolha as ferramentas



- > Simplifique através de modelos

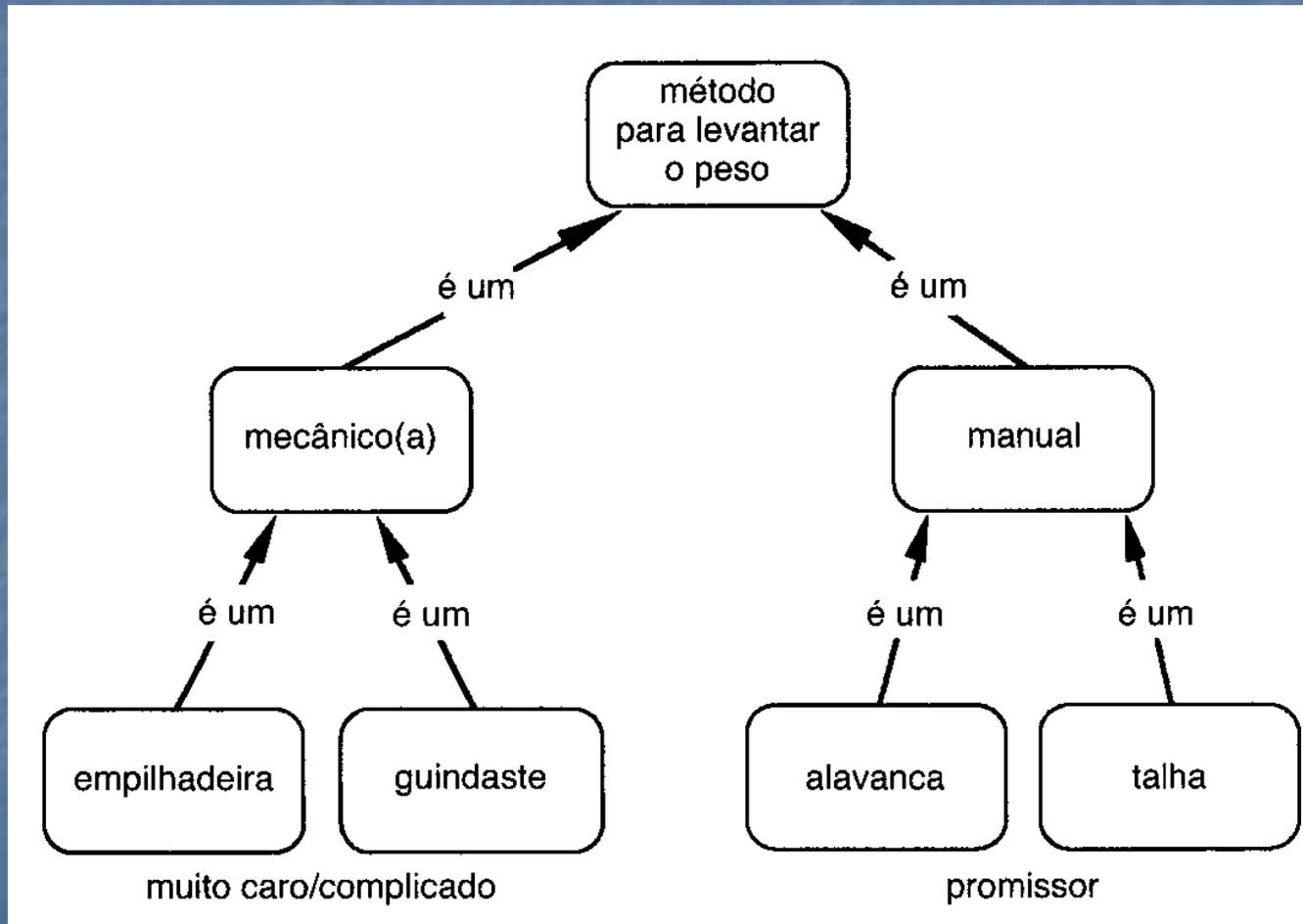


# Forças que moldam um projeto

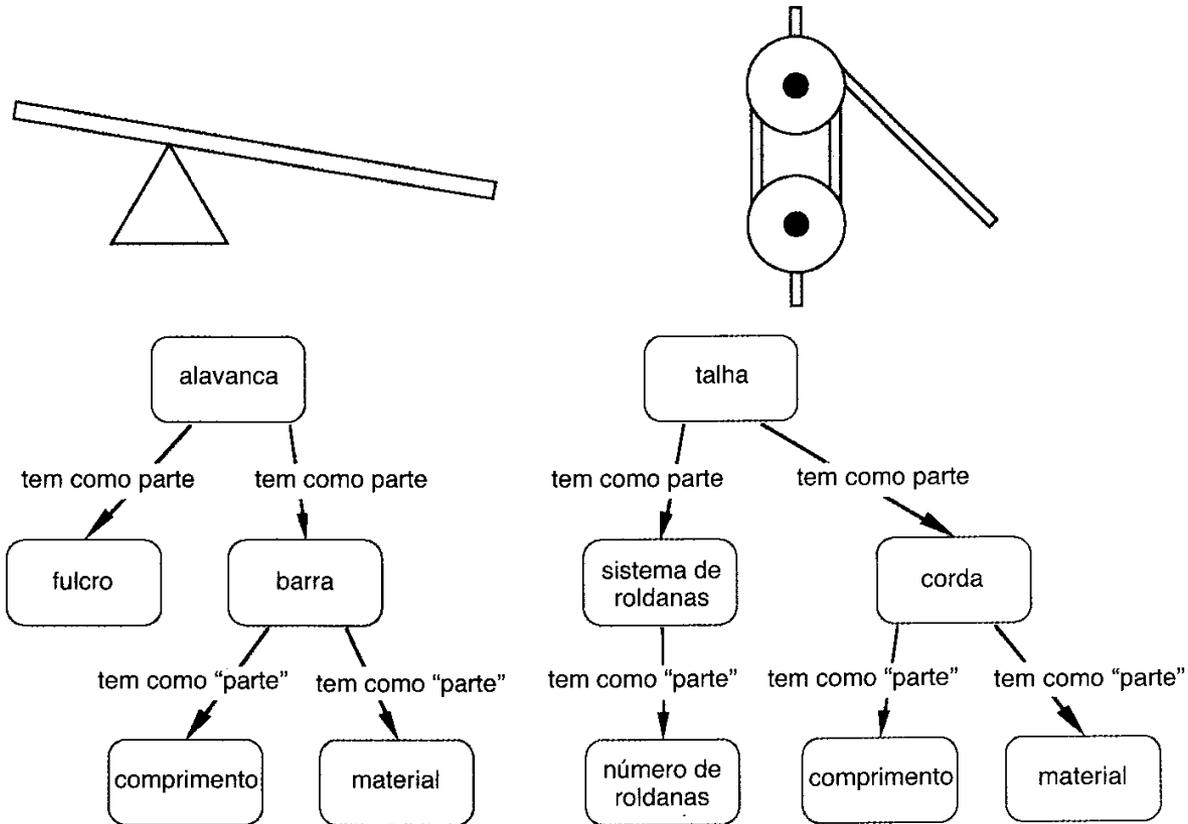




# Hierarquia de classes: “é um”

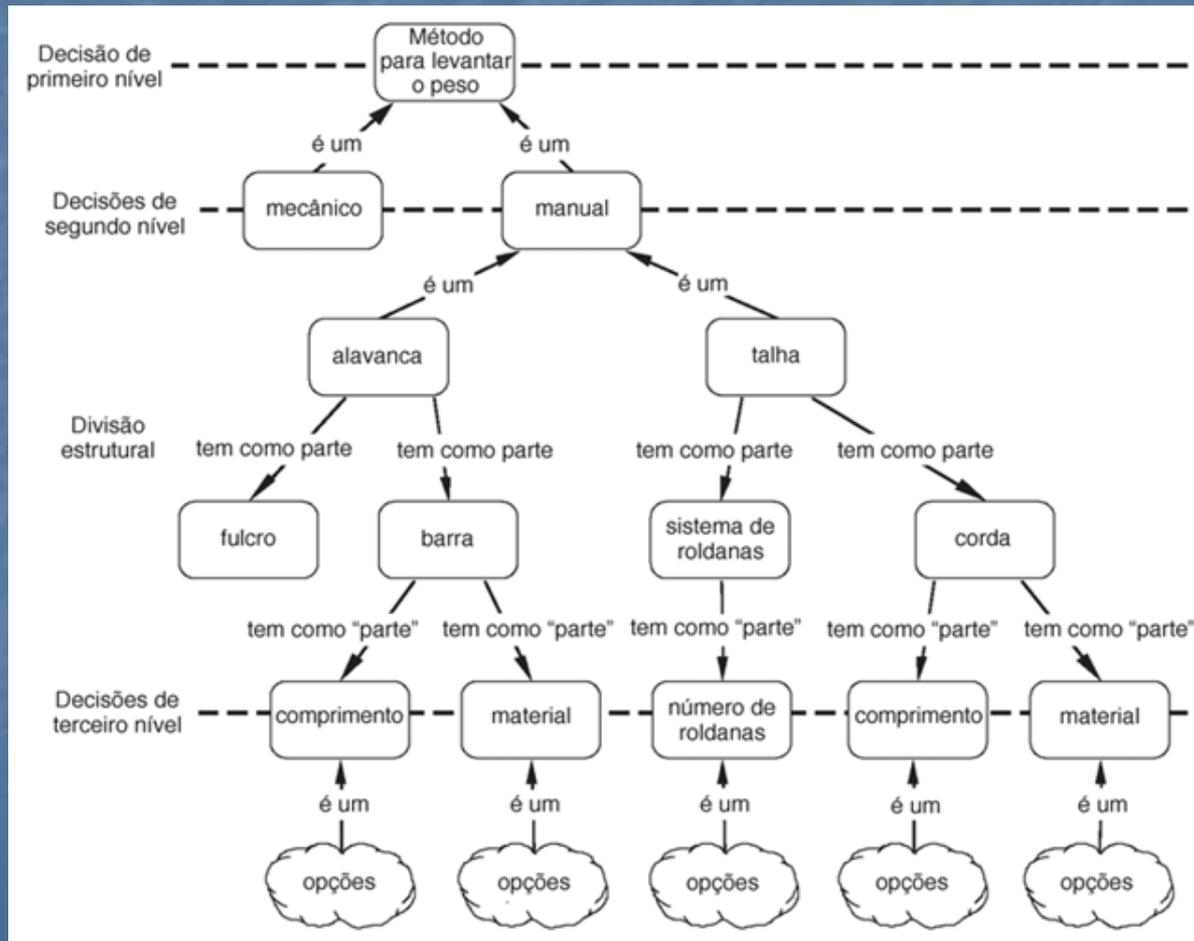


# Hierarquia estrutural: "tem como parte"



Hierarquia estrutural dos dois métodos manuais de levantamento.

# Mapa conceitual: hierarquia de decisões "é um" + hierarquia de componentes "tem como parte"





## 4. Literatura

- > Biblioteca
- > *Internet*
- > Relatórios Técnicos [ R&D ]
- > Relatórios de Empresas
- > *Journals*
- > Patentes
- > Catálogos
- > Manuais etc.





## 5. Estudo da viabilidade

- Avaliação das soluções,
  - > Factibilidade tecnológica
  - > Factibilidade física
  - > Vantagem econômica
  - > Viabilidade financeira





## 6. Projeto Preliminar

- Não corra detalhando o projeto !..
- Divida o sistema em blocos funcionais.
- "checklist";

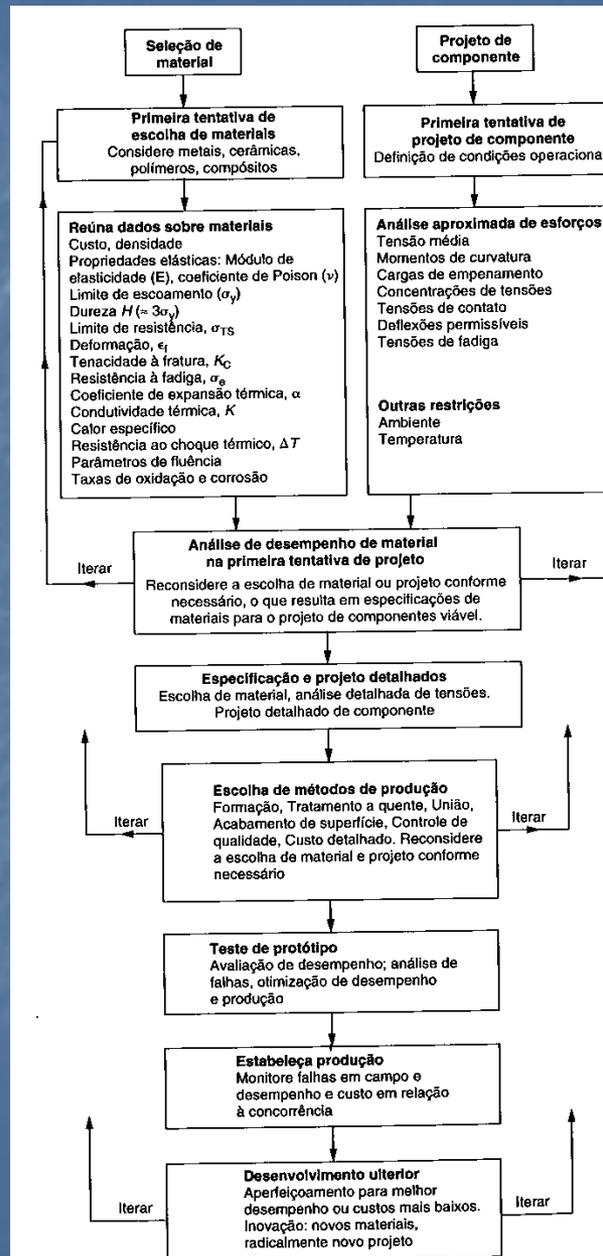


- > Função
- > Resistência
- > Estética
- > Energia
- > Segurança
- > Viabilidade etc.



-A partir daqui alterações tornam-se extremamente caras

# Metodologia de Projeto



# Metodologia de Projeto

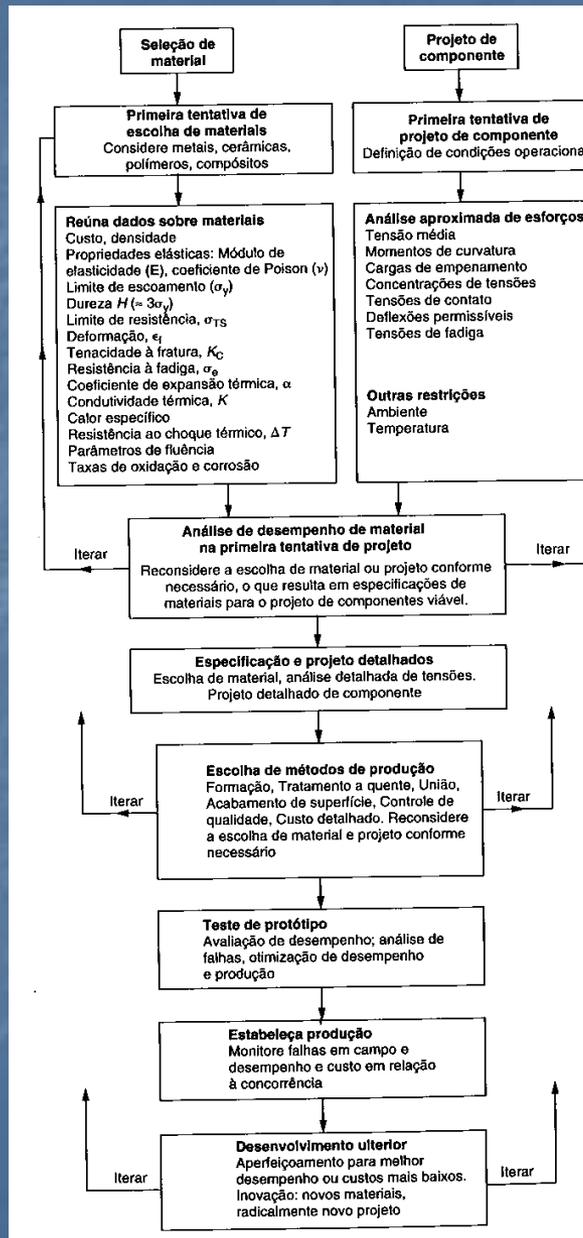
**Seleção de material**

**Primeira tentativa de escolha de materiais**  
Considere metais, cerâmicas, polímeros, compósitos

**Projeto de componente**

**Primeira tentativa de projeto de componentes**  
Definição de condições operacionais

# Metodologia de Projeto



# Metodologia de Projeto

```
graph TD; A[Metodologia de Projeto] --> B[Reúna dados sobre materiais]; A --> C[Análise aproximada dos esforços]; B --> D[ ]; C --> E[ ]
```

## Reúna dados sobre materiais

Custo, densidade  
Propriedades elásticas: Módulo de elasticidade ( $E$ ), coeficiente de Poisson ( $\nu$ )  
Limite de escoamento ( $\sigma_y$ )  
Dureza  $H$  ( $\approx 3 \sigma_y$ )  
Limite de resistência,  $\sigma$   
Deformação,  $\epsilon$   
Tenacidade à fratura,  $K_c$   
Resistência à fadiga,  $\sigma_e$   
Coeficiente de expansão térmica,  $\alpha$   
Condutividade térmica,  $K$   
Calor específico,  $c$   
Resistência ao choque térmico  
Parâmetros de fluência  
Taxas de oxidação e corrosão

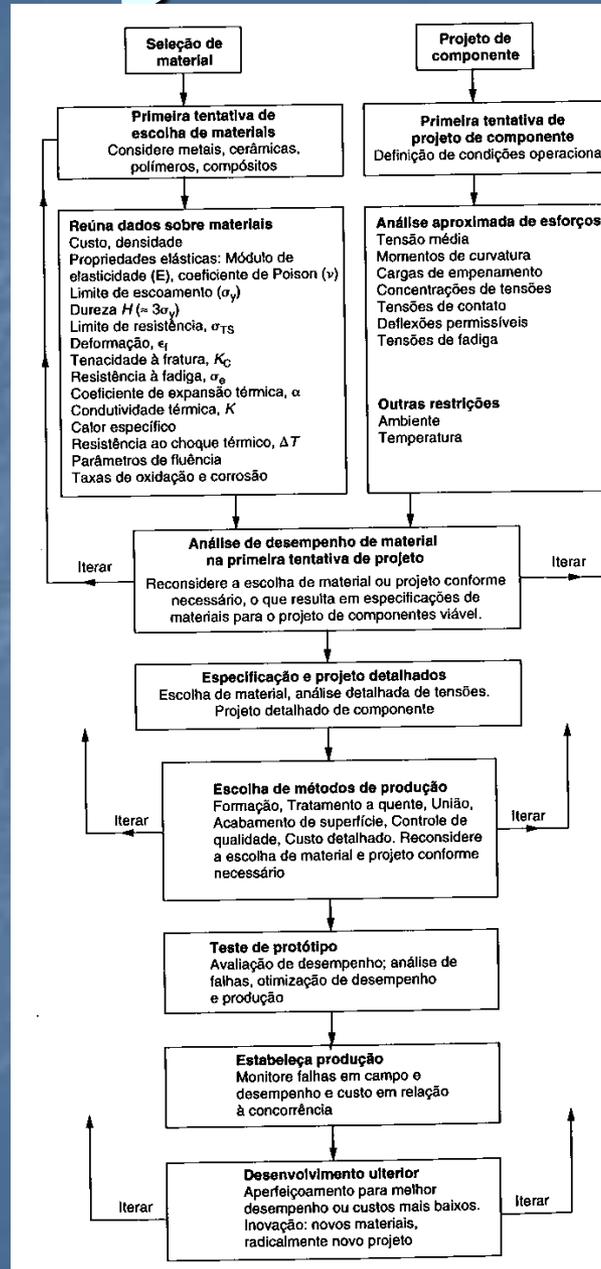
## Análise aproximada dos esforços

Tensão média  
Momentos de curvatura  
Cargas de empenamento  
Concentrações de tensões  
Tensões de contato  
Deflexões permissíveis  
Tensões de fadiga

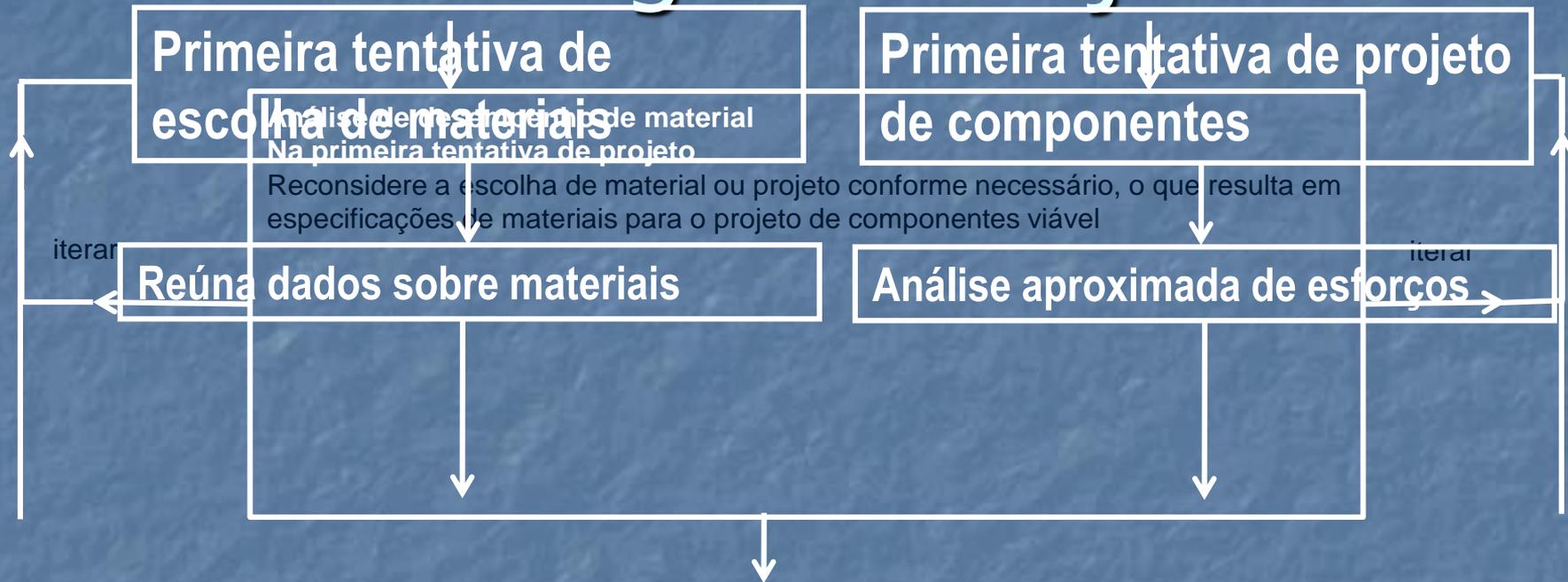
## Outras restrições

Ambiente  
Temperatura

# Metodologia de Projeto



# Metodologia de Projeto



## Especificação e projeto detalhados

Escolha de material, análise detalhada de tensões.

Projeto detalhado de componentes

# Metodologia de Projeto

iterar

**Análise de desempenho de material**  
**Na primeira tentativa de projeto**

iterar

**Especificação e projeto detalhados**  
Escolha de material, análise detalhada de tensões. Projeto detalhado de componentes

iterar

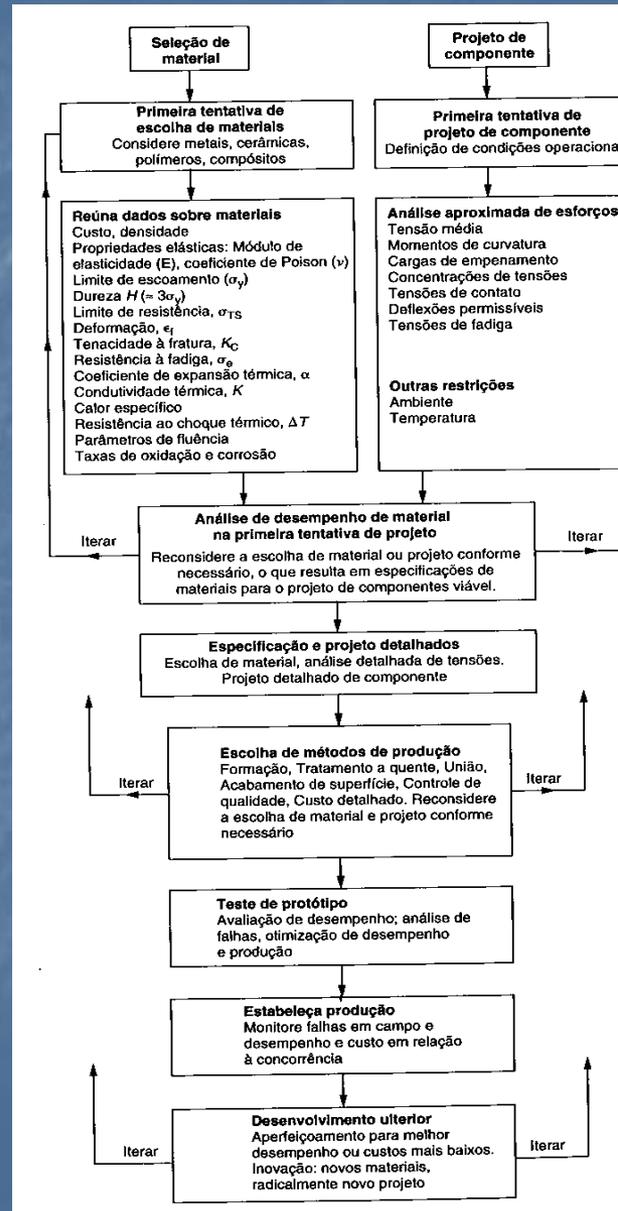
**Escolha dos métodos de produção**

Formação, tratamento a quente, união, acabamento de superfície, controle de qualidade, custo detalhado. Reconsidere a escolha do material e projeto conforme necessário.

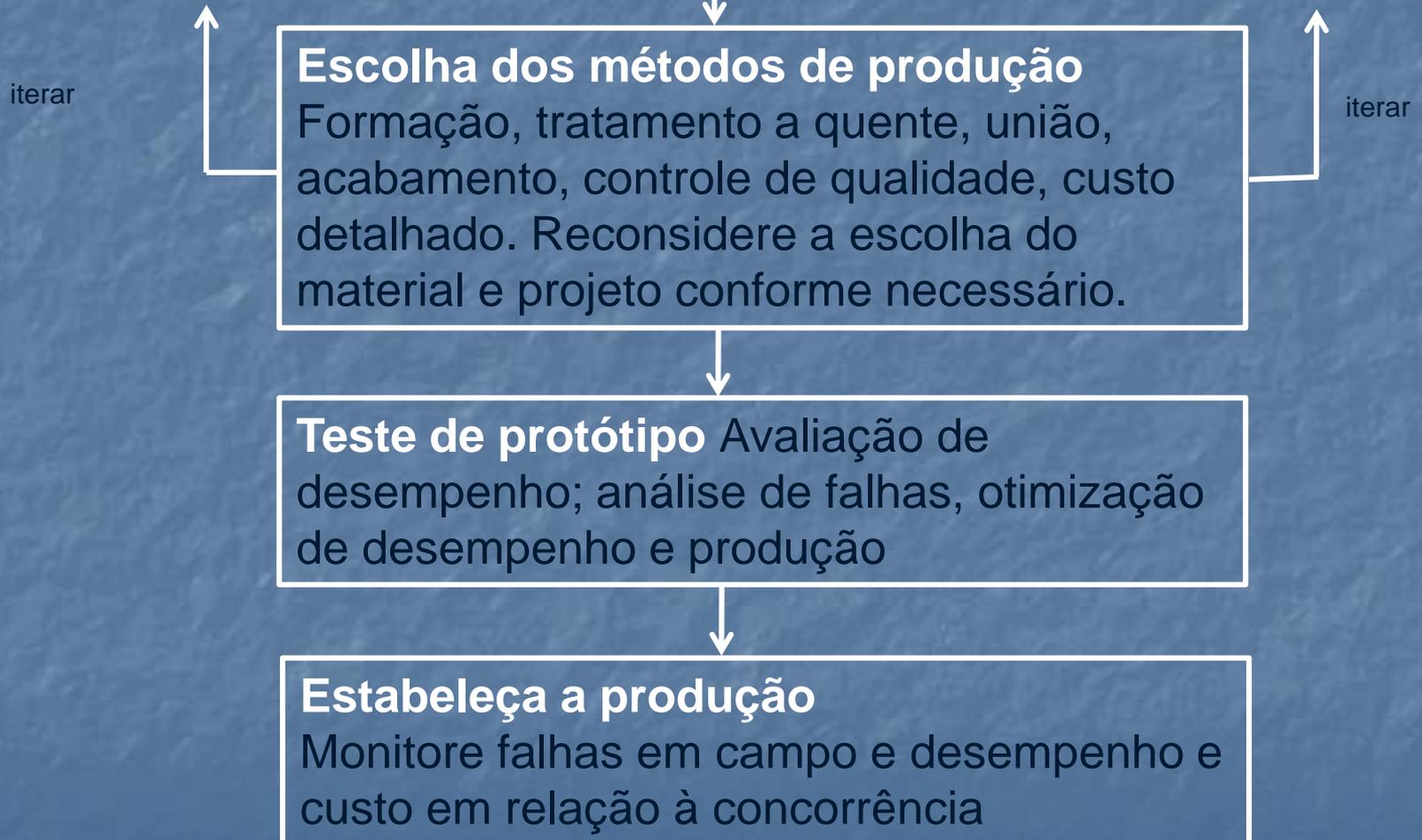
iterar



# Metodologia de Projeto



# Metodologia de Projeto





## 7. Detalhamento do Projeto

### ■ Para cada bloco funcional;

> Forma & Dimensões

> Tolerâncias & Propriedades Superficiais

> Materiais

> Processos de fabricação

> Decisões comerciais

> Marketing & Serviços

> Descarte & Vida útil

> Melhorias

> Resultado: Modelos & Desenhos Técnicos





## 8. Avaliação

### > Técnicas de testes virtuais

- Integração de computadores no projeto e processo de fabricação

- CAD / CAM / CAE

- Simulação, Animação, Análise FEM



### > Construção de protótipos e testes usando técnicas de laboratório

- Fácil, barato, fácil de revisar





# 9. Planejamento da Produção



- Muito planejamento precisa ser feito.

- > Planejamento de vendas

- > Planejamento a longo prazo

- > Gerenciamento de demanda

- > Planejamento de necessidade de materiais

- > Relações com os consumidores





## 10. Manufatura

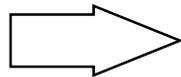
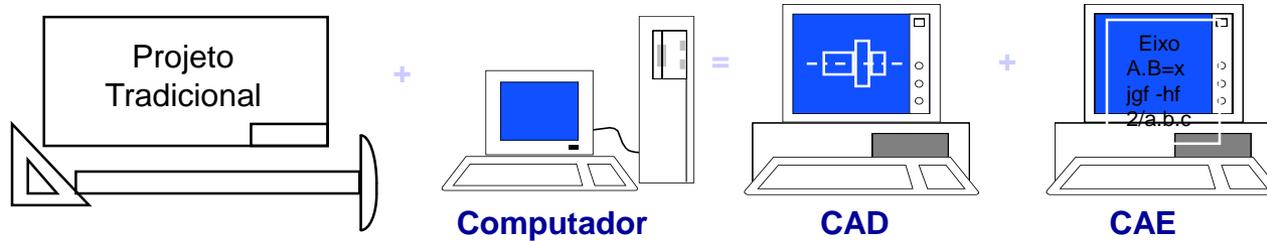
- That is the point where the rubber meets the road !..



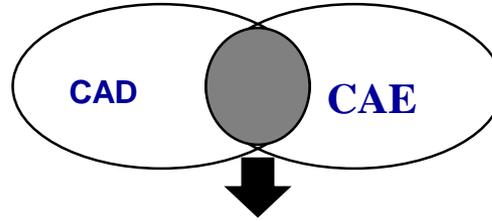
# References

- Dieter, George E., Engineering Design, A Materials and Processing Approach
- <http://www.cetex.de/cetex/eng/ausstat.htm#gv>
- <http://www.sapgenie.com/sapfunc/pp.htm>
- <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/buildall/key/key1904.html>

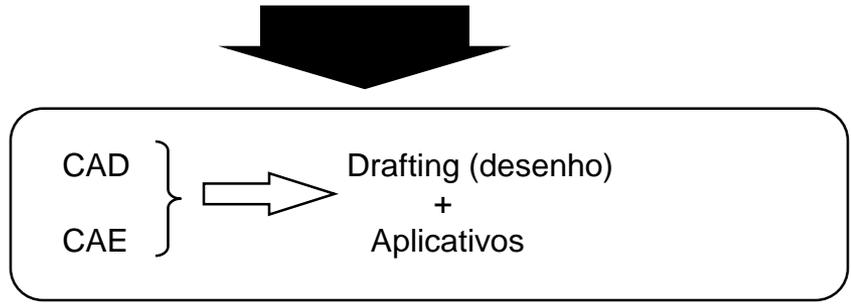
**Projeto tradicional x CAD/CAE**



**CAE = Projeto + Computador – CAD Tradicional**



“Áreas Cinzas”



## 1.4. Aplicativos de CAE

### a. Método dos Elementos Finitos

- Tensões e deformações nas peças
- Frequências naturais (ressonâncias) e modos de vibrar
- Transmissão de calor
- Escoamentos de fluidos
- Campos elétricos e magnéticos
- etc

### b. Modelagem de sólidos

- Construir figuras 3D
- Gerar malhas de Elementos Finitos

### c. Propriedades de sólidos

- Massa
- Áreas
- Volume
- Centro de Gravidade
- Momentos de inércia

**d. Projeto de tubulações****e. Cinematismo de sistemas**

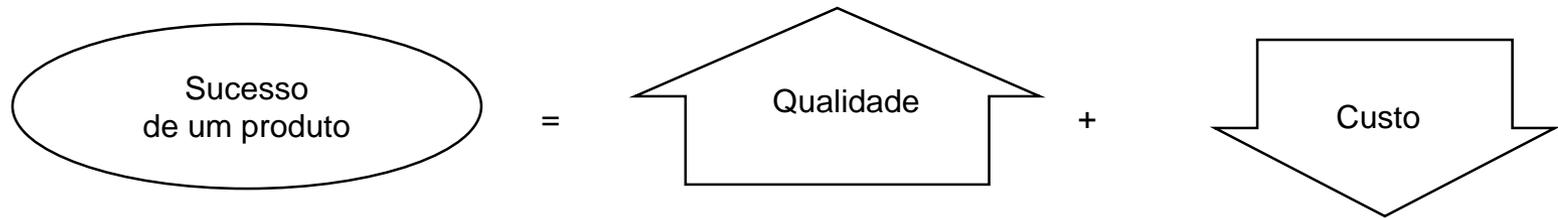
- Trajetória de robôs
- Cálculo de folgas e colisões

**f. Projeto de matrizes para injeção de plástico**

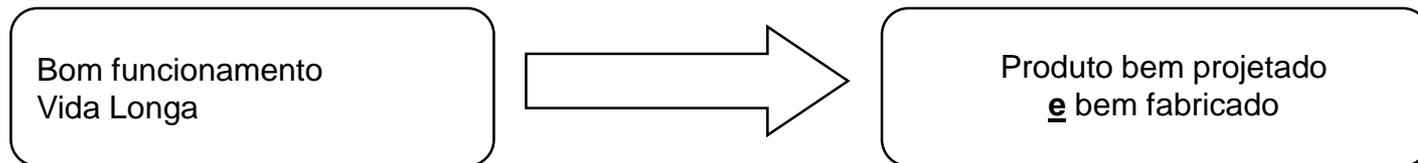
- Projeto de cavidade
- Controle das variáveis do processo
- Projeto do estampo

**g. Projeto de placas de circuitos impressos****h. Projeto estrutural arquitetônico****i. Automatização de cálculos e dimensionamento**

## 1.5. Qualidades e custos

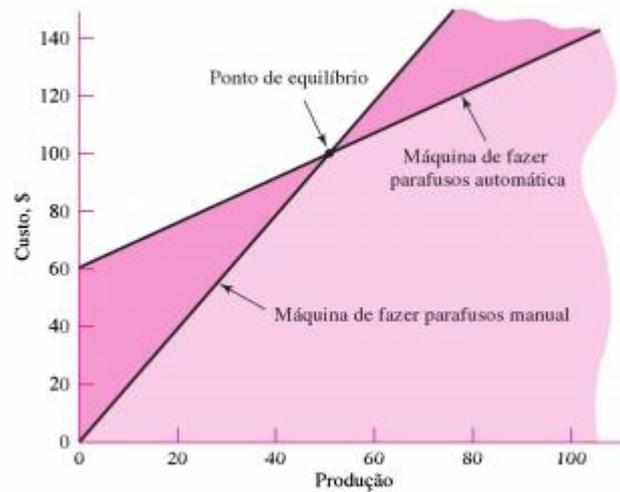
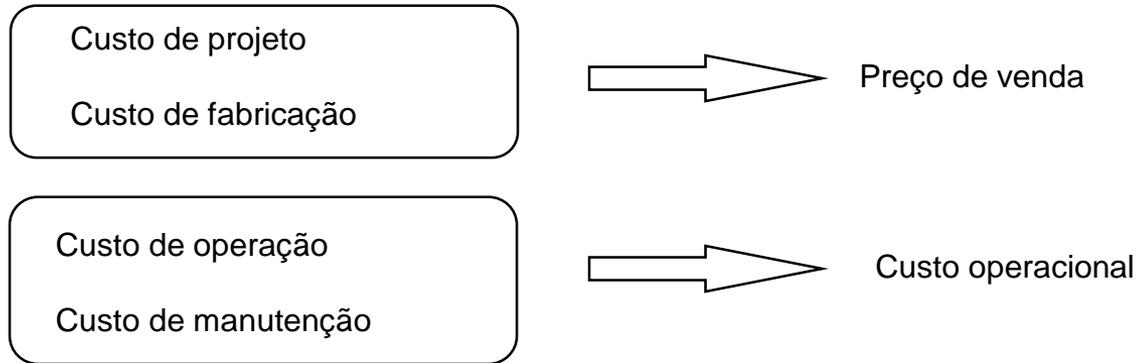


- Qualidade de projeto:  
*"Produto obedece especificações de projeto"*
- Qualidade de fabricação:  
*"Peças obedecem especificações de desenho"*

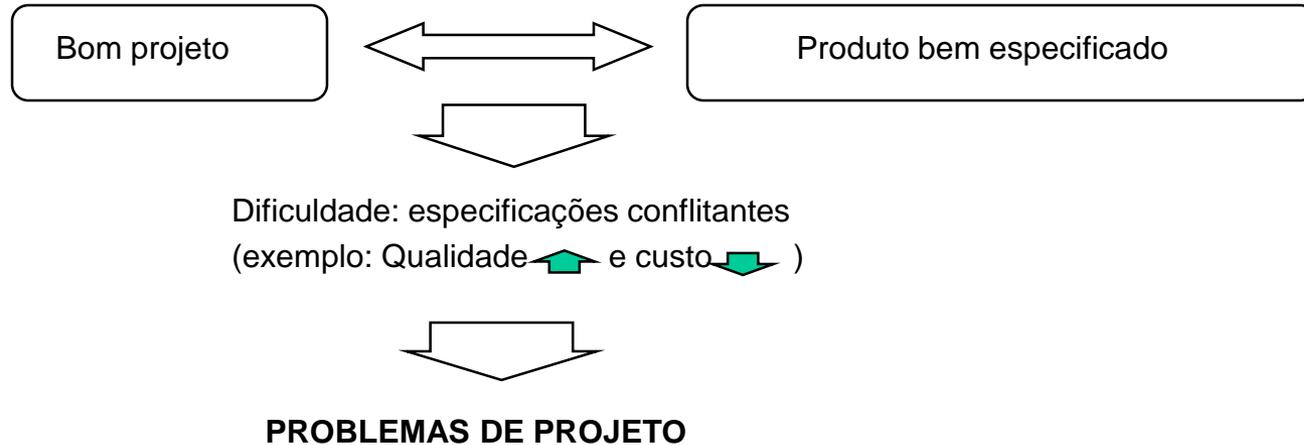


## Custos

“Custos são funções das opções de projeto feitas pelo projetista ”



## 1.6. Solução dos problemas de projeto



### Solução dos problemas

a) Localizar bem os problemas  $\rightarrow$  O que é importante para a peça / produto funcionar bem

superfícies  
partes

funcionais

x

superfícies  
partes

acessórias

Exemplos de superfícies funcionais:

- Superfícies que transmitem força / momento
- Assento de rolamentos
- Guias de movimento relativo
- Superfícies de posicionamento
- Superfícies de vedação e/ou lubrificação

b) Identificar o tipo de problema:

Problema de : {

- projeto
- fabricação
- especificação
- etc.

# *Solucionando Problemas*

## TIPOS DE PROBLEMAS

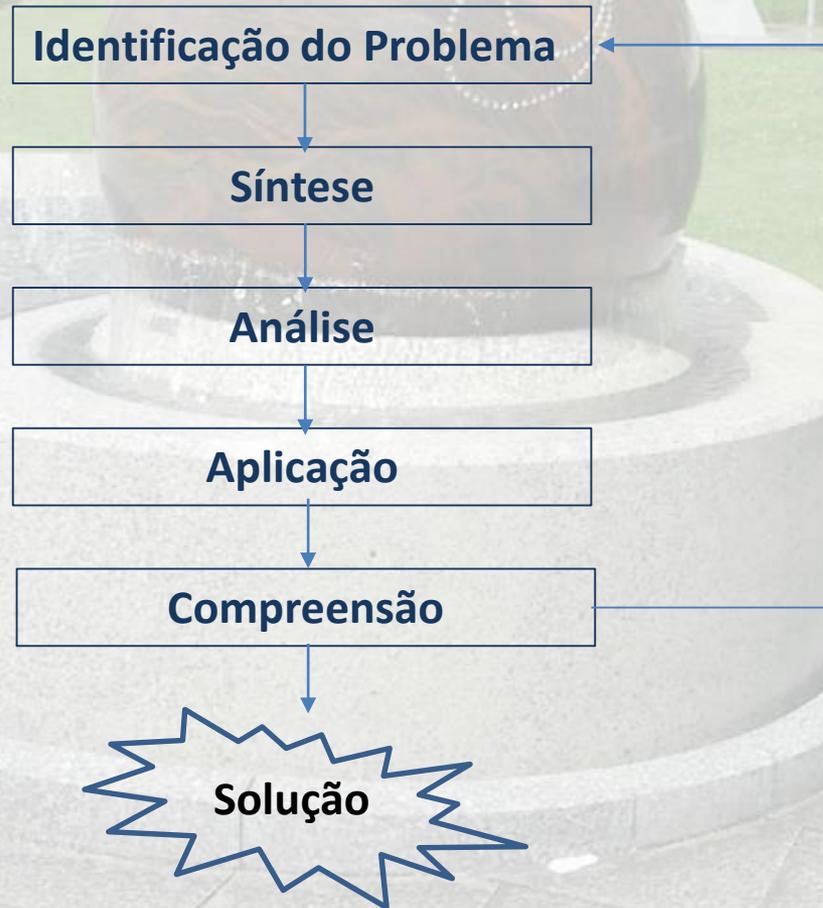
- *Os problemas de pesquisa* exigem que uma hipótese seja comprovada ou refutada.
- *Os problemas de conhecimento* ocorrem quando uma pessoa se depara com uma situação que não entende.
- *Os problemas de defeitos* ocorrem quando o equipamento se comporta de forma inesperada ou imprópria.
- *Os problemas matemáticos* são encontrados por engenheiros ao descrever os fenômenos físicos por um modelo matemático .

# *Solucionando Problemas*

## TIPOS DE PROBLEMAS

- *Os problemas de recursos* são sempre encontrados no mundo real. Tempo, dinheiro, pessoal, equipamento necessários para executar uma tarefa.
- *Os problemas sociais* estão relacionados com escassez de mão de obra especializada, treinamento, baixa escolaridade.
- *Os problemas de projeto* são o coração da engenharia. Exigem criatividade, conhecimento e trabalho em equipe.

# Procedimento para solução de problemas

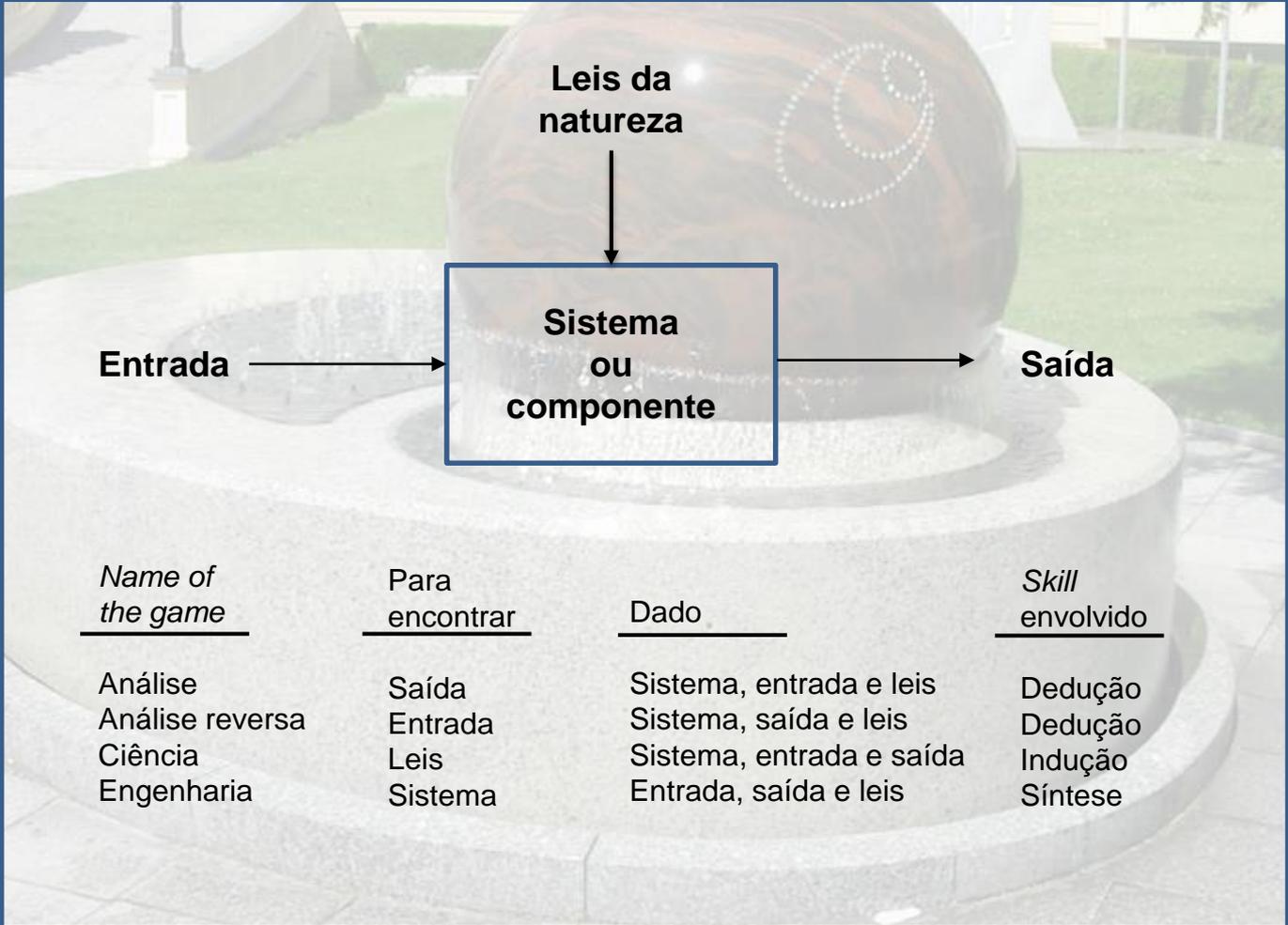


# Síntese PROCESSO CRIATIVO

## Profissões criativas

<b>Profissão</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Restrições</b>
Escritor	Comunicação, exploração de emoções, desenvolvimento de personagens	Linguagem
Artista	Comunicação, criação de beleza, experimentação com diferentes meios	Forma visual
Compositor	Comunicação, criação de novos sons, exploração do potencial de cada instrumento musical	Forma musical
Engenheiro	Simplicidade, maior confiabilidade, maior eficiência, custo reduzido, melhor desempenho, menor dimensão, menor peso etc.	Leis físicas e economia

**Fonte:** Holtzaple & Reece



*Name of the game*

Para encontrar

Dado

Skill envolvido

Análise  
Análise reversa  
Ciência  
Engenharia

Saída  
Entrada  
Leis  
Sistema

Sistema, entrada e leis  
Sistema, saída e leis  
Sistema, entrada e saída  
Entrada, saída e leis

Dedução  
Dedução  
Indução  
Síntese

b) Identificar o tipo de problema:

Problema de : {  
- projeto  
- fabricação  
- especificação  
- etc.

c) Fazer perguntas adequadas:

- Como os concorrentes solucionam?
- Quais objetivos não foram alcançados?

• Qual a solução mais : {  
Fácil?  
Barata?  
Correta?

d) Analisar várias alternativas

- “Brain Storm”
- Listar todas as soluções possíveis
- Dar notas e escolher
- técnica de Quality Function Deployment (QFD)

e) FMEA

- modernamente aplica-se também Failure Mode and Effects Analysis. Esta técnica e a de QFD (Quality Function Deployment) são ferramentas de Engenharia de Produção aplicados ao projeto de produtos

## Geração de idéias

É um ato fundamental, para pensamento criativo. Muitas técnicas de criatividade são citadas na tentativa de unir idéias que se encontram livres.

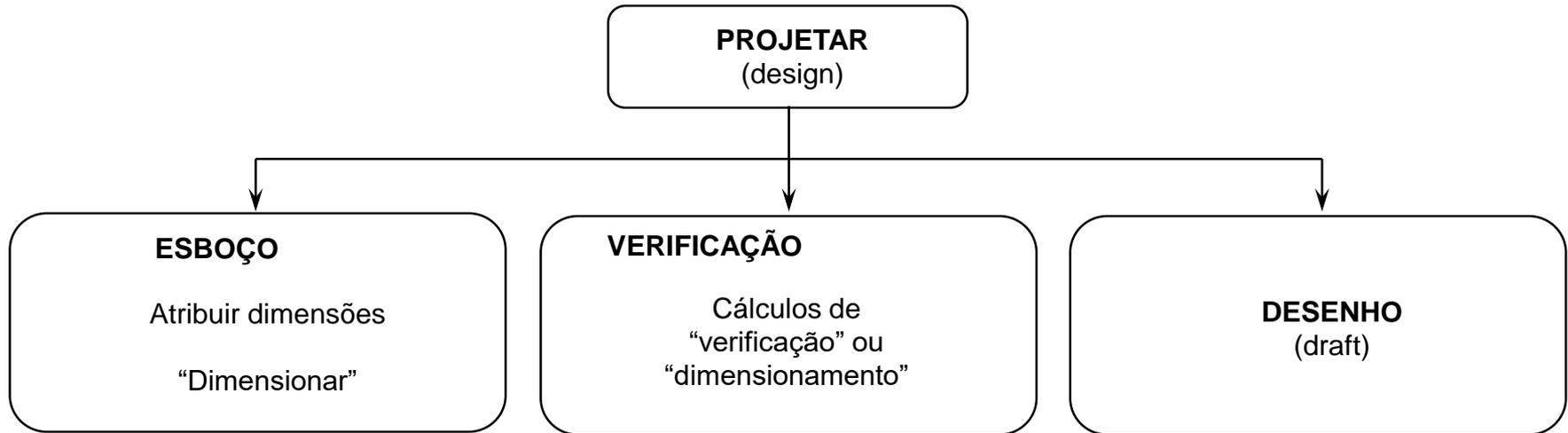
Ferramentas de geração de idéias:

- Métodos convencionais: procura de literatura, análise de sistemas naturais, análise de sistemas de técnicas existentes, analogias;
- Métodos intuitivos: *brainstorming*, *brainwriting* (Método 6.3.5), método de combinação;
- Métodos discursivos: estudo sistemático de processos físicos, busca sistemática com esquemas de classificação auxiliar, uso de catálogos técnicos de projeto.

Algumas requerem pouco tempo e esforço. Assim, os possíveis benefícios de uma solução inovadora geralmente justificam os seus custos. Para muitos projetistas, quando se necessita de uma ferramenta para geração de novas idéias adota-se o processo de *Brainstorming*. Porém, essa técnica pode se mostrar pouco eficiente. Segundo Baxter (1999), a principal característica do *Brainstorming* baseia-se nas idéias de uma pessoa, que inspira outras pessoas e, assim idéias vão fluindo respectivamente. Porém, deve-se cuidar para que o processo não fique polarizado na idéia inicial. Dessa forma, o resultado obtido não será muito diferente daquele que seria conseguido individualmente.

Fonte: Pahl (2005); Baxter (1999) :

## 1.7. Projetar, dimensionar, verificar



### **Critérios usuais:**

- Tensão admissível
- Flecha (deformação) admissível

### **• Outros Critérios:**

- rigidez dinâmica
- velocidade crítica
- resistência à corrosão
- etc

## 2. ALGUMAS REGRAS DE BEM PROJETAR

### 2.1. Redução de custos

a) Redução de custos na construção.Ex:

- Comprar ou fabricar nós mesmos?
- Padronização e normalização de peças

b) Redução de custos de material.Ex:

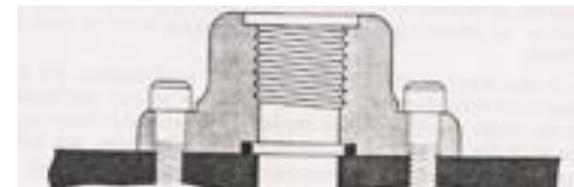
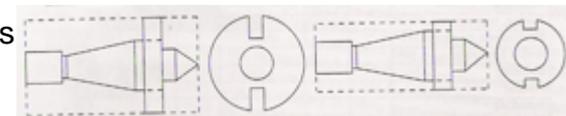
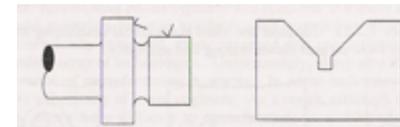
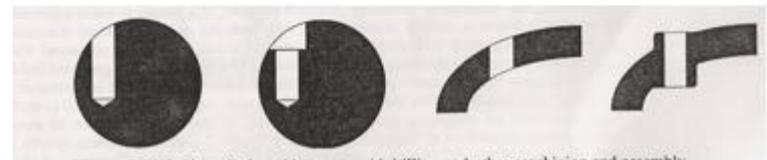
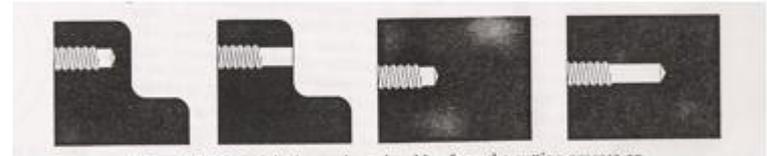
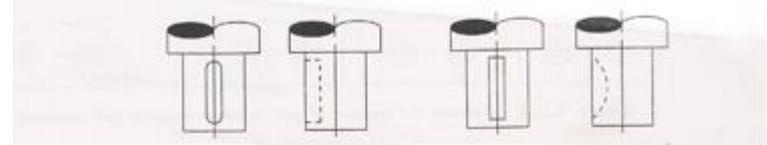
- Formatos adequados
- Forjamento ou fundição
- Redução de sobras, aparas, refugos

c) Redução de custos de fabricação.Ex:

- Processos de fabricação adequados
- Acabamentos e tolerâncias somente em superfícies funcionais

d) Redução de custos para o consumidor.Ex:

- Facilidade de manutenção, montagem e desmontagem
- Baixo custo de embalagem
- Baixo custo de transporte



## **2.2. Influência das solicitações em serviço**

- a) Dimensionamento e verificações corretas. Uma peça não deve:
- Romper
  - Deformar excessivamente
  - Desgastar
  - Ser corroída
- b) Evitar esforços e sobrecargas desnecessárias. Ex
- Fusíveis
  - Pinos de segurança
- c) Se existirem choques, forças alternativas, reversão de movimentos. Ex:
- Eliminar folgas
  - Usar pré-carga
- d) Se existirem rotações elevadas. Ex:
- Balanceamento
  - Velocidades críticas e ressonâncias
- e) Baixo ruído de funcionamento. Ex:
- Mancais de deslizamento
  - Materiais e lubrificação adequados
  - Amortecimento interno
- f) Atrito e desgaste. Ex:
- Usar materiais adequados
  - Dureza adequada
  - Peças postiças / ajustáveis
- g) Vedações
-

### **2.3. Influência da operação, manutenção e segurança do funcionamento**

a) Facilitar a operação. Ex:

- Ergonomia;

b) Prever falta de cuidado: Ex:

- Soluções *foolproof*;

c) Segurança de funcionamento. Ex:

- Freios de segurança;

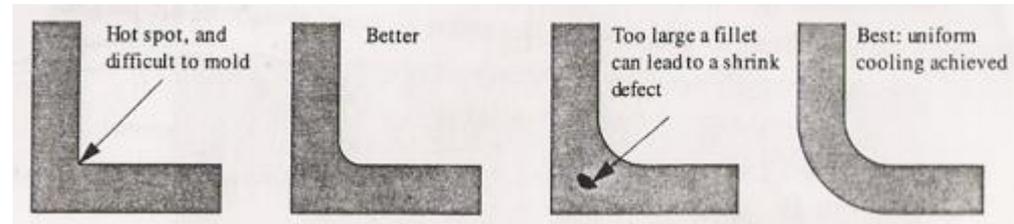
d) Facilitar manutenção. Ex:

- Lubrificação acessível.

## 2.4. Influência do material e tipo de processo de fabricação

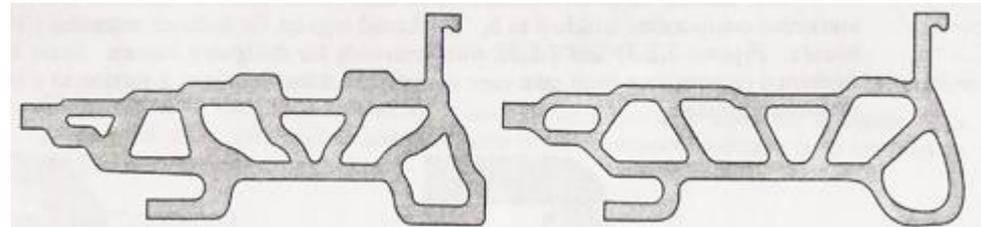
a) Uso de materiais avançados.Ex:

- Plásticos / polímeros
- Cerâmicas
- Ligas de Titânio
- Fibras de vidro / Carbono
- Silício, vidros ópticos, etc.



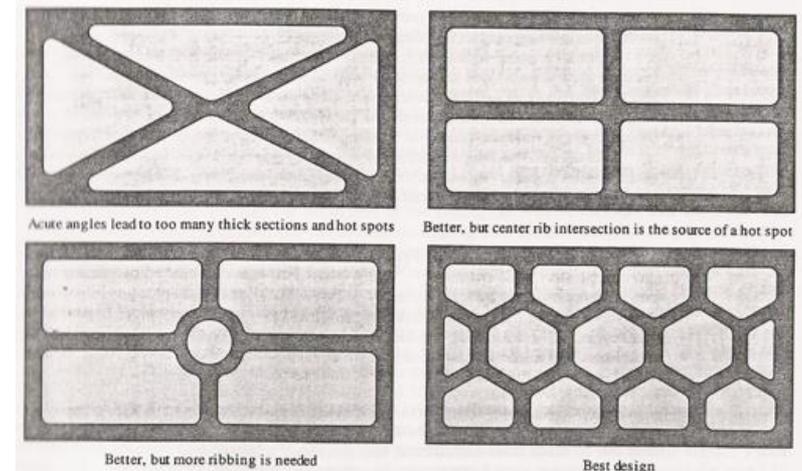
b) Influência do número de peças.Ex:

- Lote pequeno → peças soldadas
- Lote grande → peças fundidas



c) Projetar formas de acordo com material + processo.Ex:

- Peças fundidas
- Peças forjadas
- Peças soldadas
- Peças usinadas
- Peças injetadas
- Peças extrudadas
- Peças coladas
- Peças sinterizadas



### 3. RESPONSABILIDADE DO PRODUTO

De maneira geral o Engenheiro Projetista bem como o fabricante de um produto (Engenheiros de Produção) são responsáveis pelos danos ou ferimentos que estes venham a causar, mesmo que não tenham a noção sobre o defeito.

As melhores práticas de prevenção são:

- engenharia satisfatória: análise;  
projeto;  
controle de qualidade;  
ensaios;  
normalização

## 4. INCERTEZAS

São muitas as incertezas em projetos de máquinas, é sempre necessário calcular um ou mais coeficientes de segurança para estimar a probabilidade de falha. Há também normas específicas, de legislatura ou aceitos de forma geral.

O Coeficiente de segurança ou fator de segurança (N), sempre adimensional, é tipicamente a razão entre duas quantidades de mesma unidade: resistência/tensão atuante; esforço crítico/esforço aplicado; velocidade crítica/velocidade de operação.

$$N = \max(F1, F2, F3)$$

$F1 \rightarrow$  incertezas sobre propriedades dos materiais  
 $F2 \rightarrow$  condições ambientais de uso  
 $F3 \rightarrow$  modelos analíticos de forças e tensões

Ex:

Aeronaves comerciais:  $N \rightarrow 1,2-1,5$  (devido a necessidade de peso baixo, sofisticados ensaios analíticos)

Aeronaves militares:  $N < 1,1$  (tripulação usa pára-quedas)

Mísseis:  $N=1$  (não tem tripulante)

Escada rolante:  $N=14$  (em um Estado americano)

Suporte de elevadores  $F^*=2$

Suporte de máquinas leve  $F \geq 1,2$

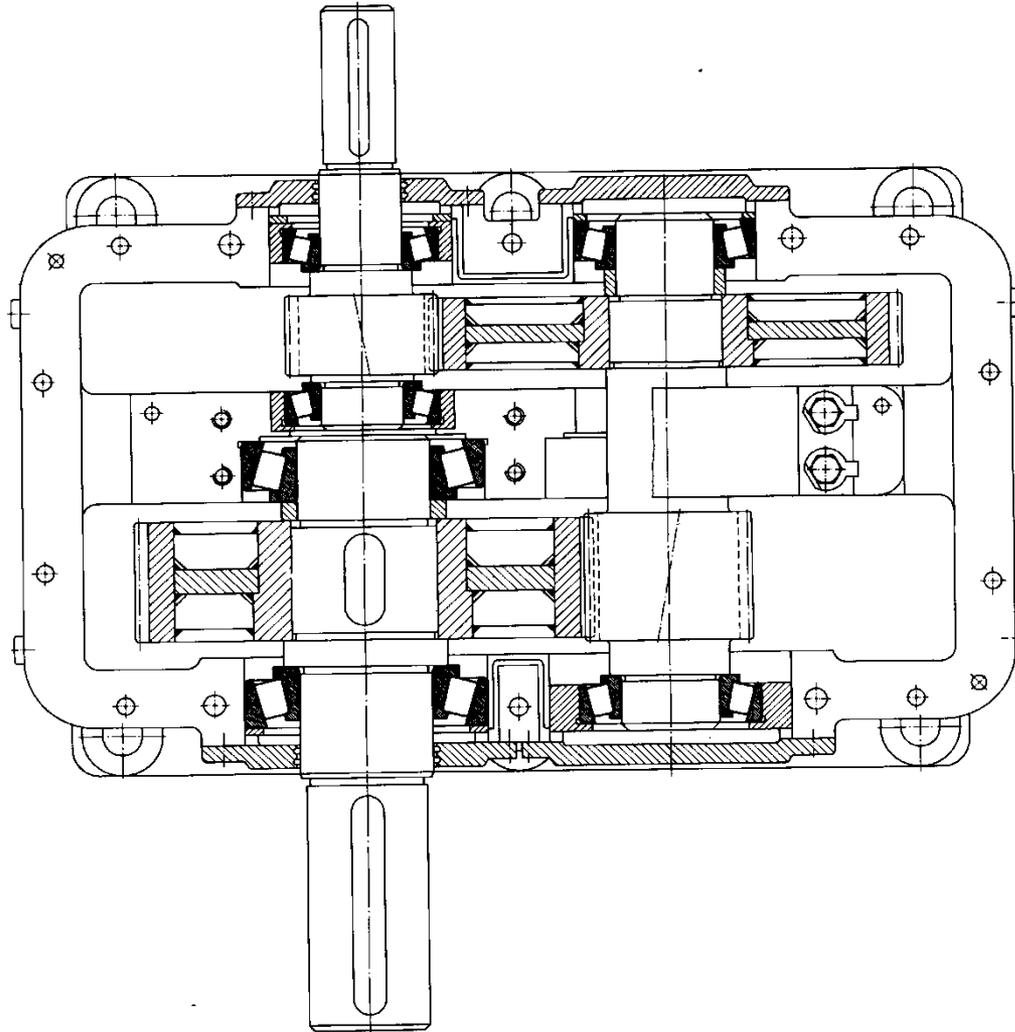
Suporte de máquinas de movimento alternado  $F \geq 1,5$

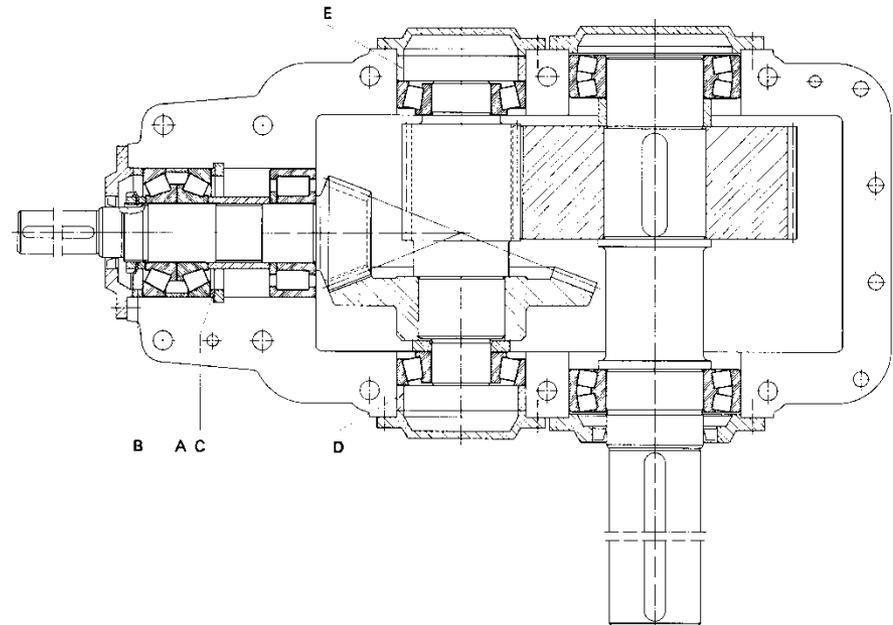
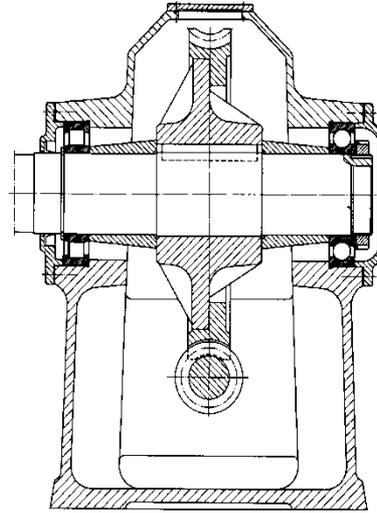
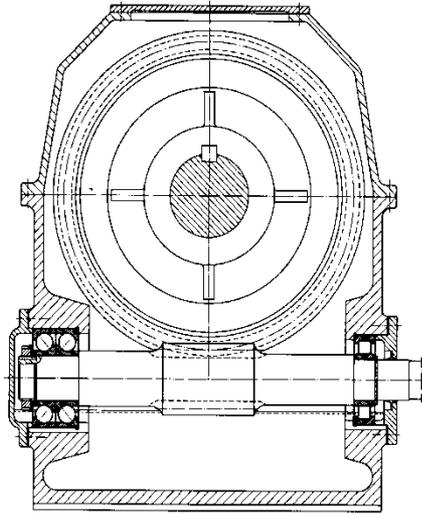
\* F = fator de serviço

Fontes: NORTON, R.L. “Projeto de Máquinas”, 2.ed. Bookman, Porto Alegre, 2004.; SHIGLEY, J.E., Projeto de engenharia mecânica, Ed. Bookman, Zed, 2005

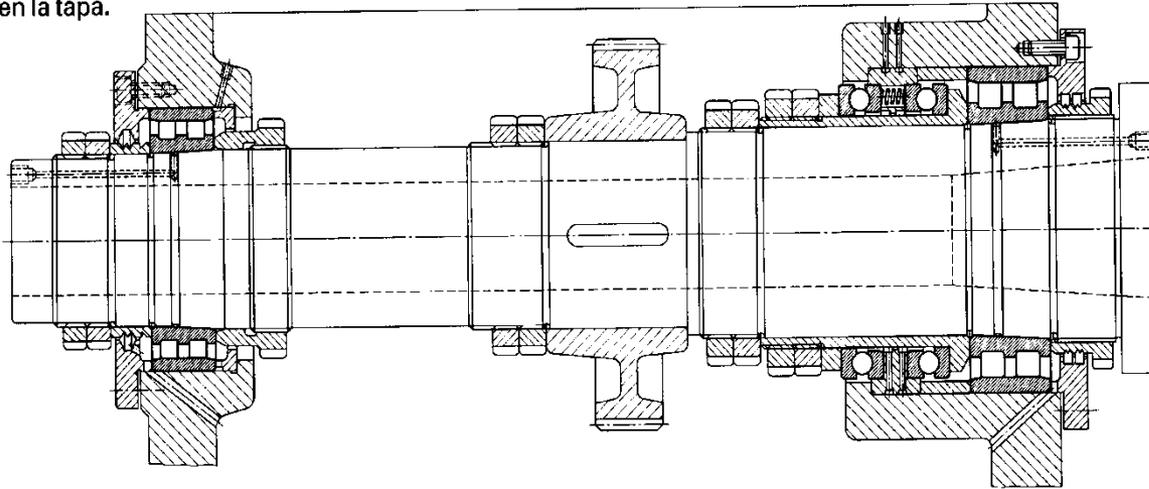
# Incertezas

- Composição dos materiais
- Variação das propriedades ao longo do material
- Efeito de processos de fabricação
- Efeito de uniões nas propriedades
- Variação na intensidade e distribuição de cargas
- Aproximação dos modelos usados
- Intensidade de concentração de tensões
- Corrosão, desgaste e outros.

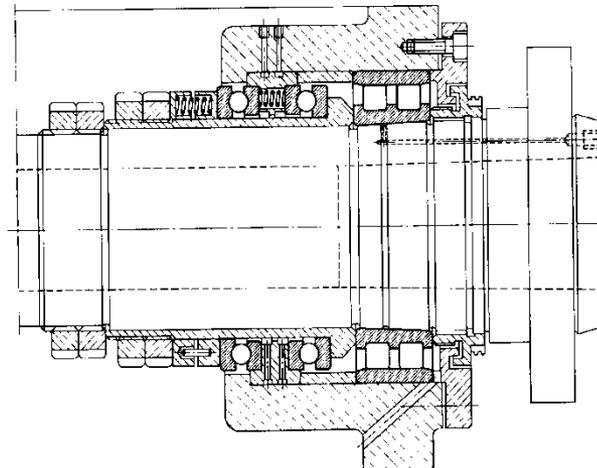
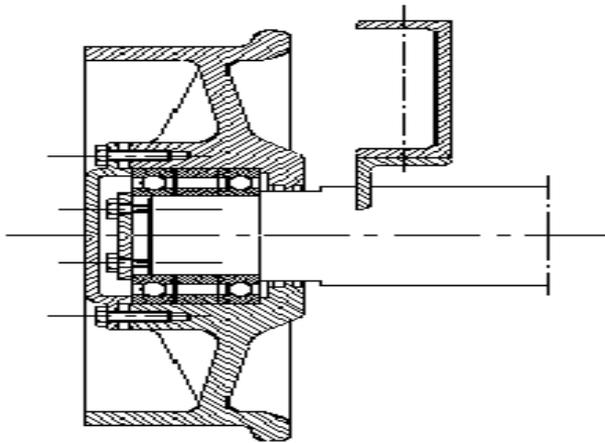




so conjunto una cubierta para proteger  
en la tapa.

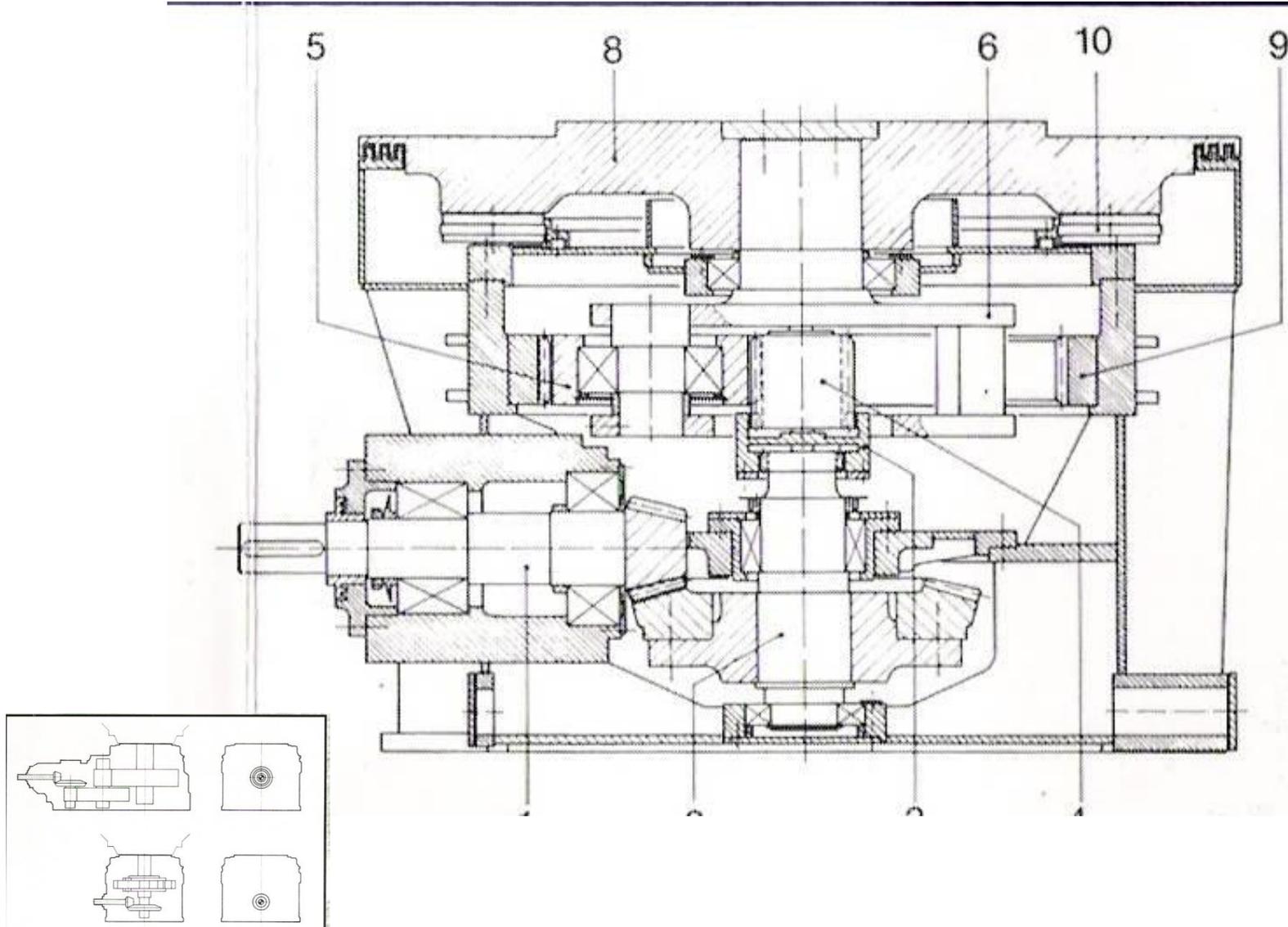


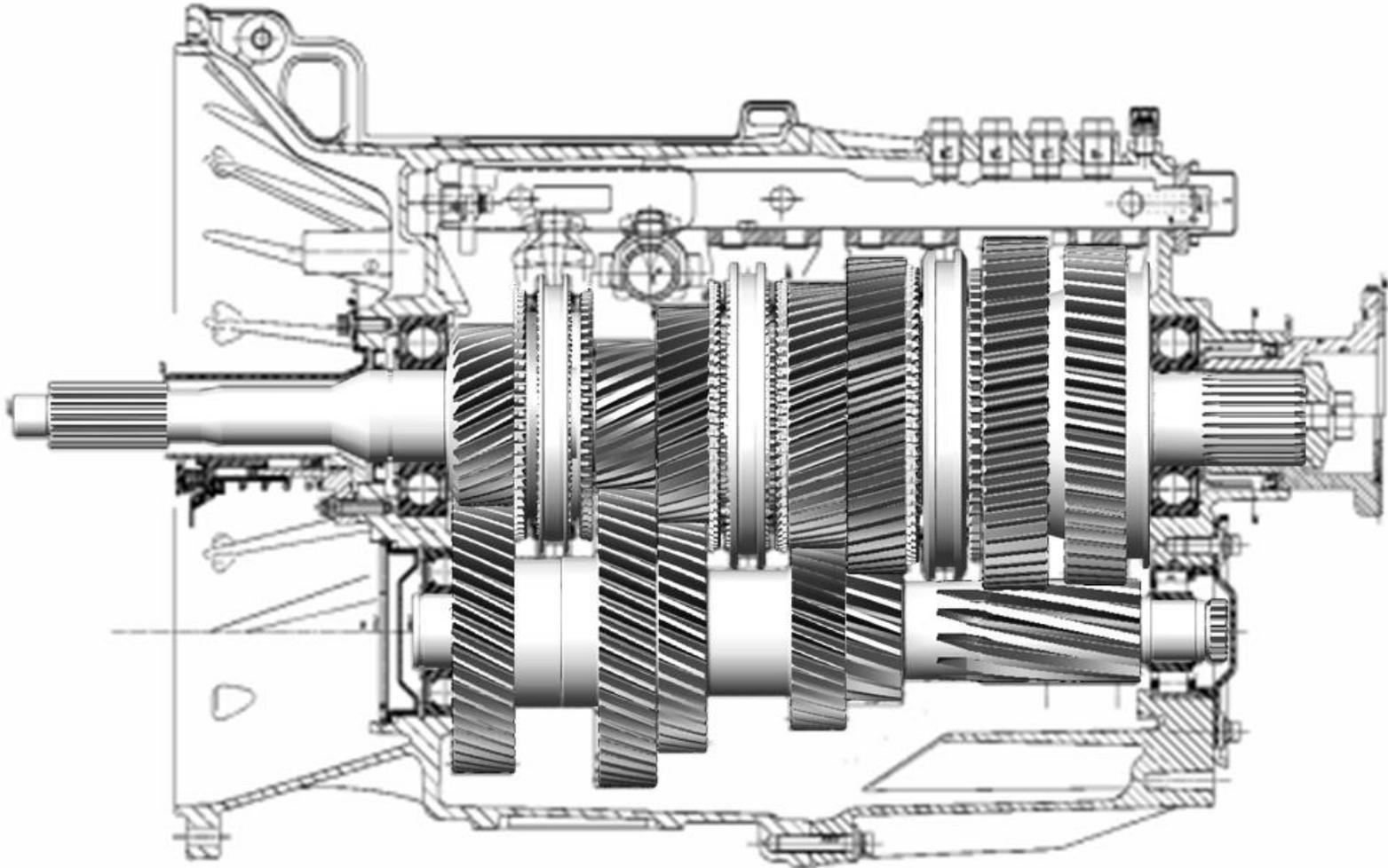
6 Husillo de un torno











## 5- BIBLIOGRAFIA

BAXTER, M. *Projeto de Produto*. Ed. Edgard Blücher, 2000.

NIEMANN, G. “Elementos de Máquinas”, vols. I, II e III, Editora Edgard Blucher, 1991.

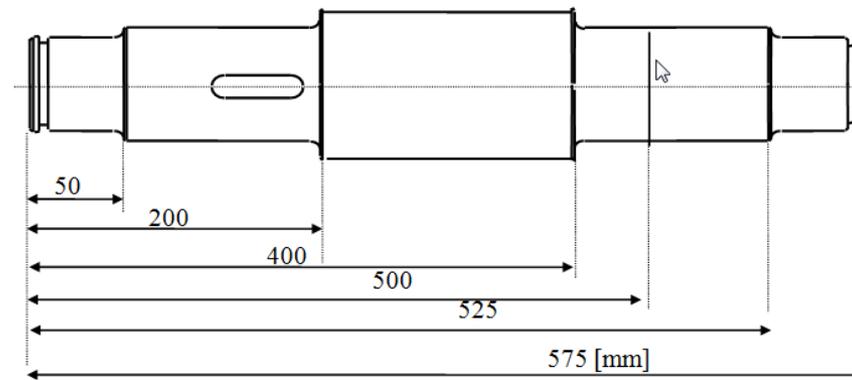
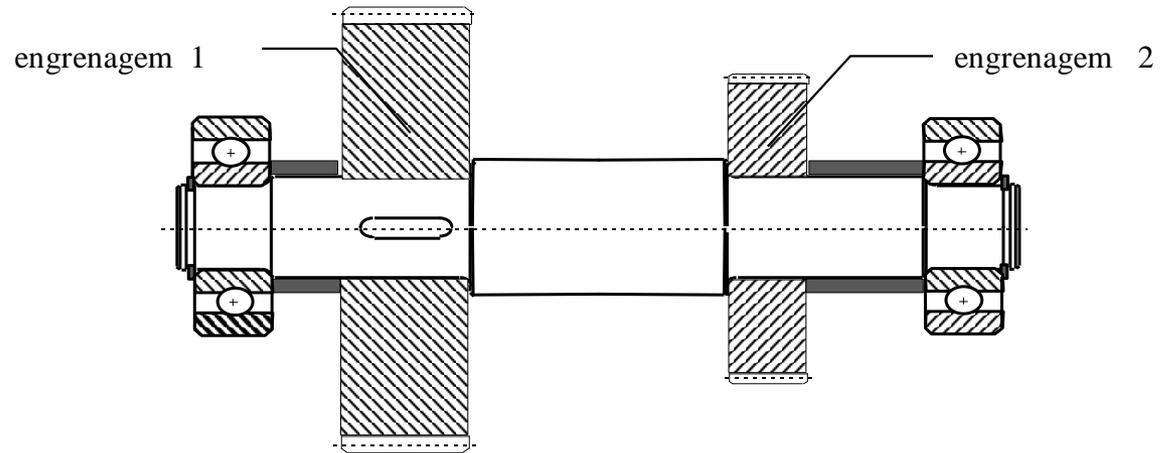
NORTON, R.L. “Projeto de Máquinas”, 2.ed. Bookman, Porto Alegre, 2004.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K-H. *Projeto na Engenharia*, Ed. Edgard Blucher. 2005, 412p.

PUGH, S. *Total design: Integrated method for successful product engineering*. Addison-Wesley, 1995.

SHIGLEY, J. E. “Projeto de Engenharia Mecânica”, 7.ed. Bookman, Porto Alegre, 2005.

SKF - Catálogo de Rolamentos, 1989.



# Tamanhos preferenciais e série de Renard

**Table A-17**

Preferred Sizes and Renard (R-Series)

Numbers

(When a choice can be made, use one of these sizes; however, not all parts or items are available in all the sizes shown in the table.)

## Fraction of Inches

$\frac{1}{64}, \frac{1}{32}, \frac{1}{16}, \frac{3}{32}, \frac{1}{8}, \frac{5}{32}, \frac{3}{16}, \frac{1}{4}, \frac{5}{16}, \frac{3}{8}, \frac{7}{16}, \frac{1}{2}, \frac{9}{16}, \frac{5}{8}, \frac{11}{16}, \frac{3}{4}, \frac{7}{8}, 1, 1\frac{1}{4}, 1\frac{1}{2}, 1\frac{3}{4}, 2, 2\frac{1}{4}, 2\frac{1}{2}, 2\frac{3}{4}, 3, 3\frac{1}{4}, 3\frac{1}{2}, 3\frac{3}{4}, 4, 4\frac{1}{4}, 4\frac{1}{2}, 4\frac{3}{4}, 5, 5\frac{1}{4}, 5\frac{1}{2}, 5\frac{3}{4}, 6, 6\frac{1}{2}, 7, 7\frac{1}{2}, 8, 8\frac{1}{2}, 9, 9\frac{1}{2}, 10, 10\frac{1}{2}, 11, 11\frac{1}{2}, 12, 12\frac{1}{2}, 13, 13\frac{1}{2}, 14, 14\frac{1}{2}, 15, 15\frac{1}{2}, 16, 16\frac{1}{2}, 17, 17\frac{1}{2}, 18, 18\frac{1}{2}, 19, 19\frac{1}{2}, 20$

## Decimal Inches

0.010, 0.012, 0.016, 0.020, 0.025, 0.032, 0.040, 0.05, 0.06, 0.08, 0.10, 0.12, 0.16, 0.20, 0.24, 0.30, 0.40, 0.50, 0.60, 0.80, 1.00, 1.20, 1.40, 1.60, 1.80, 2.0, 2.4, 2.6, 2.8, 3.0, 3.2, 3.4, 3.6, 3.8, 4.0, 4.2, 4.4, 4.6, 4.8, 5.0, 5.2, 5.4, 5.6, 5.8, 6.0, 7.0, 7.5, 8.5, 9.0, 9.5, 10.0, 10.5, 11.0, 11.5, 12.0, 12.5, 13.0, 13.5, 14.0, 14.5, 15.0, 15.5, 16.0, 16.5, 17.0, 17.5, 18.0, 18.5, 19.0, 19.5, 20

## Millimeters

0.05, 0.06, 0.08, 0.10, 0.12, 0.16, 0.20, 0.25, 0.30, 0.40, 0.50, 0.60, 0.70, 0.80, 0.90, 1.0, 1.1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.5, 2.8, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 8.0, 9.0, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32, 35, 40, 45, 50, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 250, 300

## Renard Numbers\*

1st choice, R5: 1, 1.6, 2.5, 4, 6.3, 10

2d choice, R10: 1.25, 2, 3.15, 5, 8

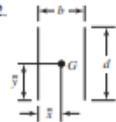
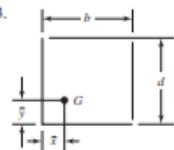
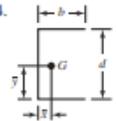
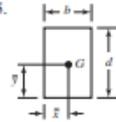
3d choice, R20: 1.12, 1.4, 1.8, 2.24, 2.8, 3.55, 4.5, 5.6, 7.1, 9

4th choice, R40: 1.06, 1.18, 1.32, 1.5, 1.7, 1.9, 2.12, 2.36, 2.65, 3, 3.35, 3.75, 4.25, 4.75, 5.3, 6, 6.7, 7.5, 8.5, 9.5

\*May be multiplied or divided by powers of 10.

# Propriedades de torsão de filetes de solda

Torsional Properties of Fillet Welds\*

Weld	Throat Area	Location of G	Unit Second Polar Moment of Area
1. 	$A = 0.707 hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = d^3/12$
2. 	$A = 1.414 hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{d(3b^2 + d^2)}{6}$
3. 	$A = 0.707h(b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2(b + d)}$ $\bar{y} = \frac{d^2}{2(b + d)}$	$J_u = \frac{(b + d)^4 - 6b^2d^2}{12(b + d)}$
4. 	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b + d}$
5. 	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{(b + d)^3}{6}$
6. 	$A = 1.414 \pi hr$		$J_u = 2\pi r^3$

\*G is centroid of weld group; h is weld size; plane of torque couple is in the plane of the paper; all welds are of unit width.

# Exercício de figura de mérito (fom)

