



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**PMR 3301**

**– Planejamento de Processos de Fabricação  
Auxiliado por Computador –**

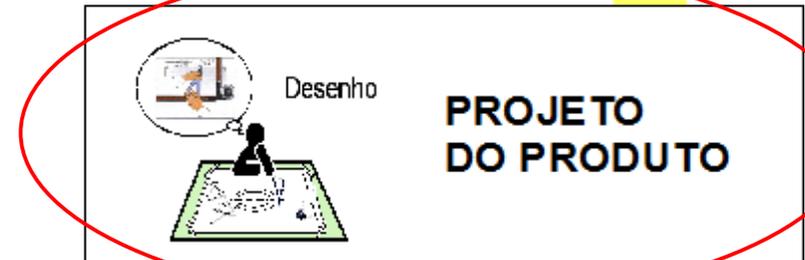
**2020.1**



# Ciclo dos produtos

Descarte

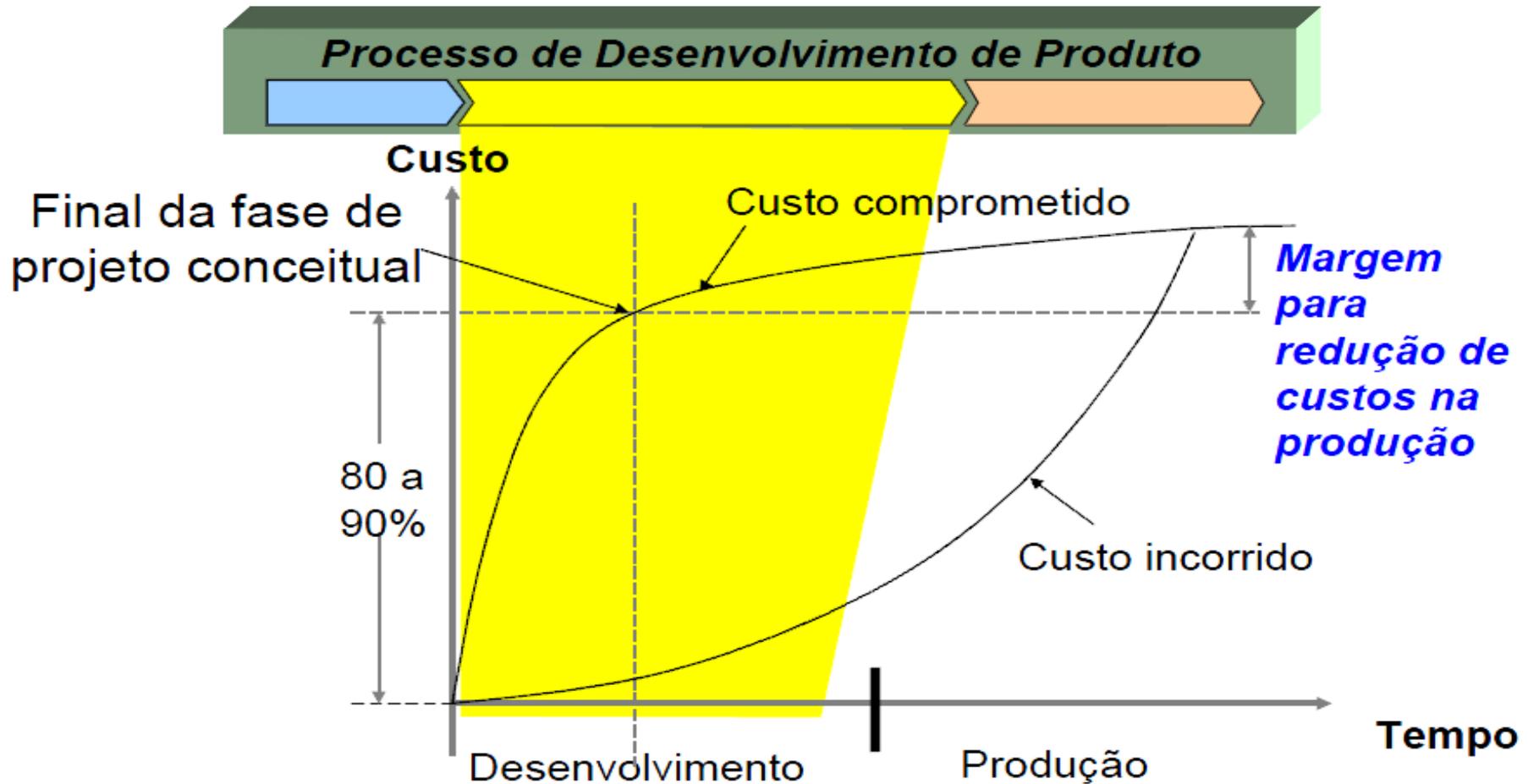
CONSUMIDOR/MERCADO





Ciclo de manufatura, projeto e fabricação de produtos.

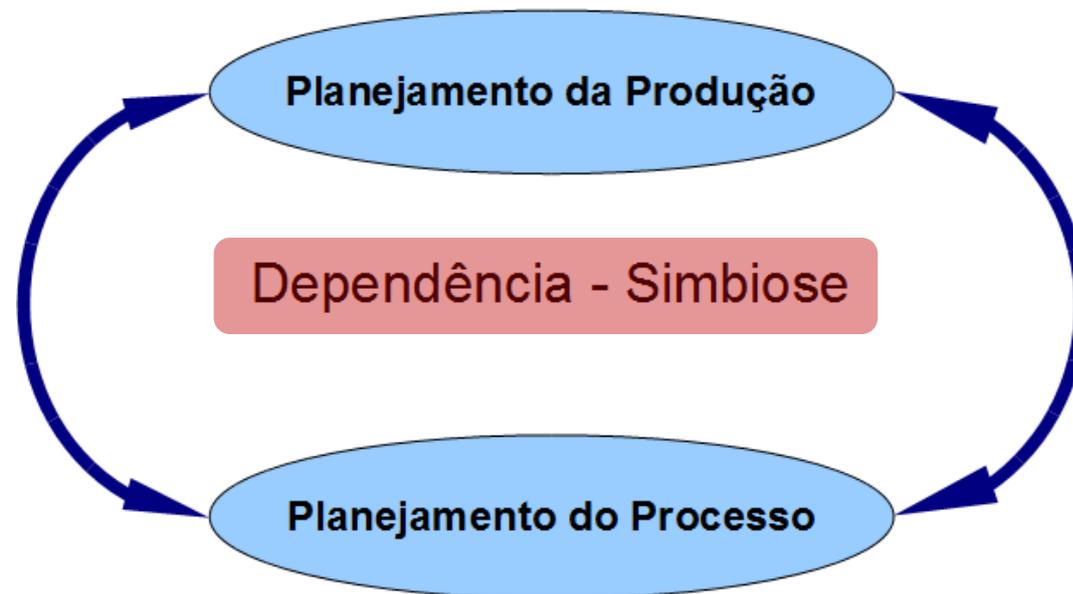
## Custo comprometido X custo incorrido





## Planejamento de Processos e Planejamento da Produção

- Em princípio o Planejamento de Processos e Planejamento de Produção são independentes
- A tendência é a integração de ambos, contudo...





## Planejamento da Produção

- O Planejamento da Produção deve ser visto em um nível mais estratégico e deve considerar quais meios existem, quais devem adquiridos, qual o nível de investimento necessário para se atingir uma meta de produção.



**Orientado ao produto**



## Planejamento de Processos

- O Planejamento de Processos leva em consideração questões quanto relativas as instalações disponíveis, máquinas, ferramentas, ferramentais, meios de controle, transporte, armazenamento, entre outros



**Orientado a peça**



## Planejamento de Processos





## O que é o Planejamento do Processo?

→ É uma atividade de engenharia que determina os procedimentos apropriados para transformar matéria-prima em um produto final tal qual especificado no projeto de engenharia.



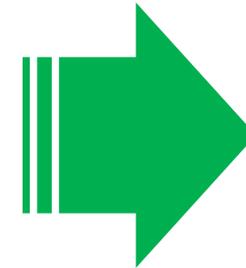
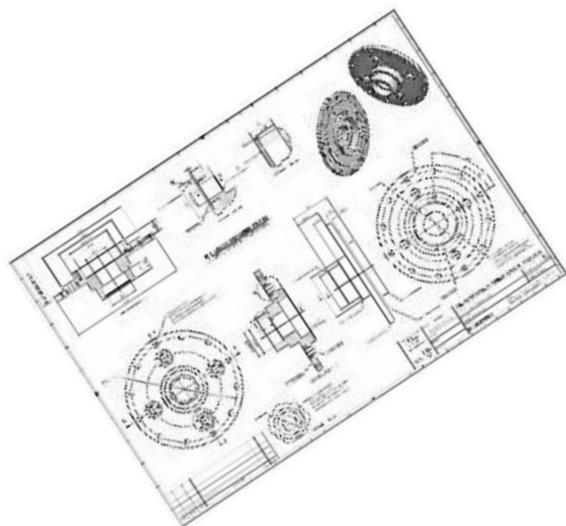
Matéria prima

Produto



## O que é o Planejamento do Processo?

→ Tarefa de transformar especificações de projeto (desenho detalhado) em instruções de manufatura. Esta tarefa inclui a identificação de máquinas, ferramentas, dispositivos, operações, suas sequências e a seleção dos parâmetros do processo.





## O que é o Planejamento do Processo?

→ É determinação sistemática dos métodos de manufatura e detalhes de operação, de forma que matérias-primas possam ser transformadas em produtos acabados (peças) de forma eficiente e econômica





## O que é o Planejamento do Processo?

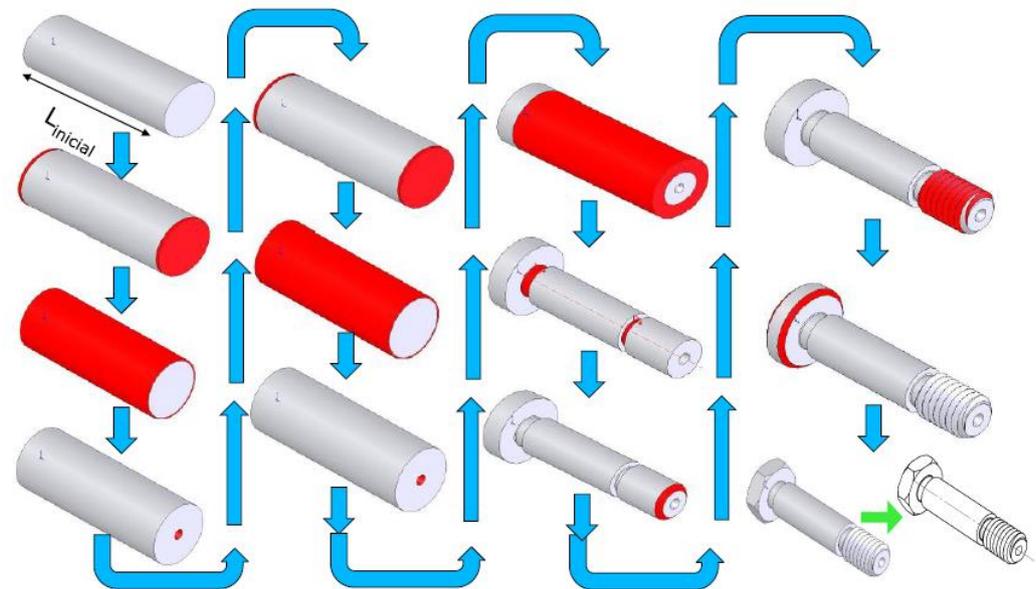
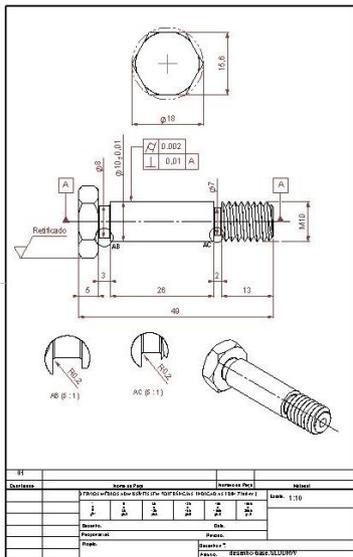
→ É a função dentro da qual um planta de produção estabelece qual processo e parâmetros devem ser utilizados, assim como quais as máquinas são capazes de executar estes processo, de forma a converter peças (ou matéria prima) de sua situação inicial em final conforme as especificações contidas em um desenho técnico.





## O que é o Planejamento do Processo?

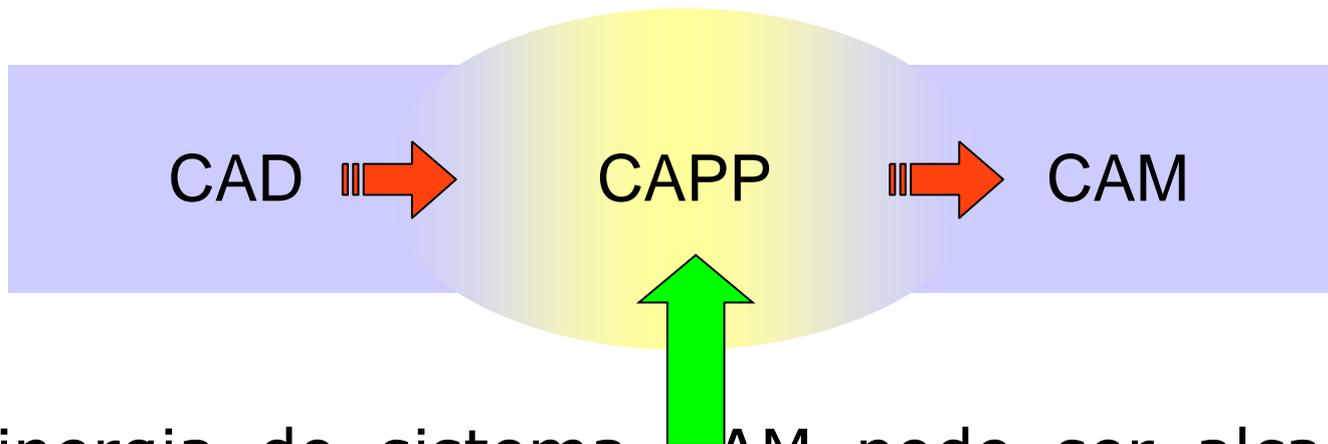
→ É relacionado com a preparação da lista de instruções contendo a sequências de operações e centros de trabalho necessários a produção de um produto e seus componentes





## Relação entre Sistemas CAPP, CAD e CAM

É a interface entre o processo de projeto e o processo de manufatura

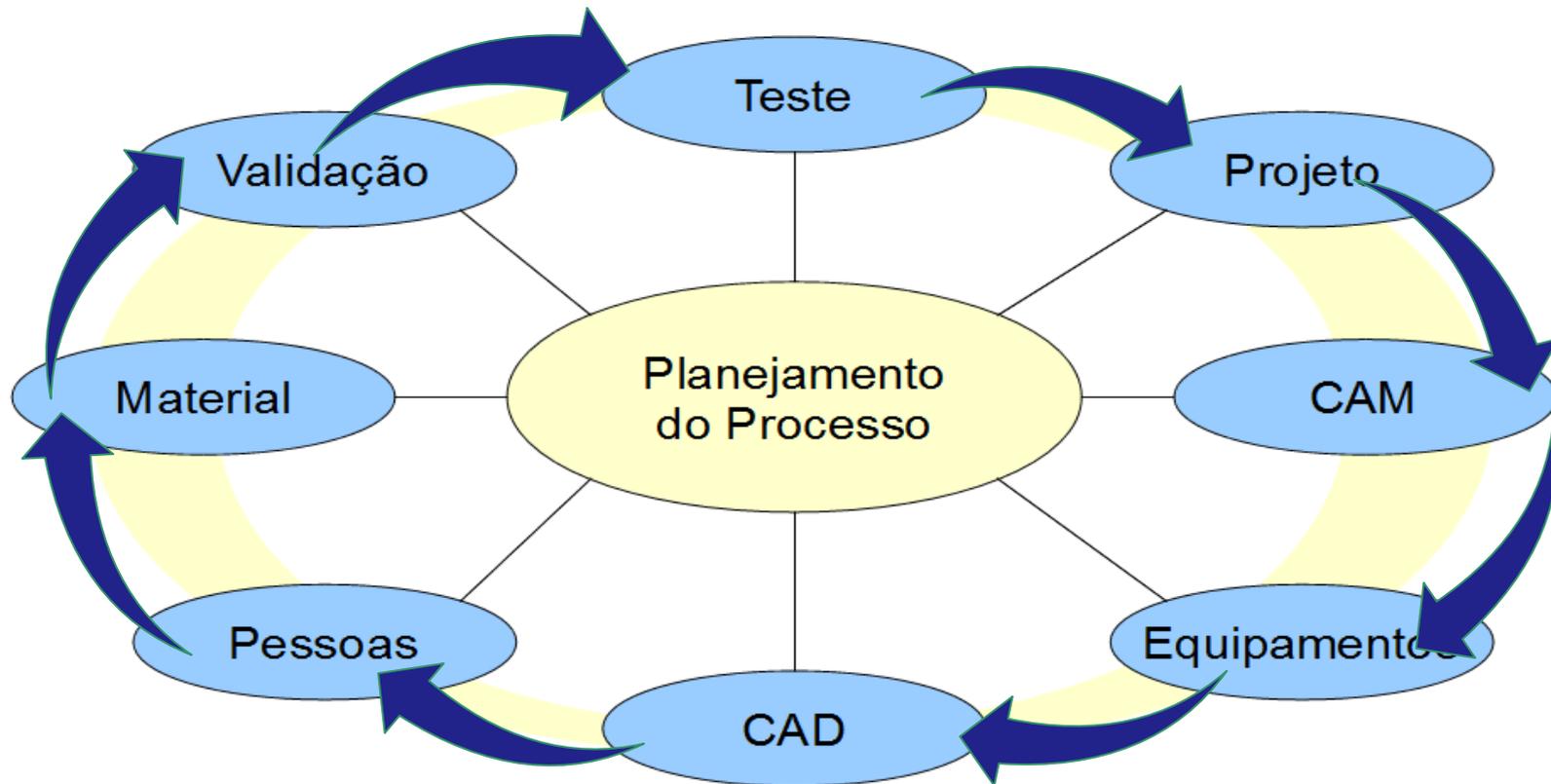


A sinergia do sistema CAM pode ser alcançada pela integração com o sistema CAD através da conexão estabelecida entre os dois pelo CAPP



## Entradas e recursos

Elementos essenciais ao Planejamento do Processo





## Porque planejar o processo?

- Racionalização
- Padronização
- Aumento da produtividade
- Aumento da eficiência dos processistas
- Melhoria da qualidade
- Interação e integração com outros aplicativos de controle do processo



## Como fazer isto?

- Apesar de sua importância o Planejamento do Processo, não existe uma metodologia formal que pode ser utilizada no treinamento de novos processistas ou mesmo utilizada por estes.
- O Planejamento do Processo depende da experiência, do conhecimento profundo de processos de fabricação e metrologia e intuição.



## Como fazer isto?

Todos CAPP dependem de especialistas para preparar regras ou o plano mestre de produção e operador habilitado para analisar os planos gerados.

Contudo o Planejamento do Processo, pode ser sistematizado e implementado em sistemas computacionais..



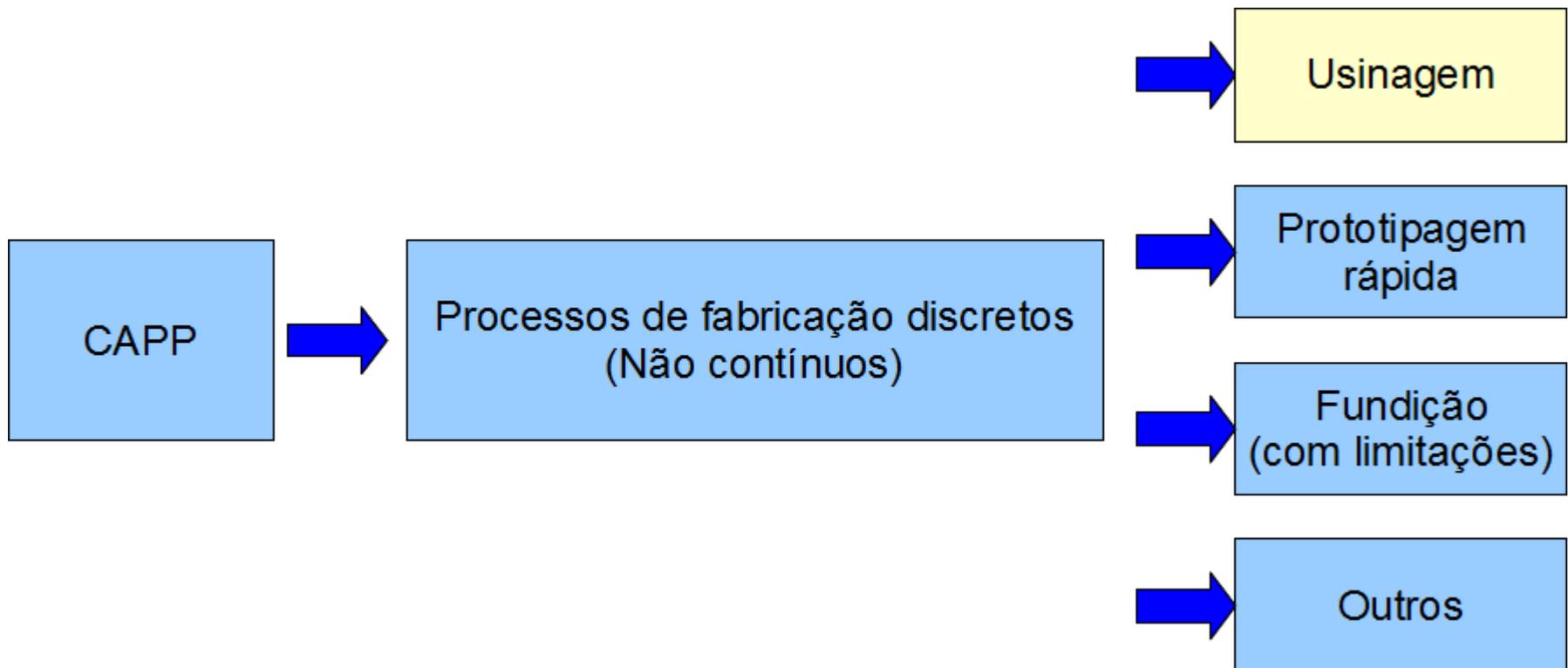
## Divisão dos processos de fabricação



**Processos primários** - alteram as matérias primas, transformando-as em geometrias e formas básicas. Ex. fundição, laminação, forjamento



## Onde aplicar o CAPP?





## Foco do CAPP esta nos processos de usinagem



### Processos de Remoção ou Usinagem





## **Classificação dos Sistemas de Planejamento do Processo**

- Manuais
- Auxiliados por computador

### **Classificação quanto a formulação**

- Variantes
- Generativos



## **Planejamento do Processo - usinagem -**

Essa sequência inicia-se com o estudo do desenho de fabricação da peça a usinar, observando-se:

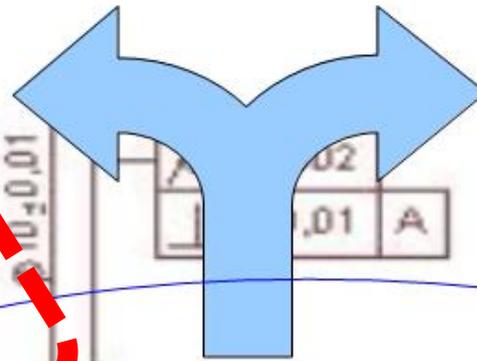
- Processo posterior a usinagem
- Tamanho do lote
- Prazo do lote
- Máquinas, ferramentas e ferramental disponíveis
- Qualificação da mão de obra
- Custo máximo aceitável
- Instrumentos de medição disponíveis



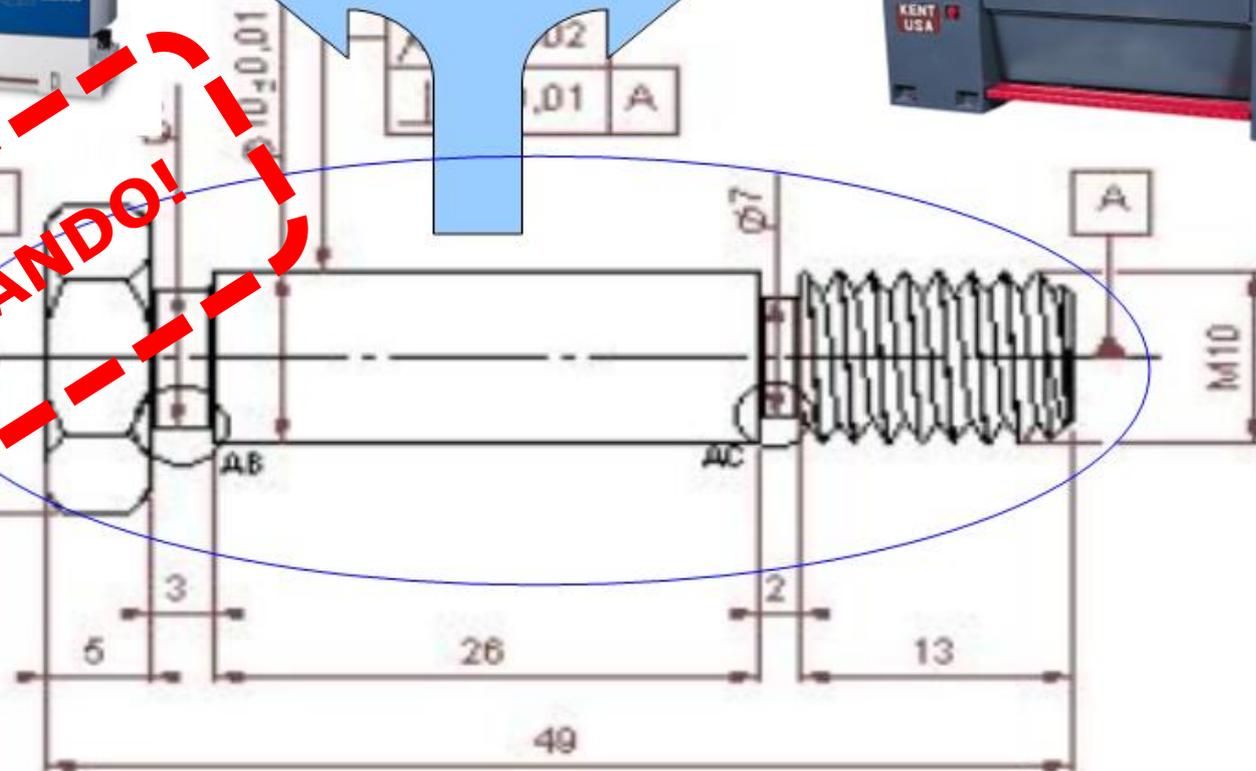


## Análise dos desenhos de fabricação

- Tamanho do Lote -

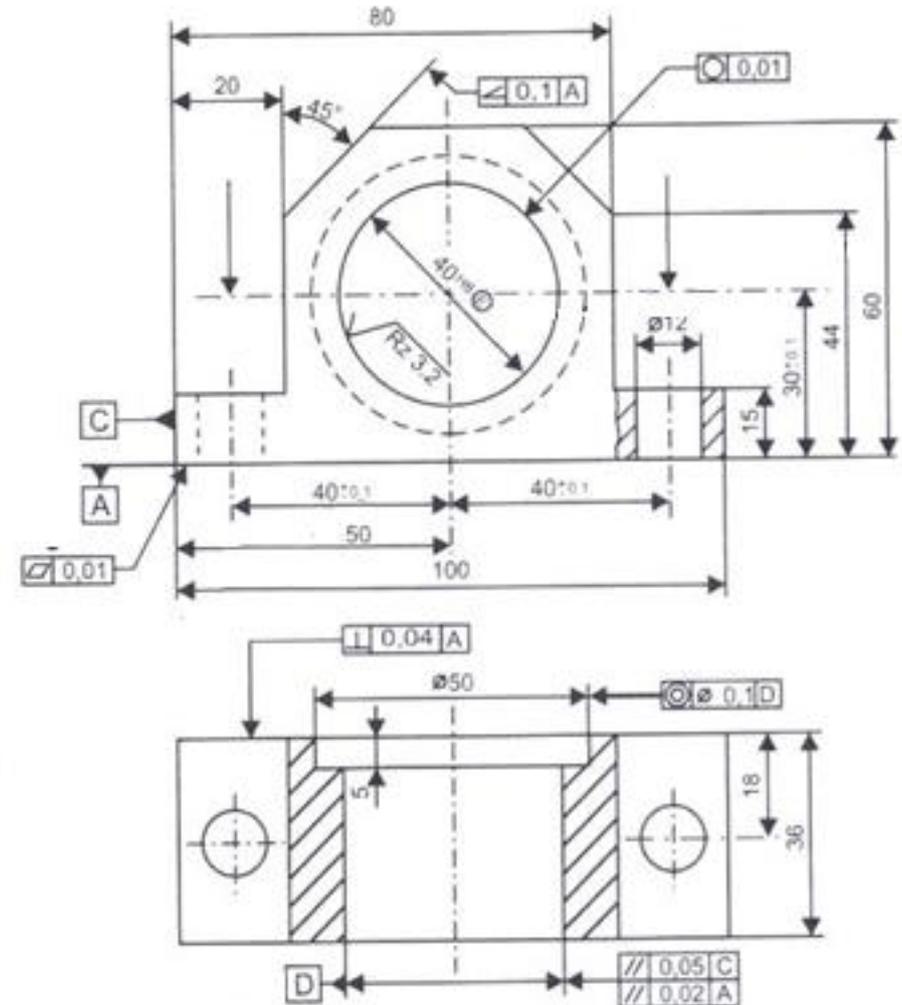
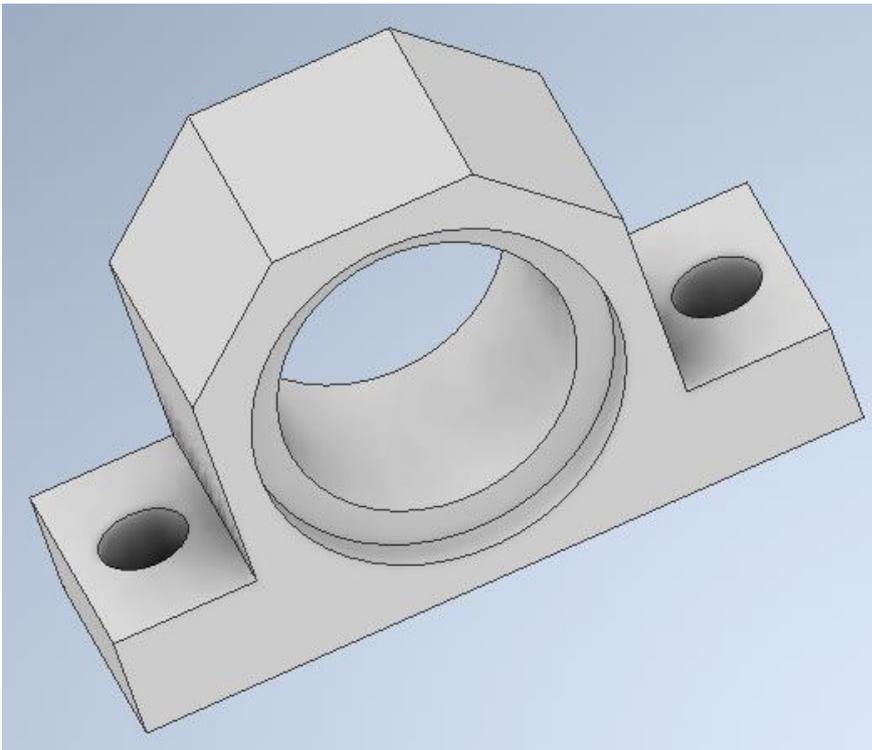


**RELEMBRANDO!**



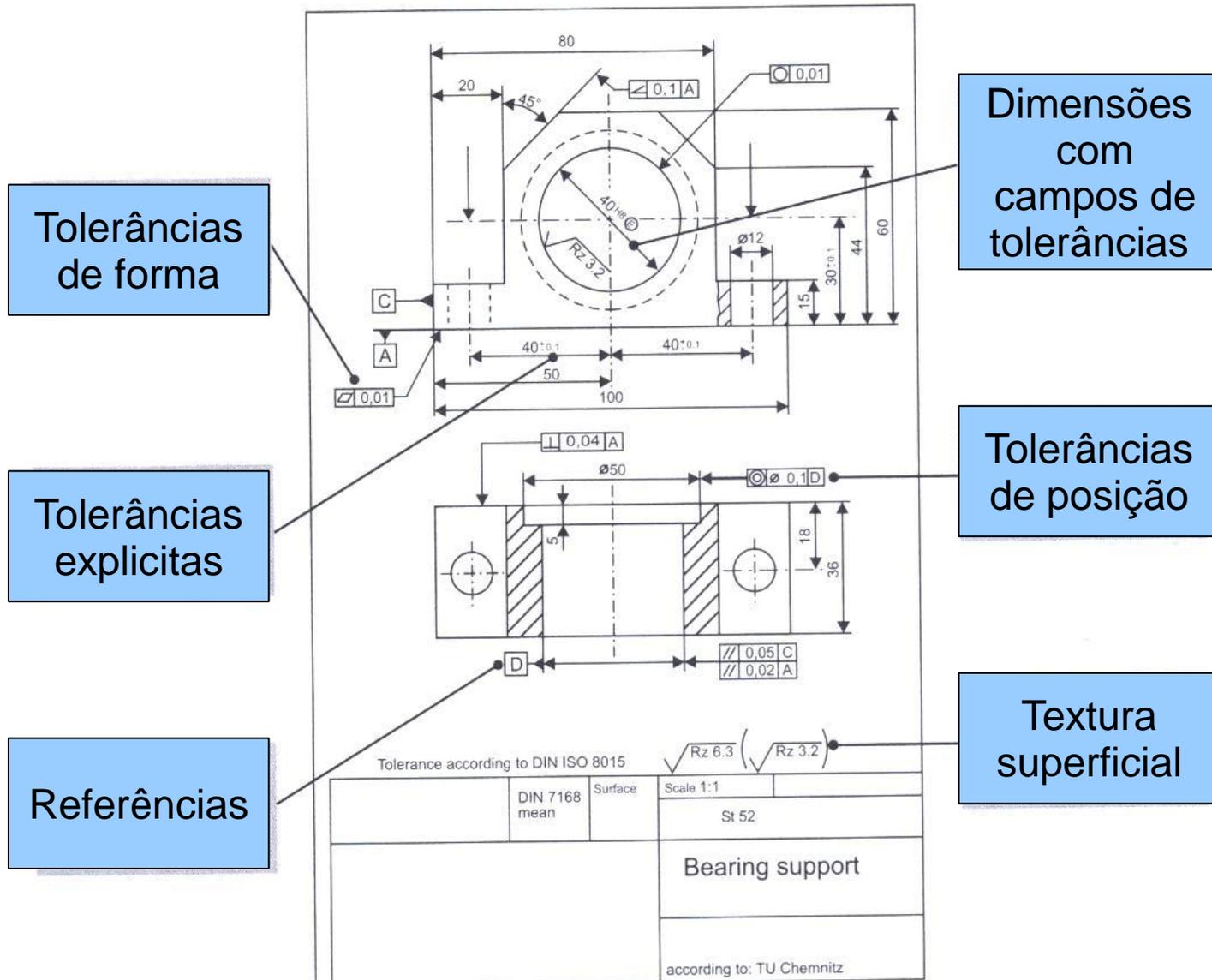


## Informações constantes em um desenho de produção





## Informações constantes em um desenho de produção



Tolerâncias de forma

Tolerâncias explícitas

Referências

Dimensões com campos de tolerâncias

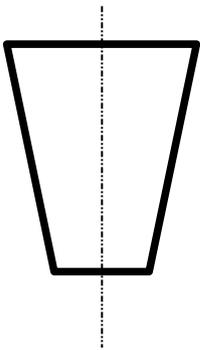
Tolerâncias de posição

Textura superficial

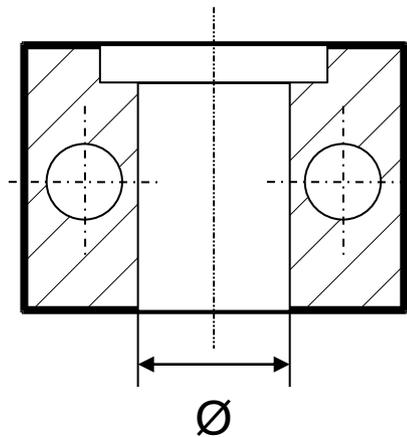


## Análise Geométrica

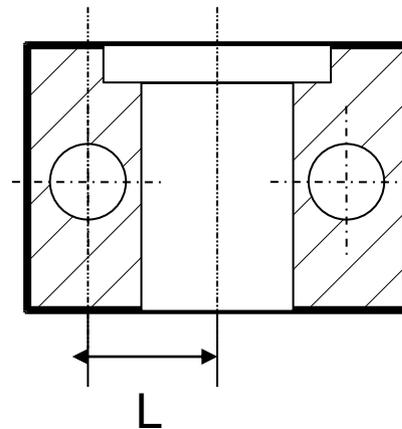
FORMA



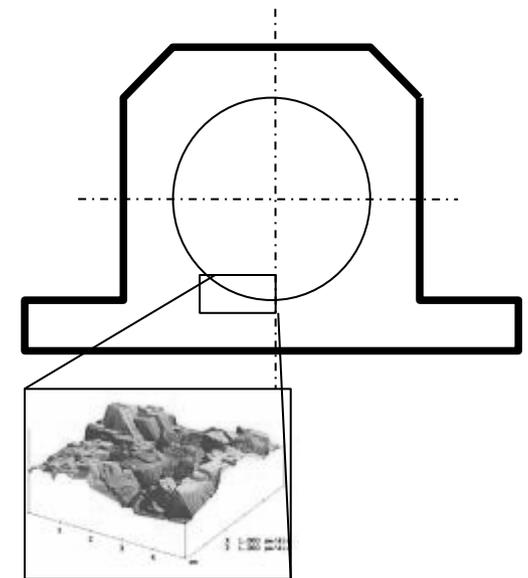
DIMENSÃO



POSIÇÃO

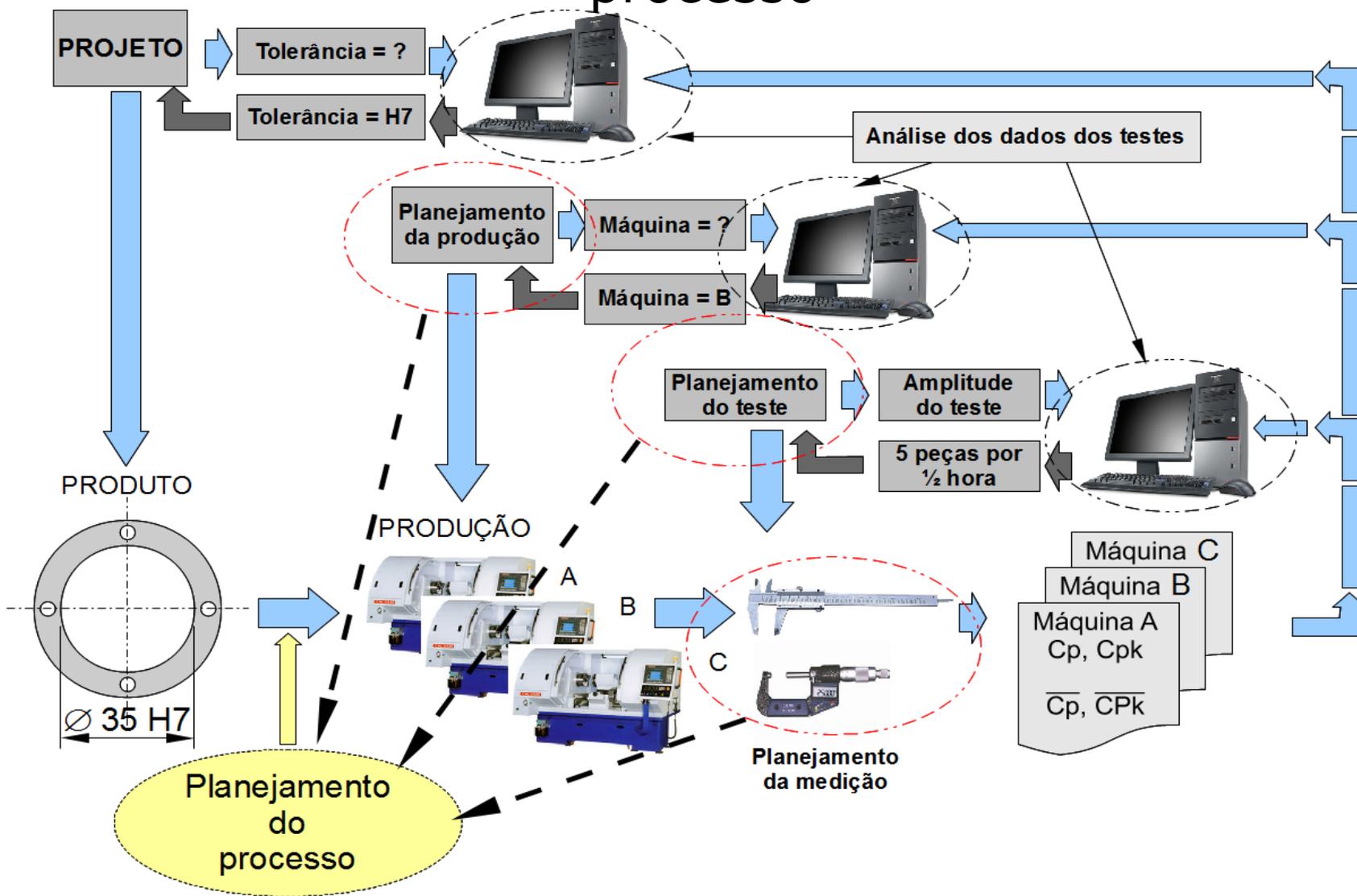


TEXTURA



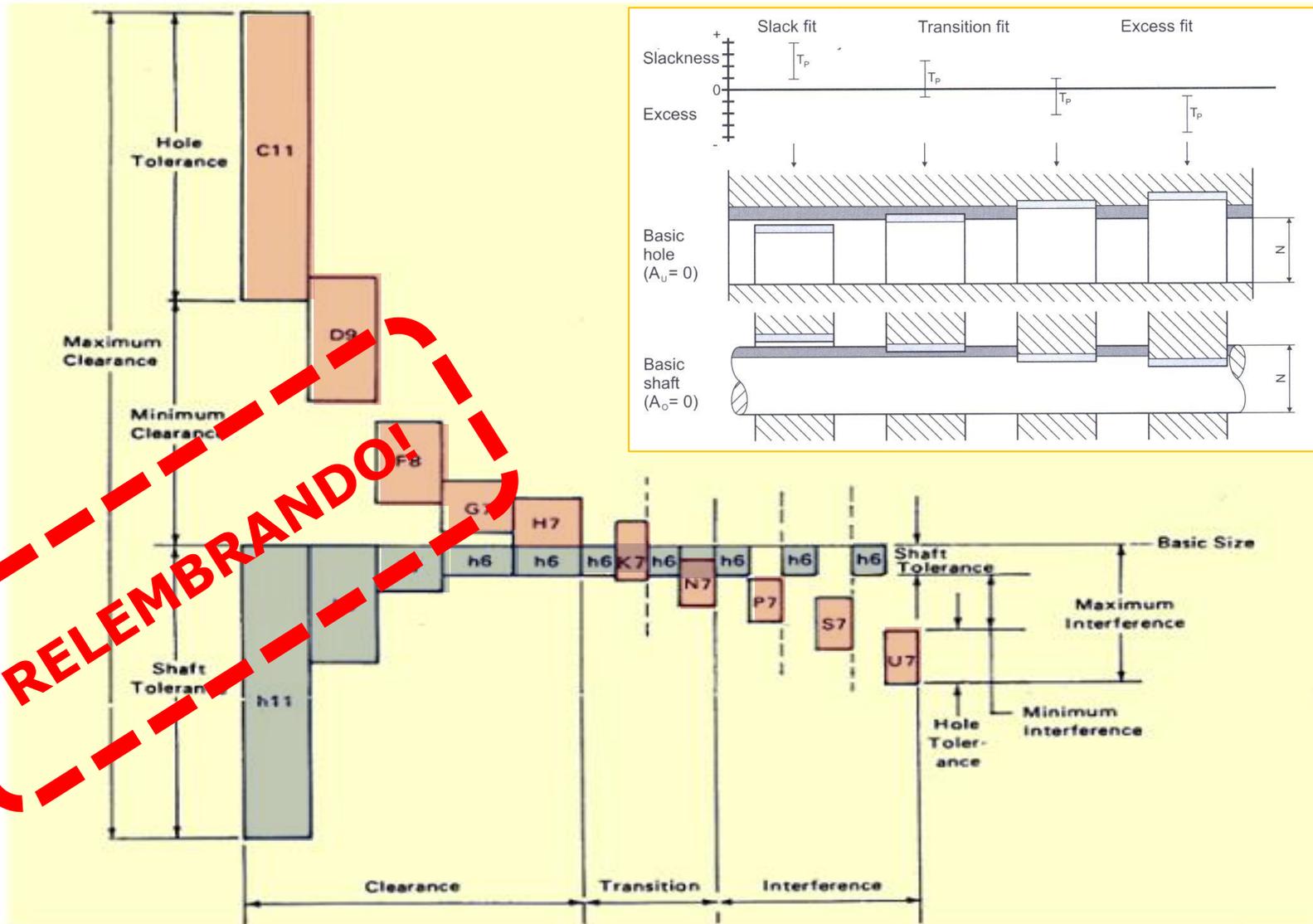


# Controle do processo e medição no planejamento do processo





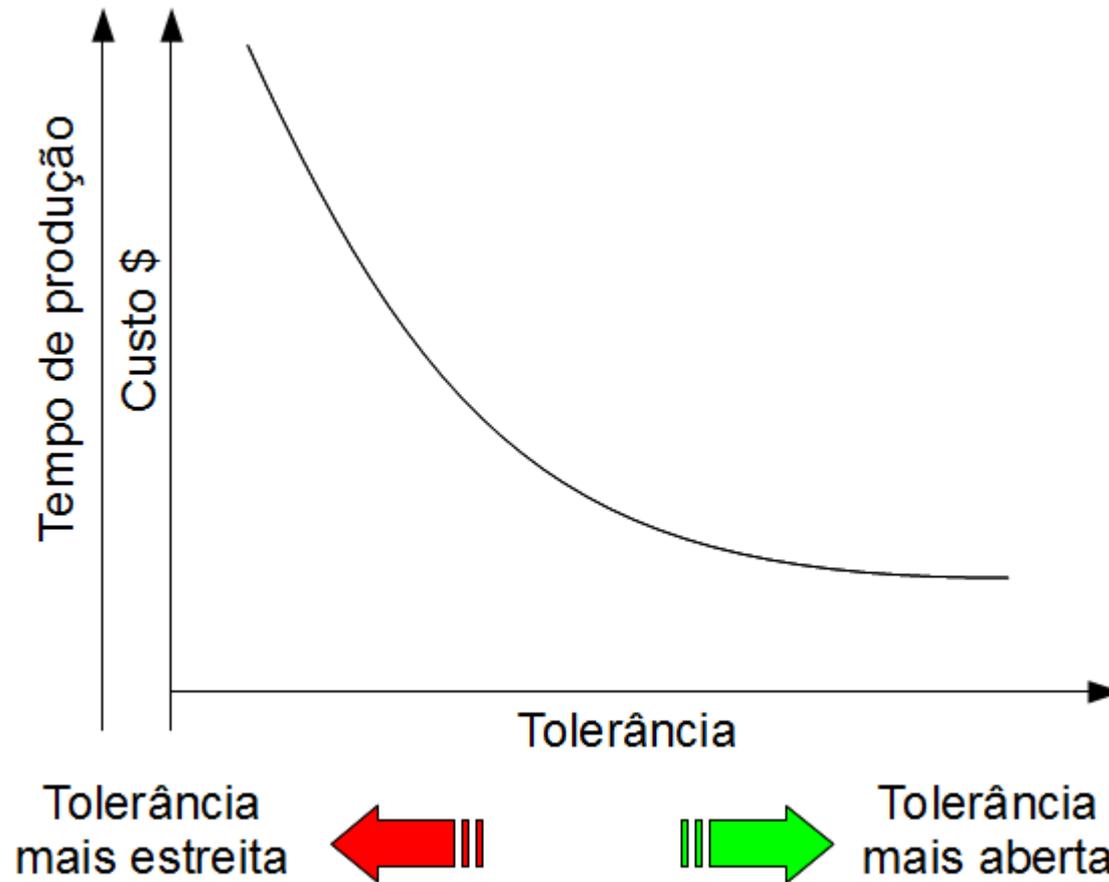
## Seleção de tolerâncias



**RELEMBRANDO!**

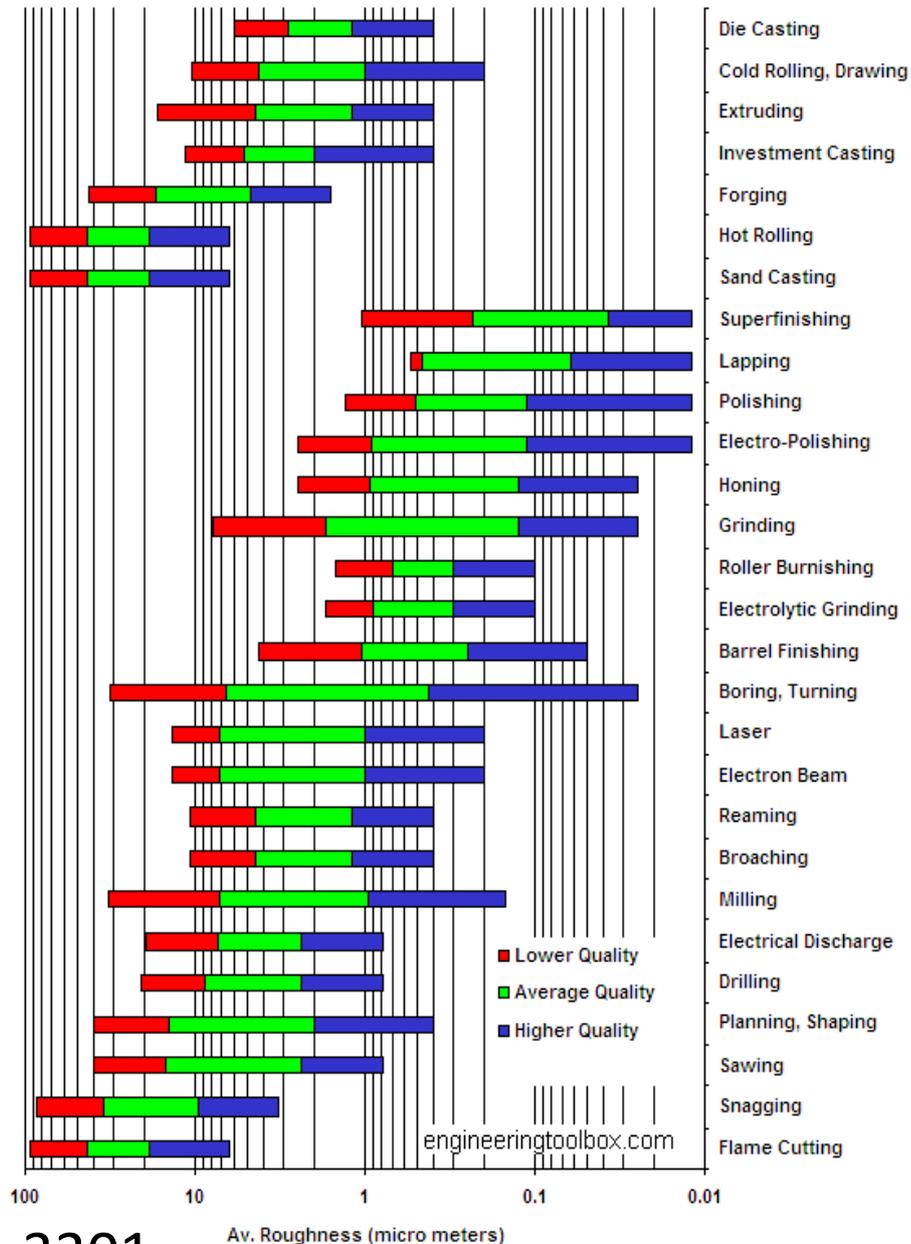


## Relação entre custo de fabricação e tolerâncias





# Seleção em função da textura superficial





## Otimização das condições de corte

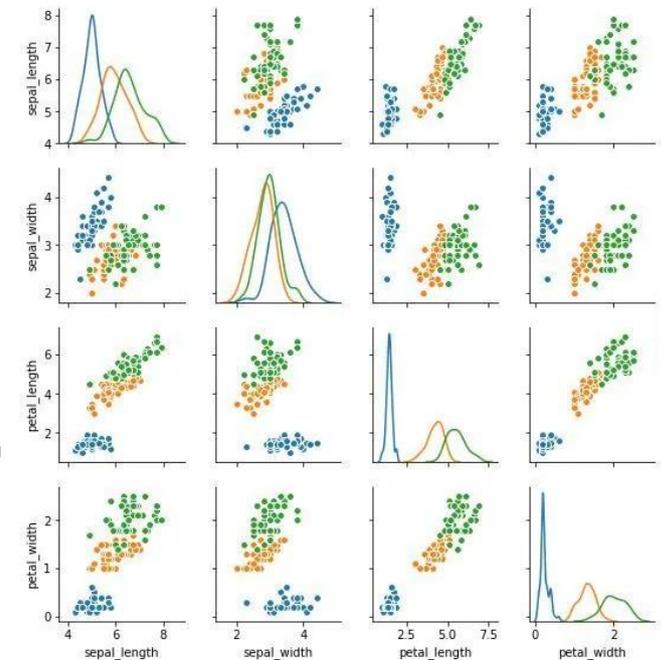
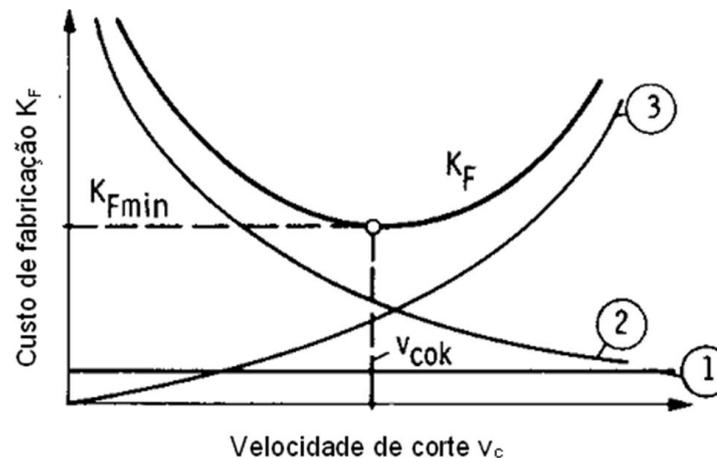
- **Definição:** Procedimento cujo objetivo é definir da melhor maneira possível, o valor mais adequado à operação em curso, em função de valores que podem ser pré-determinados ou conhecidos





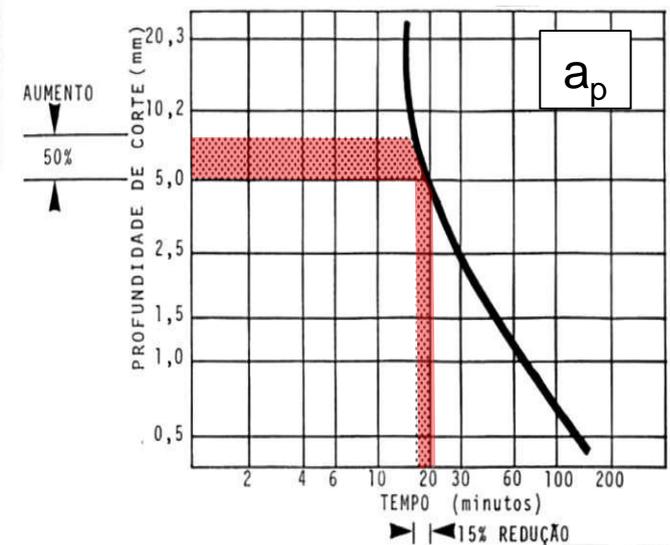
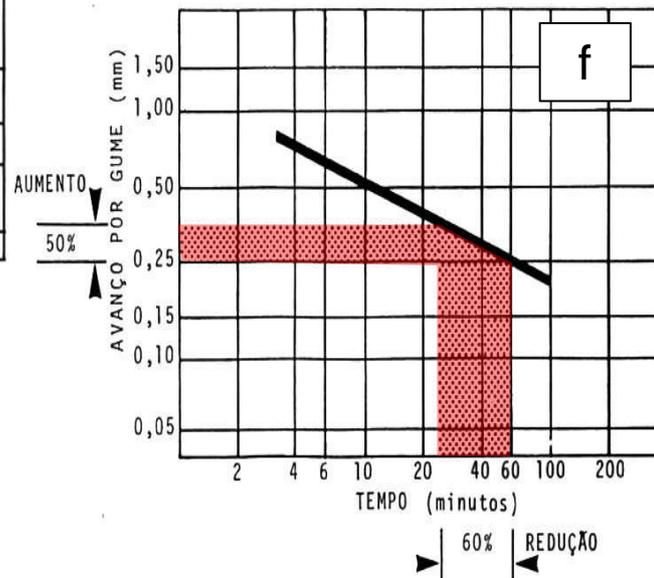
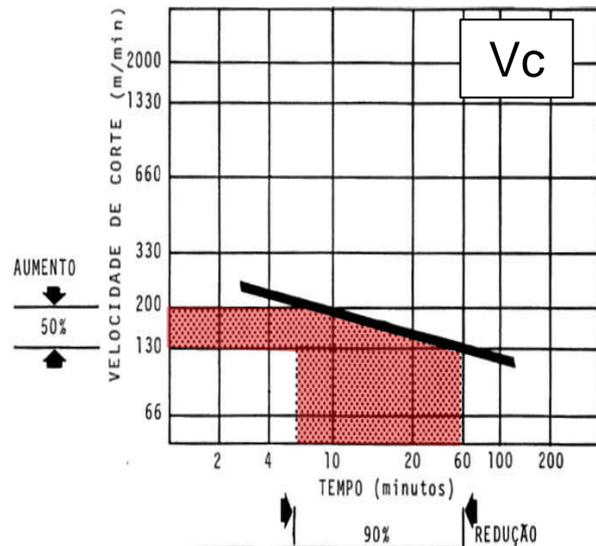
## Otimização das condições de corte

- **Otimização** exige conhecimento de leis de desgaste da ferramenta, de métodos de otimização, de formação de custo e de estatística





## Influência dos parâmetros de corte na Vida da Ferramenta





## Formação de custo



## Custos de fabricação

### Composição dos custos de usinagem

#### → Custos diretos

- ✓ Máquina-ferramenta
- ✓ Ferramentas
- ✓ Mão de obra

#### → Custos indiretos

- ✓ Impostos
- ✓ Amortizações
- ✓ outros





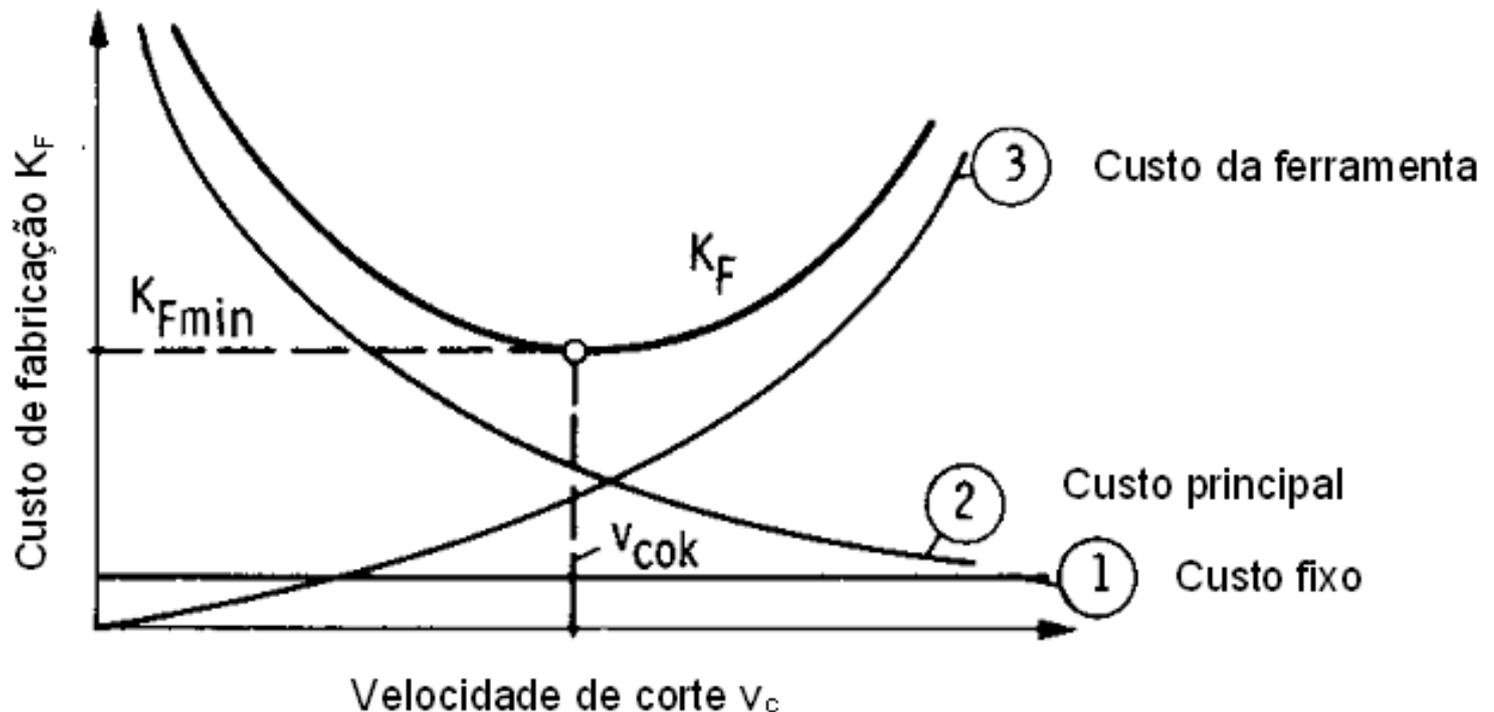
## **Consequências dos custos de salário / máquinas**

- Atualmente o custo de salário e máquinas é maior que o custo com ferramentas e trocas de ferramentas
- A tendência de menores custos ocorre para maiores velocidades de corte e menores vidas das ferramentas



## Custos de Fabricação

- **Custos de fabricação por peça ( $K_F$ ) - [\$/peça]**
  - 1 - Custos de preparação e secundários (custo fixo);
  - 2 - Custos de máquina e operador (principal);
  - 3 - Custos de ferramenta





## Custos da Fabricação

$$K_F = \underbrace{K_{ML} \left( \frac{t_r}{m} + t_n \right)}_1 + \underbrace{K_{ML} \cdot t_h}_2 + \underbrace{\frac{t_h}{T} \cdot (K_{ML} \cdot t_W + K_{WT})}_3$$

1                                      2                                      3

Custos secundários  
(custos fixos)                      Custos de máquina  
e operador  
(principal)                      Custos de ferramenta

- ✓  $K_F$  - custo de fabricação por peça [\$/peça]
- ✓  $K_{ML}$  - custo de máquina e operador por hora [\$/min]
- ✓  $K_{WT}$  - custo de ferramenta por vida [\$/]
- ✓  $t_r$  - tempo de preparação [min]
- ✓  $m$  - tamanho do lote



## Tempo de Fabricação por Peça

$$t_e = \underbrace{\frac{t_r}{m} + t_n}_{1} + \underbrace{t_h}_{2} + \underbrace{\frac{t_h}{T} \cdot t_w}_{3}$$

- 1** - tempo de preparação e secundário
- 2** - tempo principal
- 3** - tempo de troca de ferramenta

- ✓ **t<sub>r</sub>** - tempo de preparação [min]
- ✓ **m** - tamanho do lote
- ✓ **t<sub>n</sub>** - tempos secundários [min]
- ✓ **t<sub>h</sub>** - tempo principal [min]
- ✓ **t<sub>w</sub>** - tempo de troca da ferramenta [min]
- ✓ **T** - vida da ferramenta [min]



## Otimização do Custo de Fabricação por Peça

$$K_F = K_{ML} \left( \frac{t_r}{m} + t_n \right) + K_{ML} \cdot t_h + \frac{t_h}{T} \cdot (K_{ML} \cdot t_w + K_{WT})$$

$$t_h = \frac{d \cdot \pi \cdot l_f}{f \cdot v_c} \quad [\text{min}] \qquad t_h = \frac{V_z}{a_p \cdot f \cdot v_c} \quad [\text{min}]$$

$V_z$  = volume usinado por peça

➤ Equação do Custo de Fabricação por Peça:

$$K_F = K_{ML} \left( \frac{t_r}{m} + t_n \right) + \frac{K_{ML} \cdot V_z}{a_p \cdot f \cdot v_c} + \frac{V_z}{a_p \cdot f \cdot C_V \cdot v_c^{k+1}} \cdot (K_{ML} \cdot t_w + K_{WT})$$

➤ Equação do Tempo de Fabricação por Peça:

$$t_e = \frac{t_r}{m} + t_n + \frac{V_z}{a_p \cdot f \cdot v_c} + \frac{V_z}{a_p \cdot f \cdot C_V \cdot v_c^{k+1}} \cdot t_w$$



## Velocidade de corte ótima

- Para determinar a velocidade de corte de mínimo custo:

$$\frac{dK_F}{dv_c} = 0 \quad \Rightarrow \quad v_{cok} = \sqrt[k]{-(k+1) \cdot \frac{\left(t_w + \frac{K_{WT}}{K_{ML}}\right)}{C_V}}$$

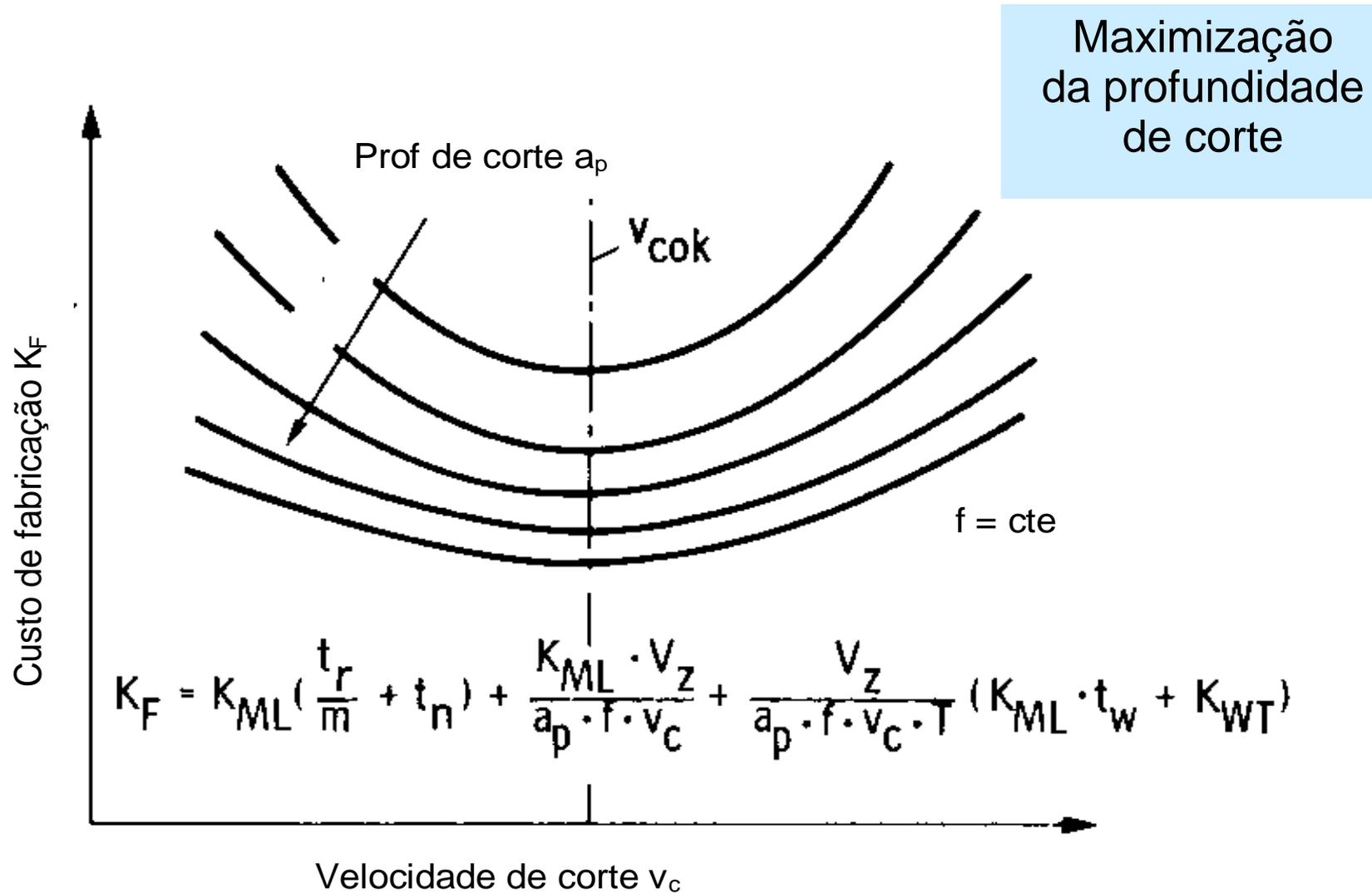
- Para determinar a velocidade de corte de mínimo tempo:

$$\frac{dt_e}{dv_c} = 0 \quad \Rightarrow \quad v_{coz} = \sqrt[k]{-(k+1) \cdot \frac{t_w}{C_V}}$$

**OBS:** O equacionamento da vida para ótimo custo e para ótimo tempo são idênticos

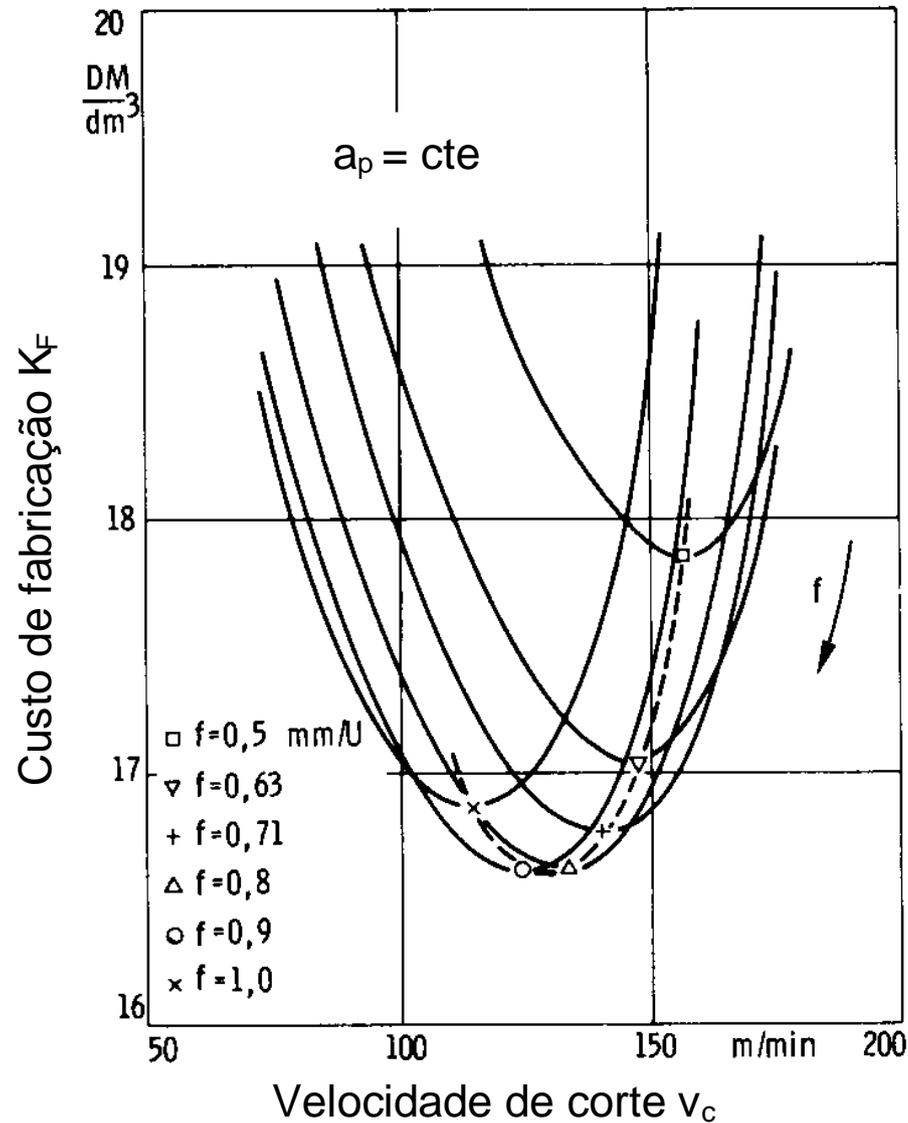


## Efeito da profundidade de corte





## Efeito do avanço



Maximização  
do avanço



## **Escolha dos parâmetros de usinagem**

**Na escolha dos parâmetros é indispensável observar:**

- Limites do conjunto ferramenta-peça-máquina;
- Potência da máquina-ferramenta;
- Tamanho do inserto (largura máxima de usinagem)
- Forças de corte



## Seleção dos Processos



## Regras Gerais Seleção dos Processos

Considerar os seguintes aspectos:

- Quantidade
- Complexidade do formato
- Natureza do material
- Tamanho da peça
- Espessuras de parede
- Exatidão dimensional
- Custo da matéria-prima, defeitos e taxa de refugo
- Processos anteriores e posteriores
- Custo máquina



## Complexidade do formato

Classificação quanto a complexidade

**Simples**



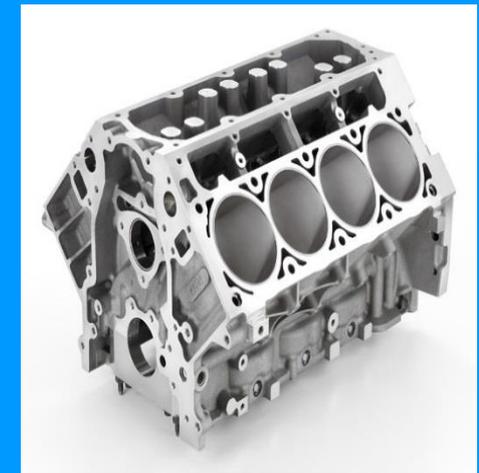
**Média**



**Complexas**



**Muito complexas**



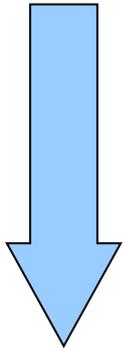


## Classificação dos processos por critério econômico

Grande quantidade (2000+)



1. Conformado a partir de sólido por deformação



2. A partir de líquido

3. Junção de peças

4. A partir de sólido por remoção de material.



5. Por montagem.

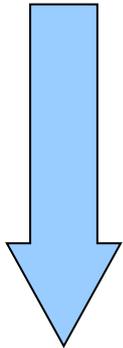


## Classificação dos processos por critério econômico

Pequena quantidade (até 150)



1. A partir de sólido por remoção



2. Junção de peças

3. A partir de sólido por deformação

4. Por montagem

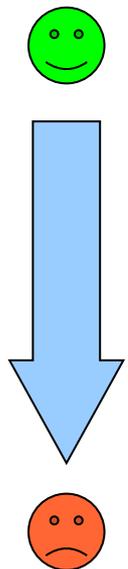


5. Por adição de material



## Seleção critério econômico X quantidade e complexidade

A: líquido; B: sólido por deformação; C: sólido por remoção; D: junção; E: montagem; F: adição de material



| Mono  |        | Aberto |       | Complexo |       | Muito Complexo |       |
|-------|--------|--------|-------|----------|-------|----------------|-------|
| < 150 | > 1000 | < 150  | >2000 | <50      | >1500 | < 100          | >1000 |
| D     | B      | C      | B     | C        | A     | E              | B     |
| E     | E      | D      | A     | D        | B     | D              | D     |
| B     | D      | B      | D     | B        | C     | C              | E     |
| C     | C      | E      | C     | E        | D     | A              | C     |
| A     | A      | F      | E     | F        | E     | B              | A     |
| ---   | ---    | A      | ---   | A        | ---   | F              | F     |



## Mapas de Seleção do processo



## ***Process Information Maps - PRIMAS***

- Formam uma base de conhecimento para a seleção do processo.
- PRIMAs apresentam o conhecimento e dados em áreas que incluem: adequação do material, considerações de projeto, aspectos de qualidade, econômicos, fundamentos de processo e variações de processo.



## ***Process Information Maps - PRIMAS***

Cada PRIMA é dividido em sete categorias

- 1. Descrição do processo:** fundamentos do processo
- 2. Materiais:** descrição dos materiais adequados aos processos dados
- 3. Variações do processo**
- 4. Considerações econômicas:** lista dos pontos importantes, incluindo taxa da produção, lote mínimo, custo de ferramental, custo de mão de obra, tempos mortos, entre outros pontos de importância



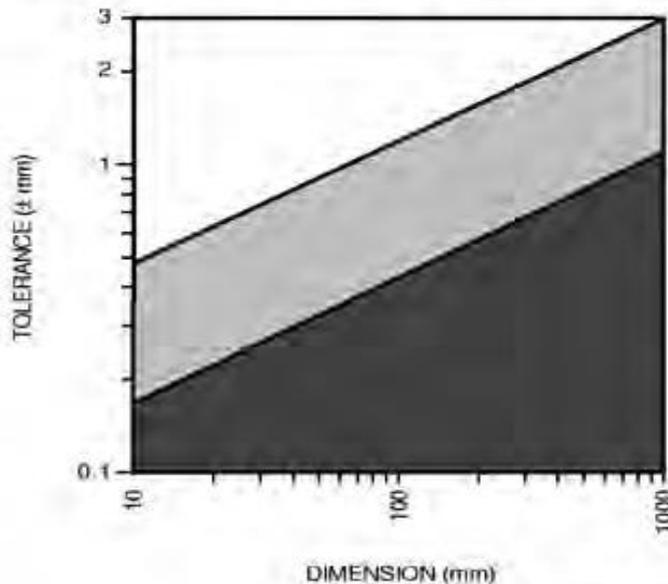
## ***Process Information Maps - PRIMAS***

5. **Aplicações típicas:** lista de componentes clássicos fabricados pelo processo
6. **Aspectos de projeto:** pontos de oportunidade, limitações que são relevantes, recomendações normalizadas, etc.
7. **Aspectos de qualidade:** informações padrão, capacidade do processo (quando relevante), acabamento superficial típico, etc.

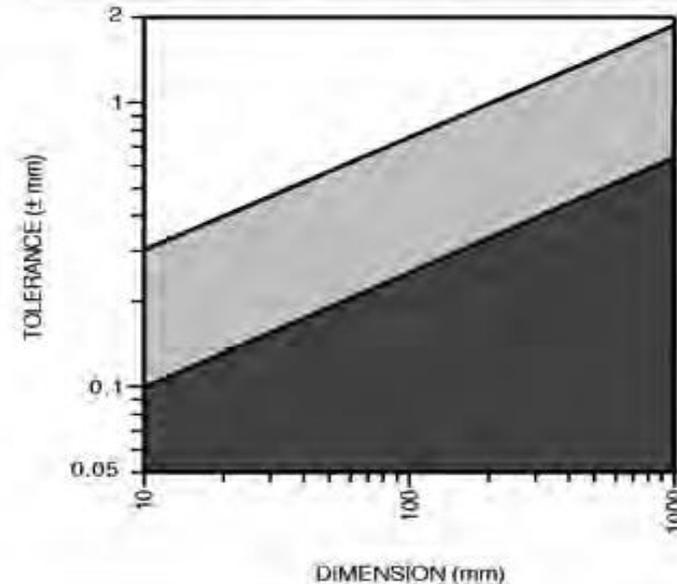


## Exemplo do mapa para fundição em casca

SHELL MOULDING PROCESS CAPABILITY CHART FOR STEEL, IRON AND COPPER ALLOYS



SHELL MOULDING PROCESS CAPABILITY CHART FOR ALUMINIUM AND MAGNESIUM ALLOYS



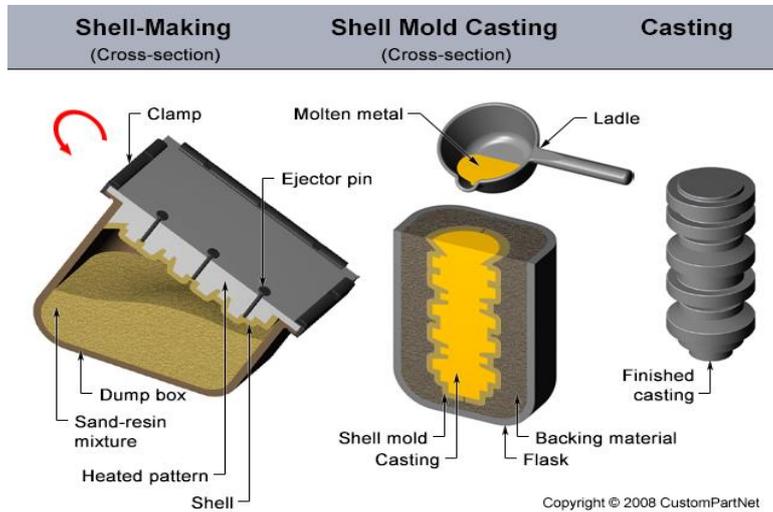
**KEY:**

-  Process does not normally operate within this region
-  Represents the normal working capability of the process
-  Dimensional tolerances cannot be achieved capably and increase difficulty/cost substantially Consider another or secondary process

Swift, K., G.; Booker, J. D.; Process Selection from Design to Manufacturing, 2<sup>nd</sup> Ed. 2003



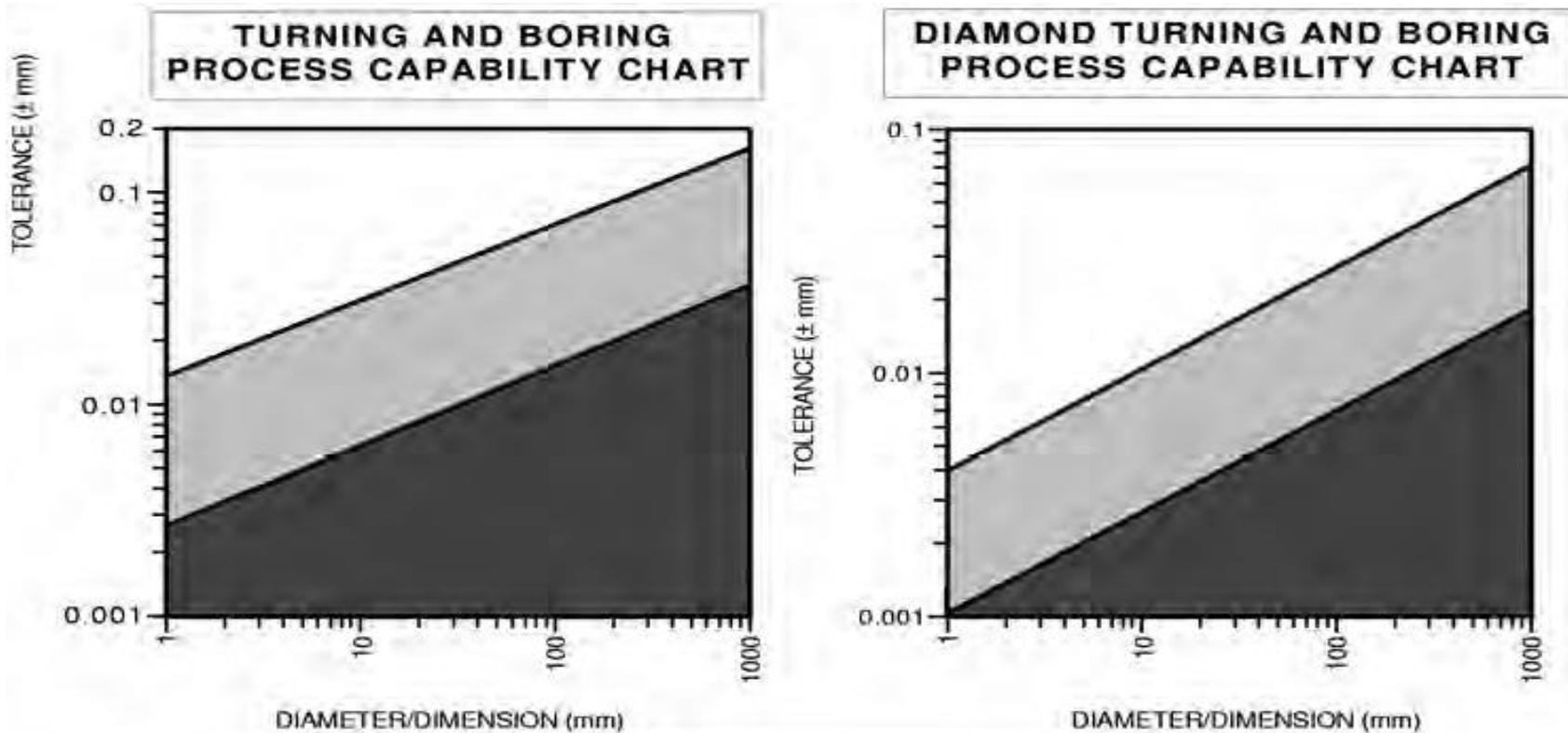
## Fundição em casca



RELEMBRANDO!



## Exemplo do mapa para torneamento



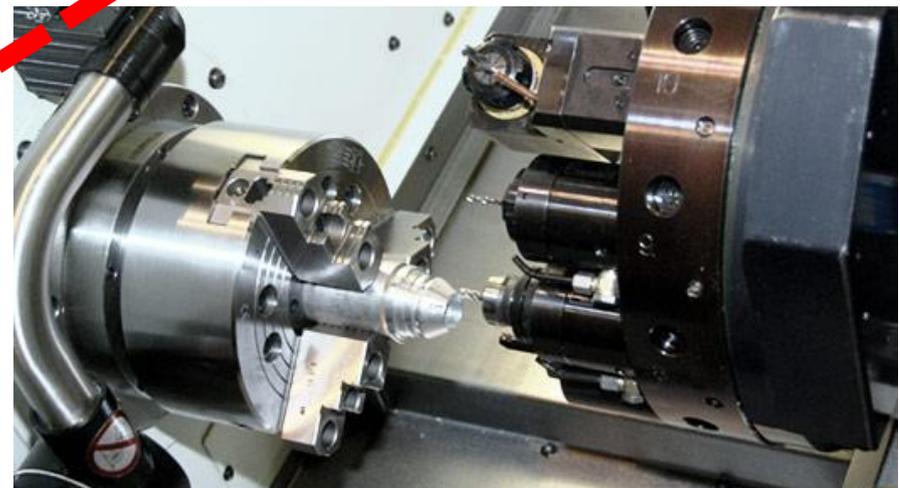
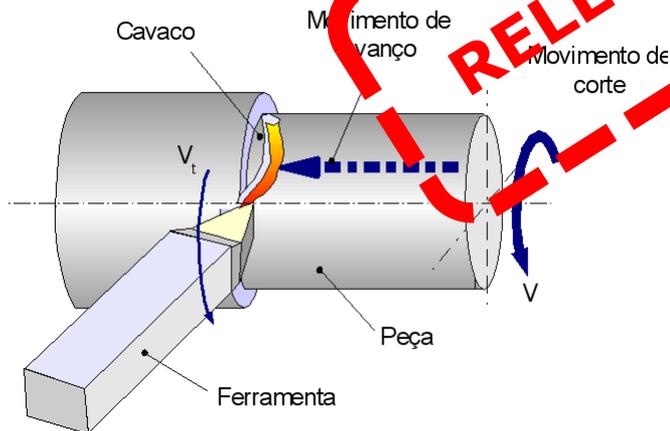
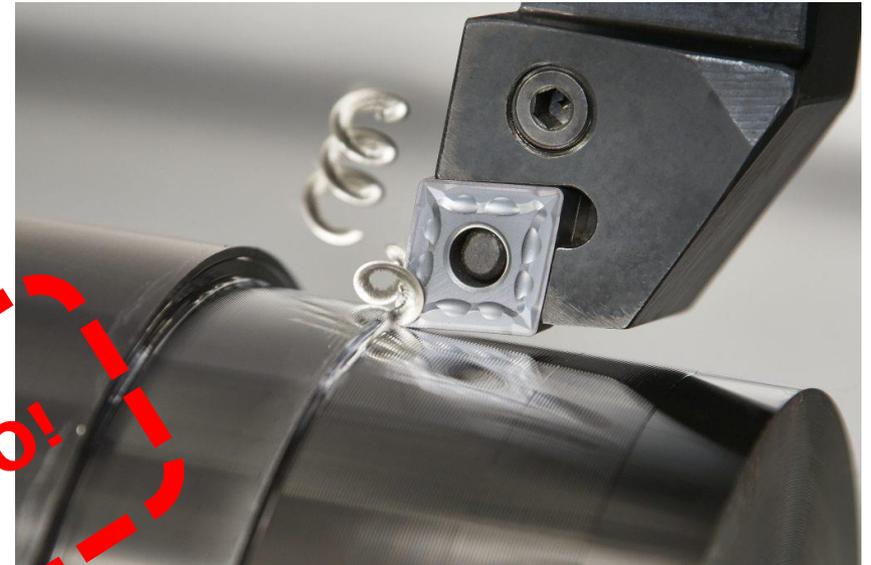
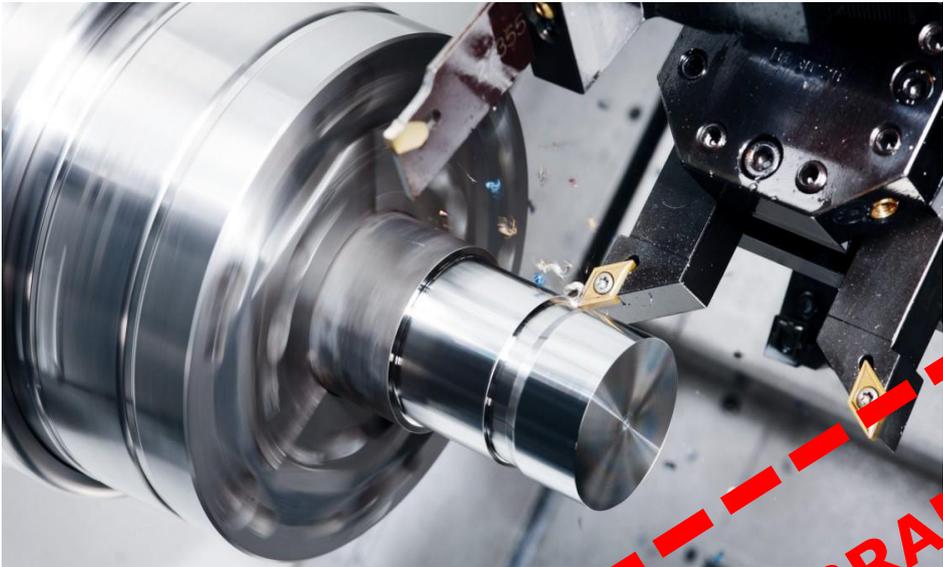
Swift, K., G.; Booker, J. D.;  
Process Selection from Design  
to Manufacturing, 2<sup>nd</sup> Ed. 2003

**KEY:**

-  Process does not normally operate within this region
-  Represents the normal working capability of the process
-  Dimensional tolerances cannot be achieved capably and increase difficulty/cost substantially. Consider another or secondary process

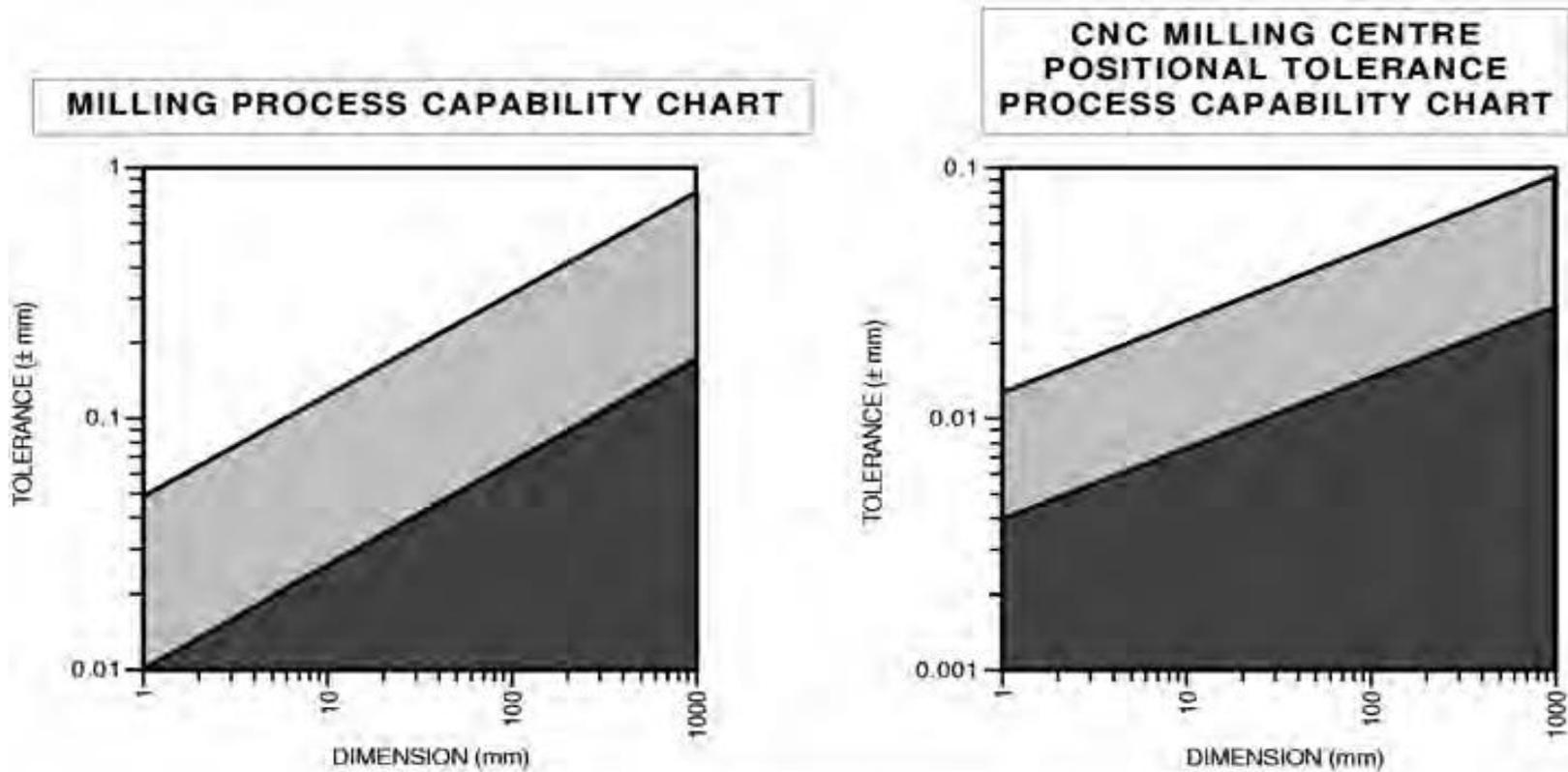


## Exemplos de Torneamento

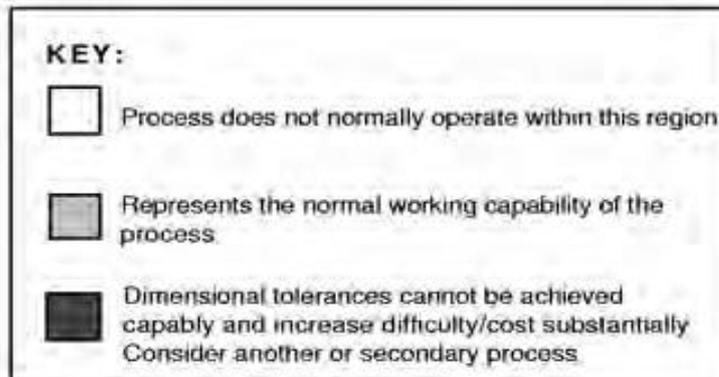




## Exemplo do mapa para fresamento



Swift, K., G.; Booker, J. D.;  
Process Selection from Design  
to Manufacturing, 2<sup>nd</sup> Ed. 2003





## Exemplos de fresamento





## **Seleção Detalhada do Método de Produção**



**Seleção** – O Planejamento do Processo é uma sequência lógica de tomada de decisões cujo o objetivo é essencialmente econômico.

**Parâmetros a considerar:**

- Geometria da peça
- Matéria prima
- Exatidão dimensional
- Qualidade superficial (textura inclusive)
- Tolerâncias geométricas
- Tratamentos superficiais
- Volume de produção



## **Restrições:**

- Especificação da peça
- Resistência da peça
- Propriedades mecânicas do material
- Máquinas disponíveis
- Ferramentas disponíveis
- Dispositivos e ferramental disponível
- Tecnologias disponíveis

## **Critérios de otimização:**

- Máxima produção
- Mínimo custo
- Máximo lucro em um período de tempo pré-estabelecido



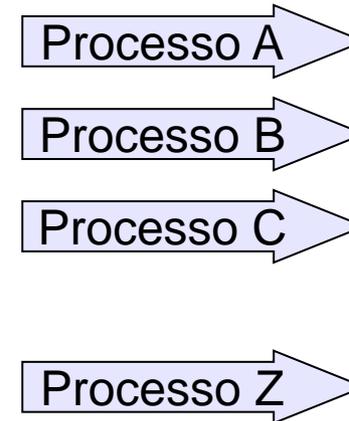
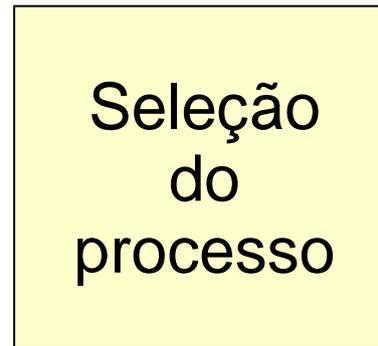
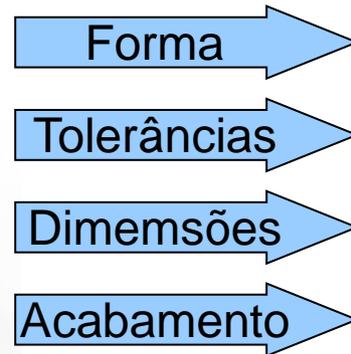
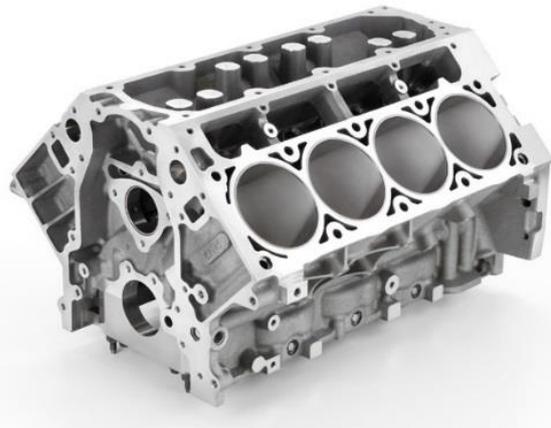
## Decisões:

- Selecionar tipo processo de fabricação-remoção do material
- Selecionar máquina (máquina-ferramenta)
- Selecionar sistema de fixação e sua localização
- Selecionar ferramental e sua localização
- Definir detalhes operacionais
- Caminho para cada operação
- Parâmetros de fabricação (usinagem)

A escolha de uma sequência errada de decisões pode resultar em restrições artificiais, que podem ser eliminadas com a escolha de uma diferente

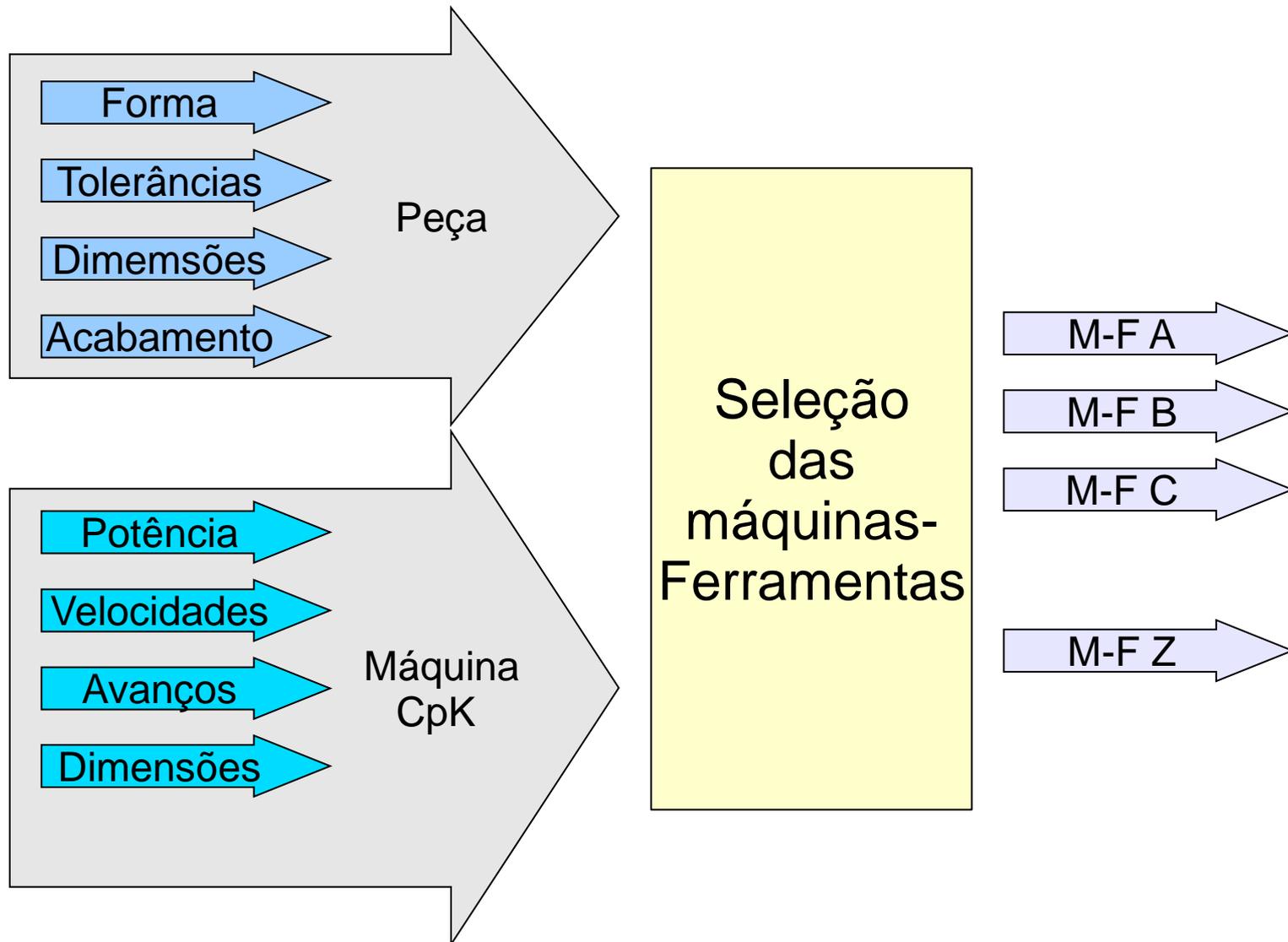


## Seleção do processo de fabricação-remoção do material





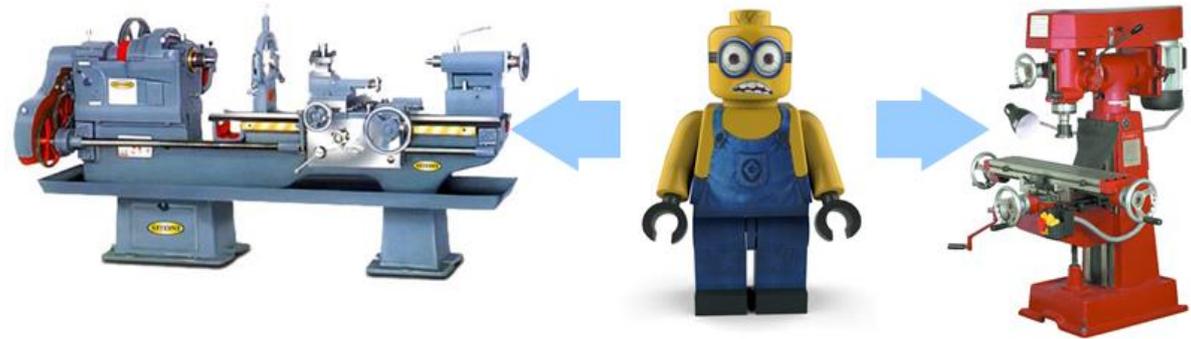
## Seleção das máquinas-ferramentas





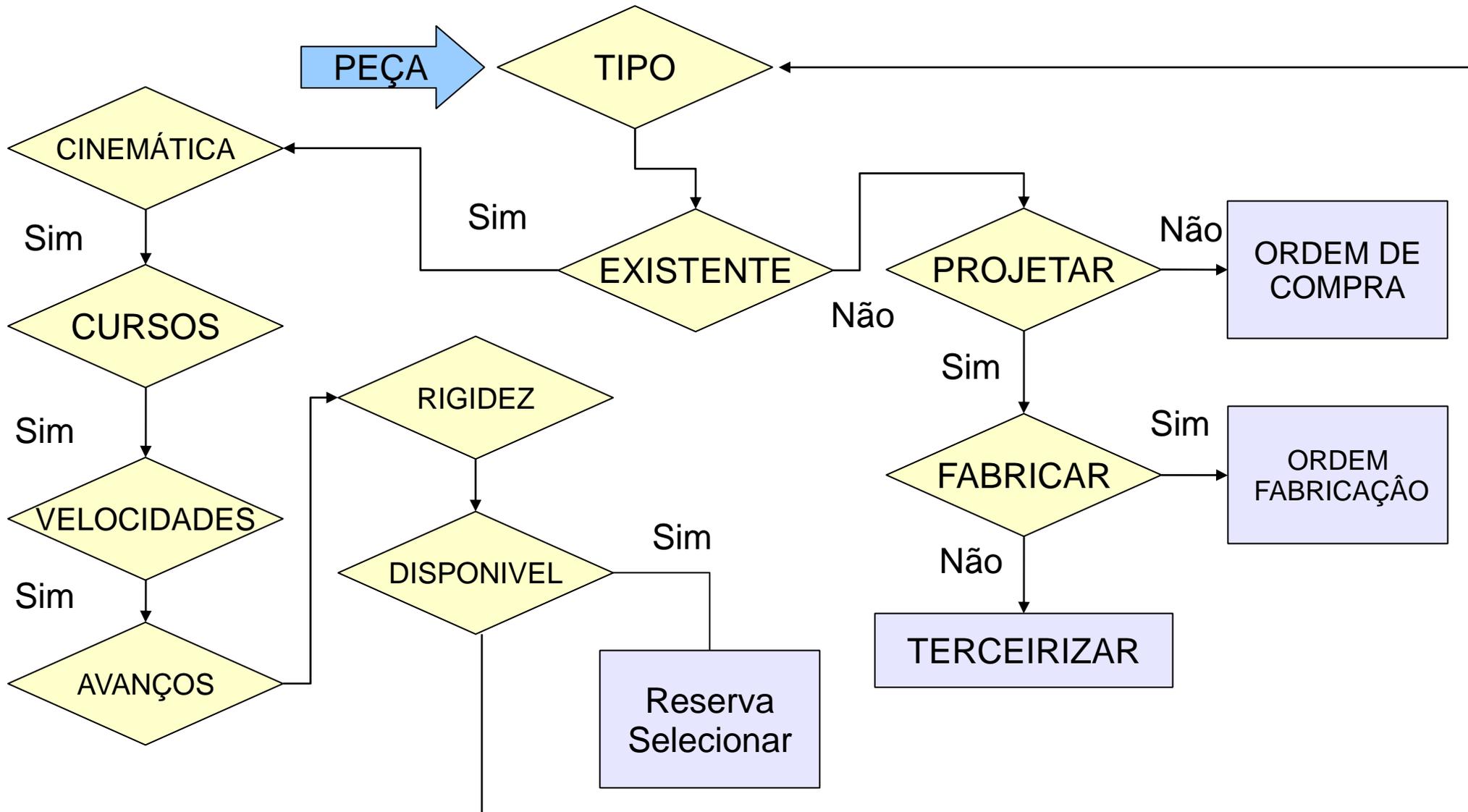
## Seleção das máquinas-ferramentas

- Relações geométricas (Ex;.: L/D)
- Geometria
- Material da peça
- Tamanho do lote
- Prazo do lote
- Grau de complexidade
- Grau de desbalanceamento
- Quantidade de operações
- Quantidade de ferramentas necessárias
- Dispositivos e acessórios disponíveis



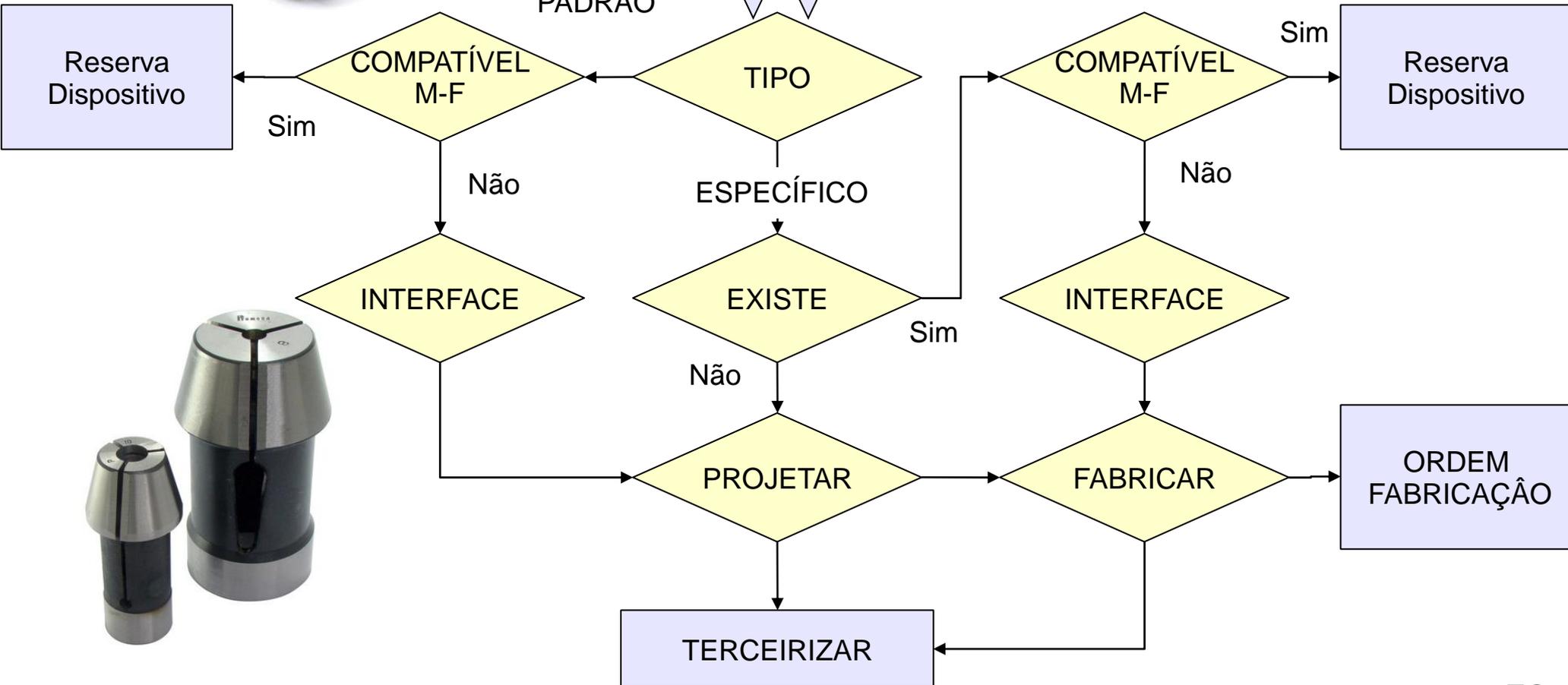
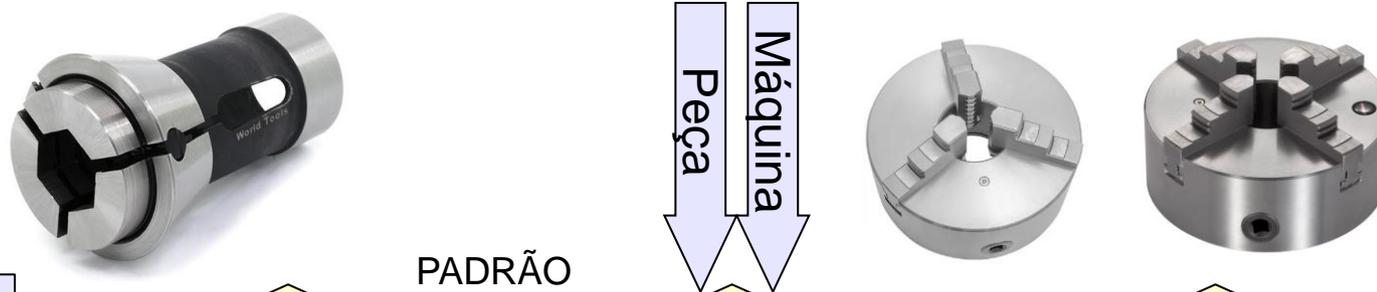


## Seleção das máquinas-ferramentas



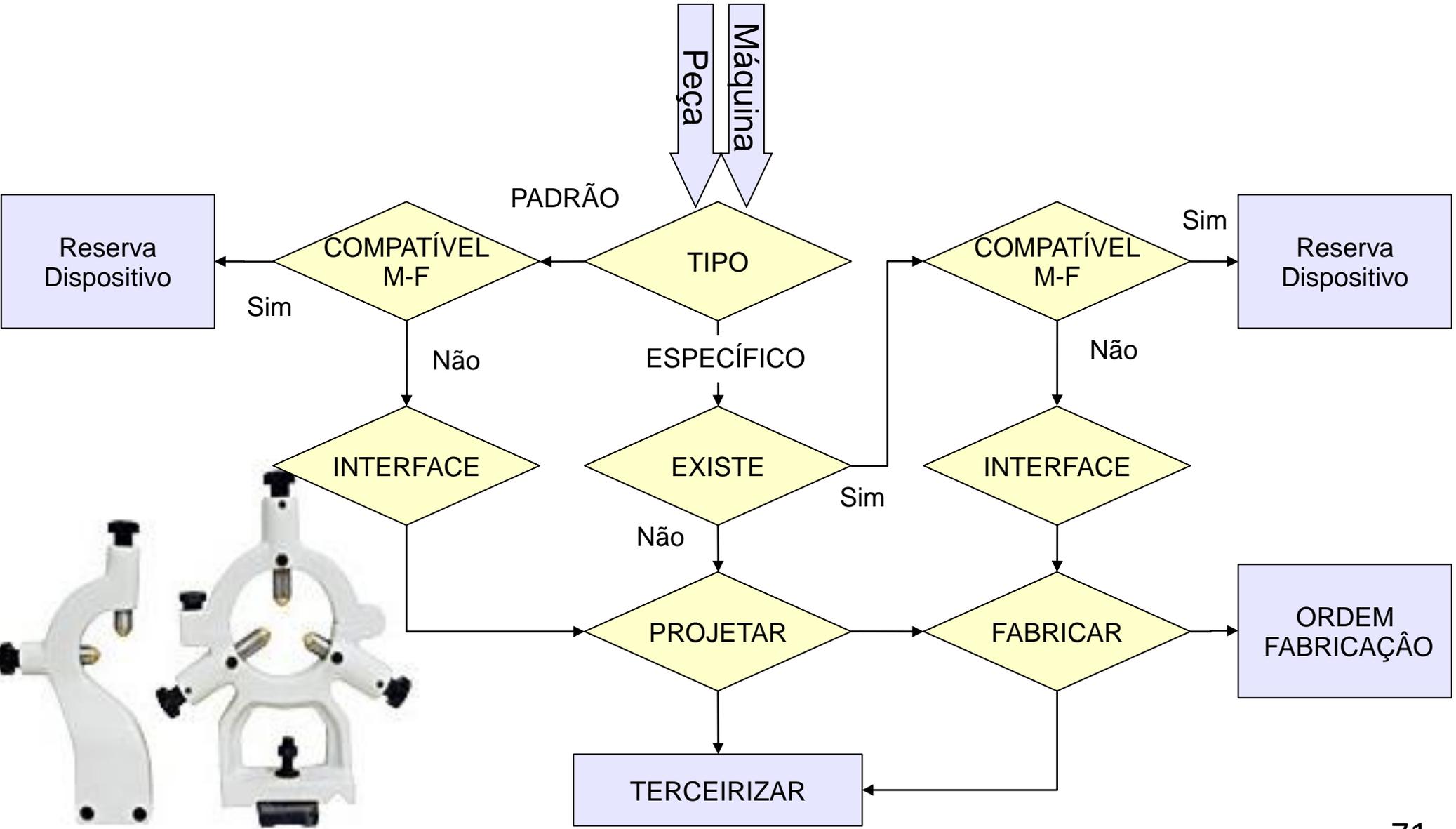


## Seleção do sistema de fixação





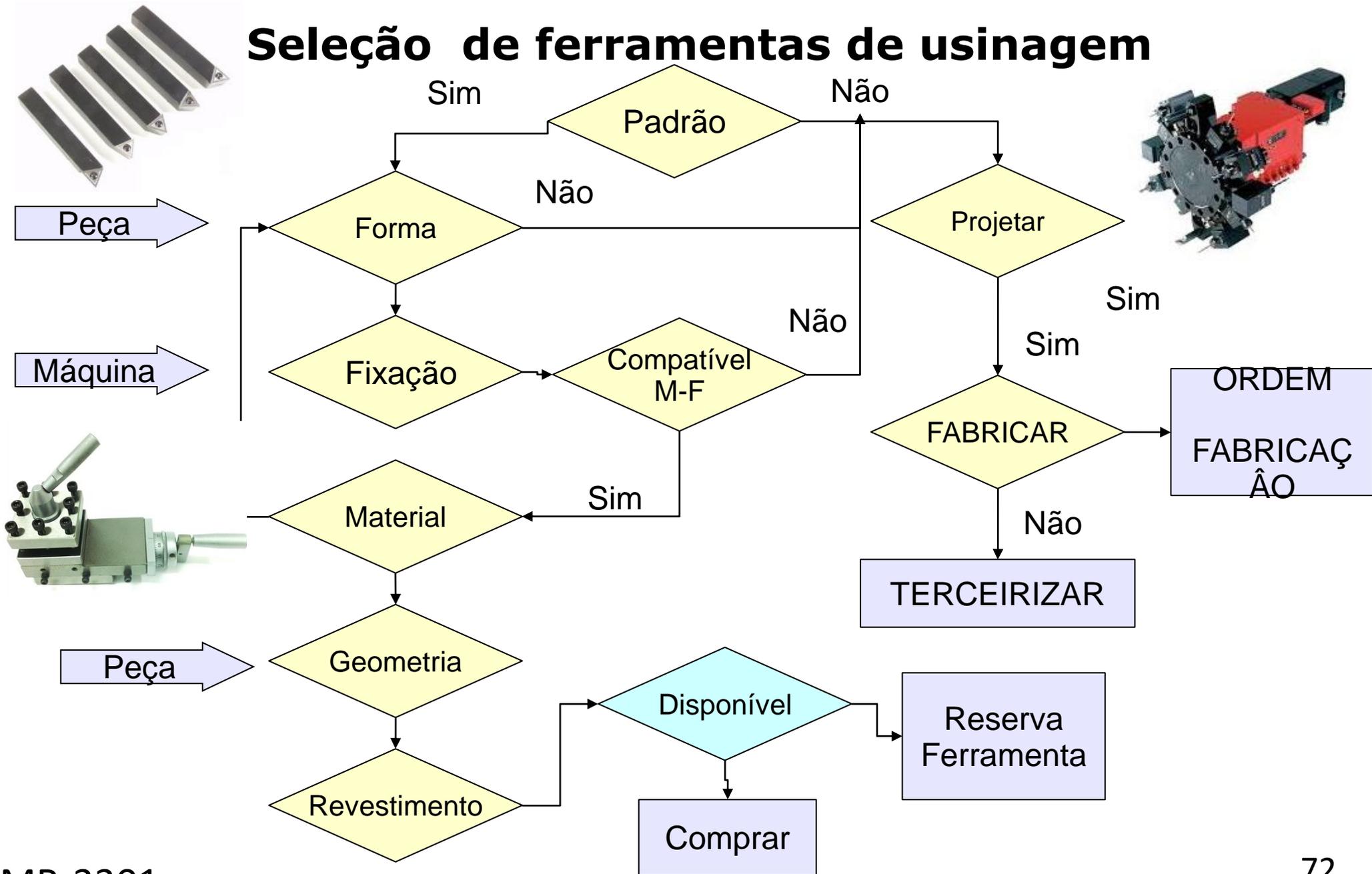
## Seleção do ferramental



PMR-3301



## Seleção de ferramentas de usinagem





## Seleção dos parâmetros de usinagem

$V_c = f$  ( material peça, material da ferramenta, operação (desbaste-acabamento), processo (torneamento, fresamento ...))

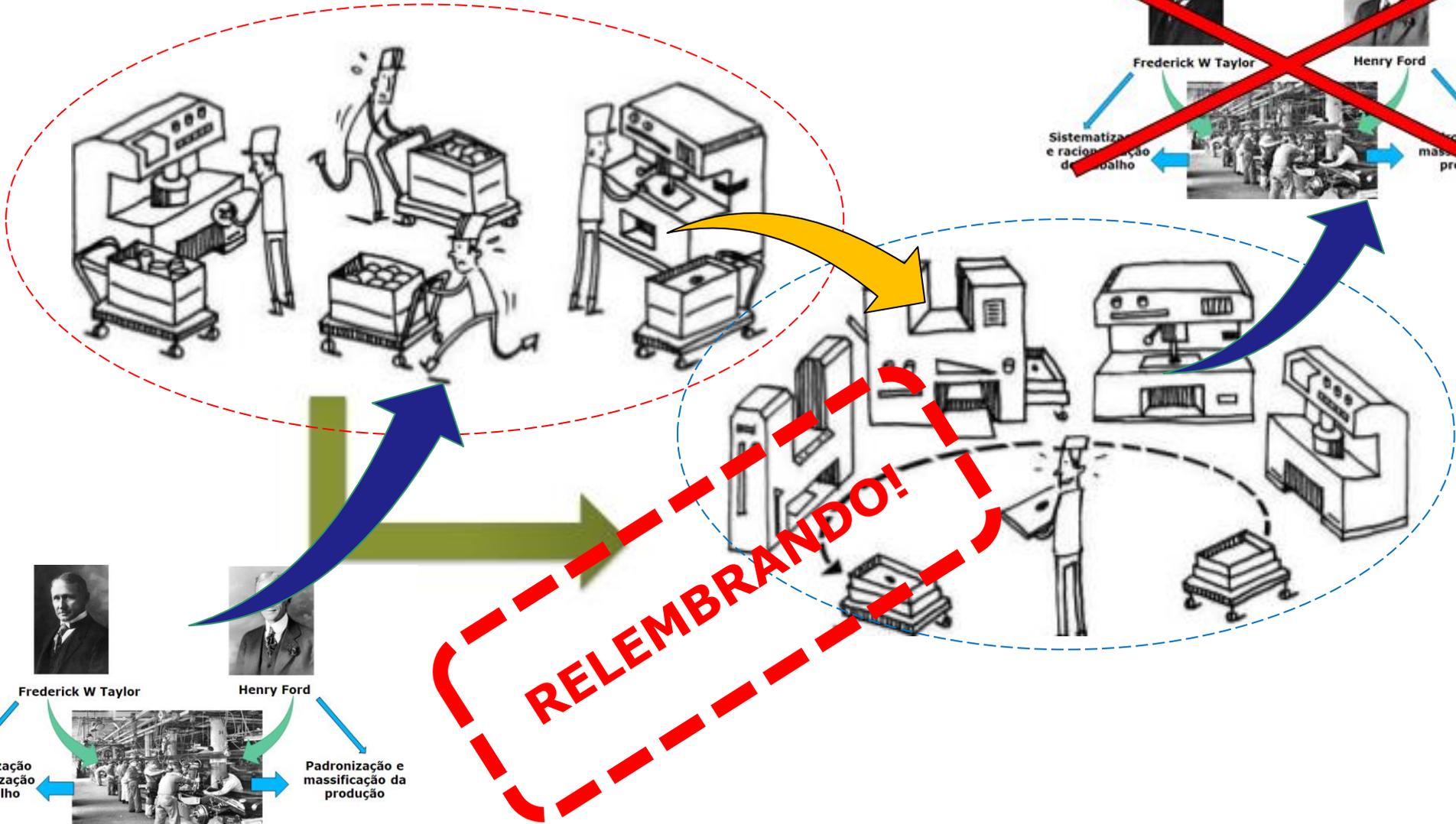
| Material group | Material designation         | Strength<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $v_c$<br>[m/min] |       |      | $f$<br>[mm/rev.] |       |      | $a_p$<br>[mm] |       |      | Recommendation WSP |              |      |              | Cooling lubricant |      |         |    |         |     |          |
|----------------|------------------------------|----------------------------------|------------------|-------|------|------------------|-------|------|---------------|-------|------|--------------------|--------------|------|--------------|-------------------|------|---------|----|---------|-----|----------|
|                |                              |                                  |                  |       |      |                  |       |      |               |       |      | 0°                 |              | 7°   |              |                   |      |         |    |         |     |          |
|                |                              |                                  | Min.             | Start | Max. | Min.             | Start | Max. | Min.          | Start | Max. | Type               | Chip breaker | Type | Chip breaker |                   |      |         |    |         |     |          |
| 13.0           | Stainless steel, sulphured   | < 700                            | 180              | –     | 220  | –                | 260   | 0.10 | –             | 0.20  | –    | 0.30               | 1.50         | –    | 2.20         | –                 | 3.00 | HB 7120 | VS |         |     | dry      |
|                |                              |                                  | 140              | –     | 180  | –                | 220   | 0.15 | –             | 0.25  | –    | 0.30               | 1.50         | –    | 2.20         | –                 | 3.00 | HB 7135 | VS | HB 7135 | VM  | dry      |
| 13.1           | Stainless steel, austenitic  | < 700                            | 180              | –     | 220  | –                | 260   | 0.10 | –             | 0.20  | –    | 0.30               | 1.50         | –    | 2.20         | –                 | 3.00 | HB 7120 | VS |         |     | dry      |
|                |                              |                                  | 140              | –     | 180  | –                | 220   | 0.15 | –             | 0.25  | –    | 0.30               | 1.50         | –    | 2.20         | –                 | 3.00 | HB 7135 | VS | HB 7135 | VM  | dry      |
| 13.2           | Stainless steel, austenitic  | < 850                            | 140              | –     | 180  | –                | 220   | 0.10 | –             | 0.20  | –    | 0.30               | 1.20         | –    | 1.80         | –                 | 3.00 | HB 7120 | VS |         |     | Emulsion |
|                |                              |                                  | 120              | –     | 150  | –                | 200   | 0.15 | –             | 0.25  | –    | 0.30               | 1.50         | –    | 2.20         | –                 | 3.00 | HB 7135 | VS | HB 7135 | VM  | Emulsion |
| 13.3           | Stainless steel, martensitic | < 1100                           | 140              | –     | 180  | –                | 220   | 0.10 | –             | 0.20  | –    | 0.30               | 1.20         | –    | 1.80         | –                 | 3.00 | HB 7120 | VS |         |     | Emulsion |
|                |                              |                                  | 120              | –     | 150  | –                | 200   | 0.15 | –             | 0.25  | –    | 0.30               | 1.50         | –    | 2.20         | –                 | 3.00 | HB 7135 | VS | HB 7135 | VM  | Emulsion |
| 14.0           | Special alloys               | < 1200                           | 30               | –     | 50   | –                | 80    | 0.10 | –             | 0.20  | –    | 0.30               | 0.70         | –    | 1.50         | –                 | 2.00 | HB 7120 | VS | HB 7135 | VM  | Emulsion |
|                |                              |                                  | 20               | –     | 30   | –                | 40    | 0.15 | –             | 0.18  | –    | 0.22               | 1.50         | –    | 2.00         | –                 | 2.50 |         |    | HU 70AL | ALX | Emulsion |
| 15.0           | Cast iron (GG)               | < 180 HB                         | 200              | –     | 250  | –                | 320   | 0.12 | –             | 0.20  | –    | 0.30               | 0.50         | –    | 1.50         | –                 | 2.20 | CU 7033 | SS | CU 7033 | SS  | dry      |
|                |                              |                                  | 300              | –     | 400  | –                | 700   | 0.05 | –             | 0.15  | –    | 0.30               | 0.05         | –    | 0.15         | –                 | 0.50 | CBN 725 | G  |         |     | dry      |
| 15.1           | Cast iron (GG)               | > 180 HB                         | 170              | –     | 200  | –                | 280   | 0.12 | –             | 0.20  | –    | 0.30               | 0.50         | –    | 1.50         | –                 | 2.20 | CU 7033 | SS | CU 7033 | SS  | dry      |
|                |                              |                                  | 300              | –     | 400  | –                | 700   | 0.05 | –             | 0.15  | –    | 0.30               | 0.05         | –    | 0.15         | –                 | 0.50 | CBN 725 | G  |         |     | dry      |
| 15.2           | Cast iron (GGG, GT)          | > 180 HB                         | 170              | –     | 200  | –                | 280   | 0.12 | –             | 0.20  | –    | 0.30               | 0.50         | –    | 1.50         | –                 | 2.20 | CU 7033 | SS | CU 7033 | SS  | dry      |
|                |                              |                                  | 300              | –     | 400  | –                | 700   | 0.05 | –             | 0.15  | –    | 0.30               | 0.05         | –    | 0.15         | –                 | 0.50 | CBN 725 | G  |         |     | dry      |
| 15.3           | Cast iron (GGG, GT)          | > 260 HB                         | 150              | –     | 180  | –                | 250   | 0.12 | –             | 0.20  | –    | 0.30               | 0.50         | –    | 1.50         | –                 | 2.20 | CU 7033 | SS | CU 7033 | SS  | dry      |
|                |                              |                                  | 300              | –     | 400  | –                | 700   | 0.05 | –             | 0.15  | –    | 0.30               | 0.05         | –    | 0.15         | –                 | 0.50 | CBN 725 | G  |         |     | dry      |
| 16.0           | Titanium, titanium alloys    | < 850                            | 30               | –     | 50   | –                | 80    | 0.10 | –             | 0.20  | –    | 0.30               | 0.70         | –    | 1.50         | –                 | 2.00 | HB 7120 | VS | HB 7135 | VM  | Emulsion |
|                |                              |                                  | 20               | –     | 30   | –                | 40    | 0.15 | –             | 0.18  | –    | 0.22               | 1.50         | –    | 2.00         | –                 | 2.50 |         |    | HU 70AL | ALX | Emulsion |
| 16.1           | Titanium, titanium alloys    | 850 – 1200                       | 30               | –     | 50   | –                | 80    | 0.10 | –             | 0.20  | –    | 0.30               | 0.70         | –    | 1.50         | –                 | 2.00 | HB 7120 | VS | HB 7135 | VM  | Emulsion |
|                |                              |                                  | 20               | –     | 30   | –                | 40    | 0.15 | –             | 0.18  | –    | 0.22               | 1.50         | –    | 2.00         | –                 | 2.50 |         |    | HU 70AL | ALX | Emulsion |





# Automatização da usinagem

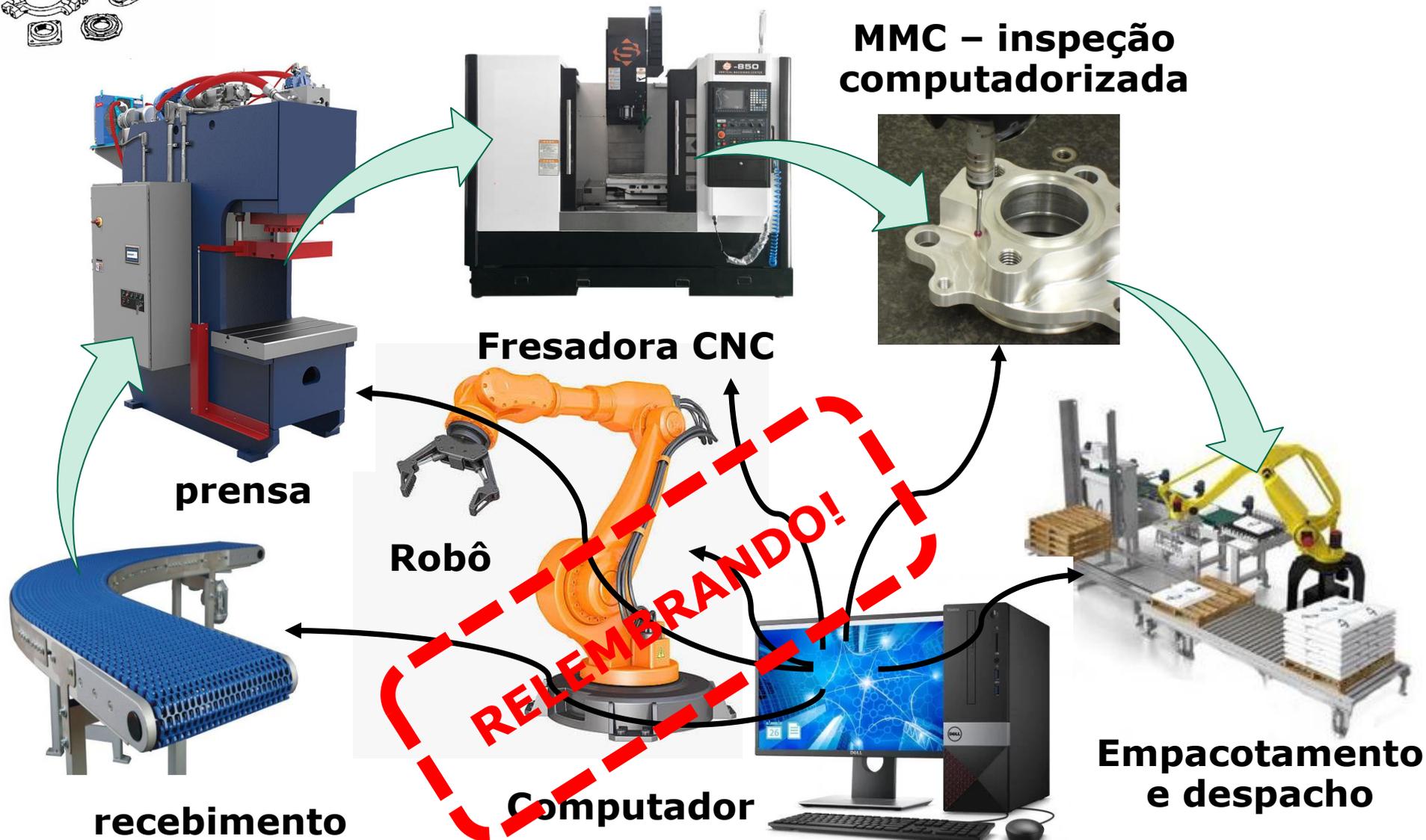
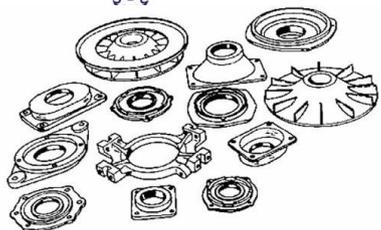
## Células de manufatura



**RELEMBRANDO!**



## Automatização da usinagem Célula de manufatura



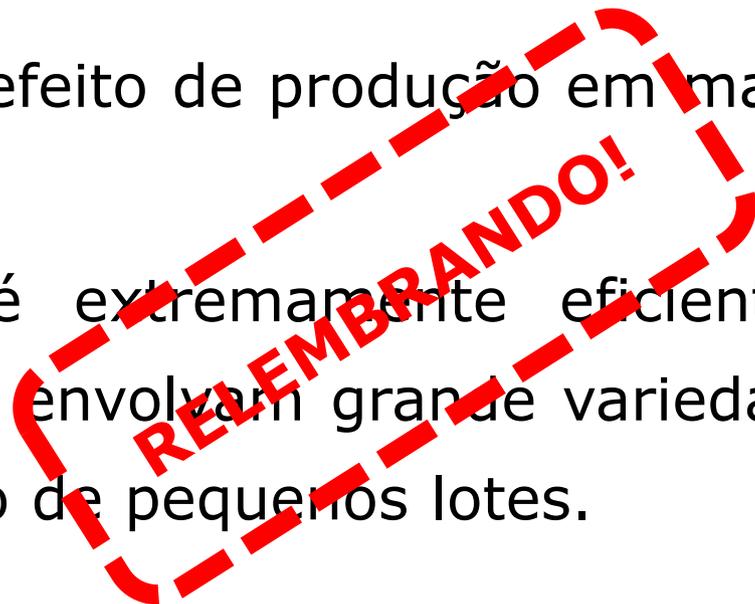


## Tecnologia de Grupo

Técnica e filosofia de aumento da eficiência da produção através do agrupamento de peças variadas. O agrupamento pode ser feito por semelhanças de forma, dimensões ou rota de processo, ou qualquer combinação destas.

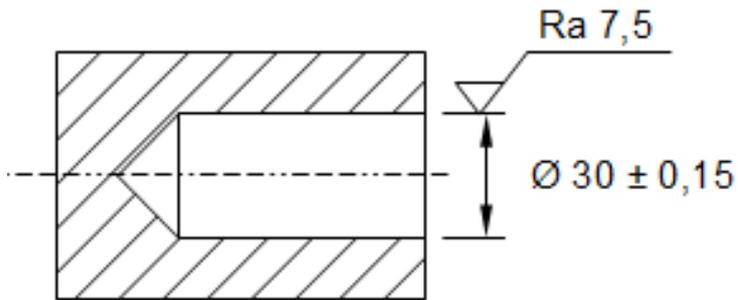
Proporciona o efeito de produção em massa em pequenos e médios lotes.

Esta técnica é extremamente eficiente em processos produtivos que envolvam grande variedade de produtos e ou na produção de pequenos lotes.





## Exemplo de planejamento



| !            | 2            | 3            | 4            | 5           | 6            |
|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
|              | Broca Ø 28   | Broca Ø 20   | Broca Ø 15   | Broca Ø 10  | Broca Ø 5    |
| Broca Ø 30   |              |              |              |             |              |
|              | Broca Ø 30   | Broca Ø 30   | Broca Ø 30   | Broca Ø 30  | Broca Ø 30   |
| Tmf. = 0,38s | Tmf. = 0,44s | Tmf. = 0,76s | Tmf. = 0,81s | Tmf. = 0,78 | Tmf. = 0,81  |
| 7            | 8            | 9            | 10           | 11          | 12           |
| Broca Ø 8    | Broca Ø 8    | Broca Ø 10   | Broca Ø 10   | Broca Ø 10  | Broca Ø 5    |
| Broca Ø 28   | Broca Ø 18   | Broca Ø 20   | Broca Ø 28   | Broca Ø 20  | Broca Ø 13   |
| Broca Ø 30   | Broca Ø 30   | Broca Ø 30   | Alarg Ø 30   | Broca Ø 28  | Broca Ø 22   |
|              |              |              |              | Alarg Ø 30  | Broca Ø 30   |
| Tmf. = 0,86s | Tmf. = 0,77s | Tmf. = 1,04s | Tmf. = 1,07  | Tmf. = 1,13 | Tmf. = 1,29s |



**- Abordagem Variante -**



## **Sistemas CAPP Variantes**

### ***(Retrieval CAPP systems, Variant CAPP)***

– Os sistemas Variantes assemelham-se ao processo de tradicional de planejamento de processo, realizado manualmente. Neste um processo para uma peça nova é criado a partir da identificação de um processo existente já existente para uma semelhante, seguindo-se as modificações e adaptações necessárias.



## Sistemas CAPP Variantes

– Geralmente é baseado na tecnologia de grupo, na qual as peças são classificadas e codificadas segundo semelhanças geométrica, de processo, entre outras. Esta codificação permite ao sistema CAPP selecionar um plano de processo base que consiga satisfazer cerca de 90% das peças de uma família. Os 10% restantes são satisfeitos alterando-se o processo base.



## Sistemas CAPP Variantes

- Se a classificação da peça nova não tiver uma correspondente semelhante já armazenado, um novo planejamento deve ser iniciado a partir do zero. Este contudo servirá de base para futuras peças semelhantes.

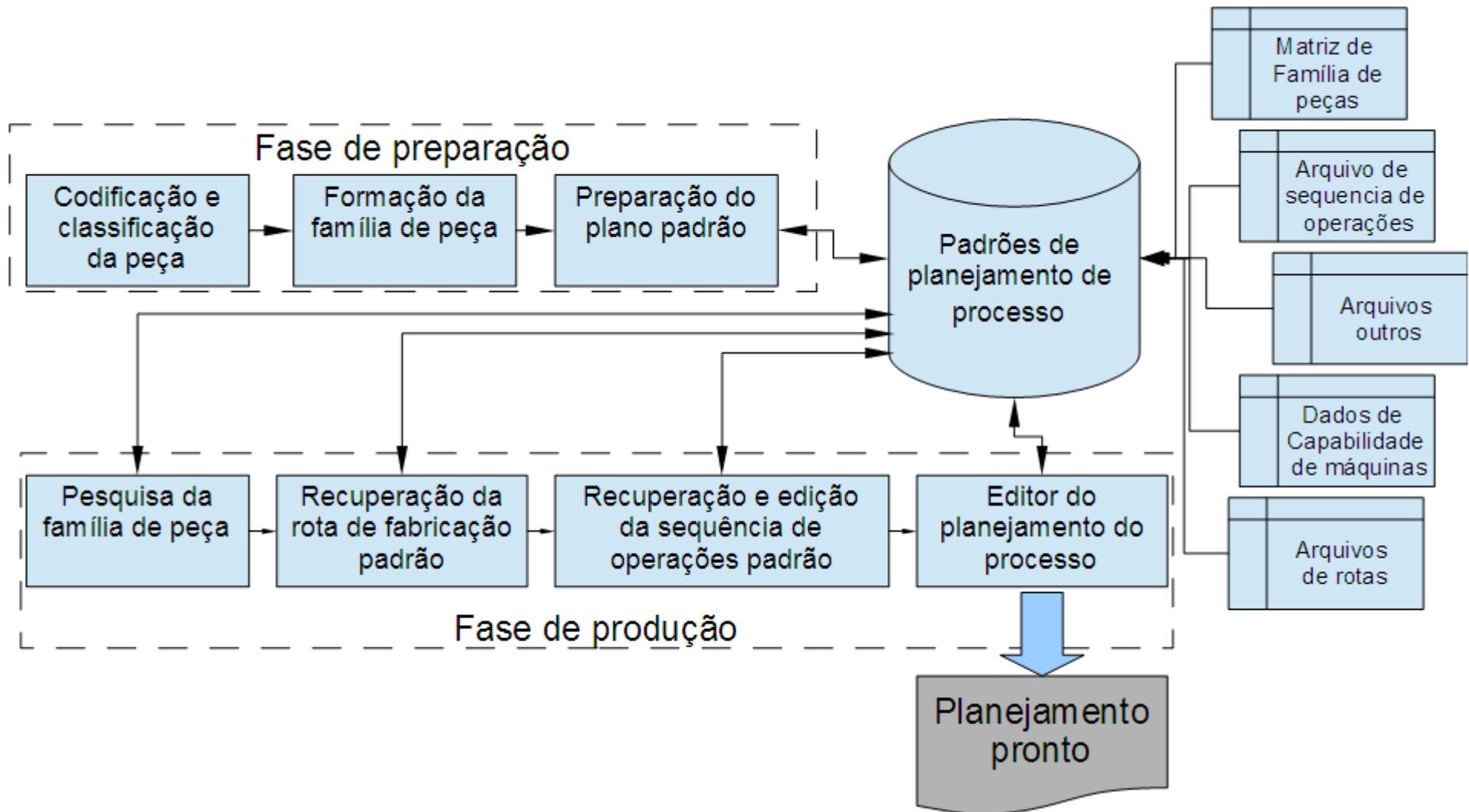


## **Vantagens e limitações dos sistemas CAPP variantes**

- O investimento relativamente baixo em hardware e software
- O sistema permite um baixo tempo de desenvolvimento e necessita de poucos recursos em termos homens/hora
- É confiável e de exequível de implementar na prática, para pequenas e médias empresas
- A qualidade do processo gerado depende do conhecimento e experiência dos processistas



## Sistemas CAPP Variantes - Fluxograma.





## **Abordagem Generativa**



## Sistemas CAPP Generativos

– Nos sistemas CAPP generativos o planejamento do processo é gerado por meio de decisões lógicas, algoritmos, fórmulas e dados geométricos armazenados em bancos de dados que são estruturados de forma a alimentar as entradas do sistema.

– Formas de entradas

- Interativa, através de textos
- Gráfica, a partir de modelos CAD



## Sistemas CAPP Generativos

- Primeiro passo: desenvolver uma estrutura de decisões apropriadas para a peça a ser processada. As regras devem ser especificadas utilizando árvores de decisão, lógica de decisões com por exemplo *if-then-else*, inteligência artificial, com programação orientada objeto
- Segundo passo: alimentar as bases de dados relacionadas a peça para executar o planejamento. Sistemas CAPP generativos simples podem ser baseados na codificação da Tecnologia de Grupo.



## **Sistemas CAPP Generativos**

Um sistema CAPP Generativo puro é capaz de gerar um plano de processo completo a partir da classificação da peça em conjunto com outros dados do desenho sem necessitar nenhuma modificação posterior ou interação manual

Nestes sistemas informações relativas a peça em bruto devem ser definidas inicialmente.



## Sistemas CAPP Generativos

O planejamento pode ser feito no sentido da peça bruta a peça final (*Forward planing*) ou no sentido inverso Da peça final até a peça bruta (*Backward planing*). Estratégia semelhante pode ser observada no desenvolvimento do desenho nos sistemas CAD.

Independente do sentido do planejamento ambos os devem ser similares, mas exercem diferentes efeitos sobre a programação



## Sistemas CAPP Generativos

O planejamento *Forward* sofre de um problema condicionante, o resultado de um setup afeta o posterior.

No planejamento *Backward* o problema condicionante é eliminado pois o setup é estabelecido para atender somente os requisitos iniciais.

Os sistemas CAPP Generativos englobam todas as vantagens dos sistemas Variantes, com a vantagem adicional de serem totalmente automáticos



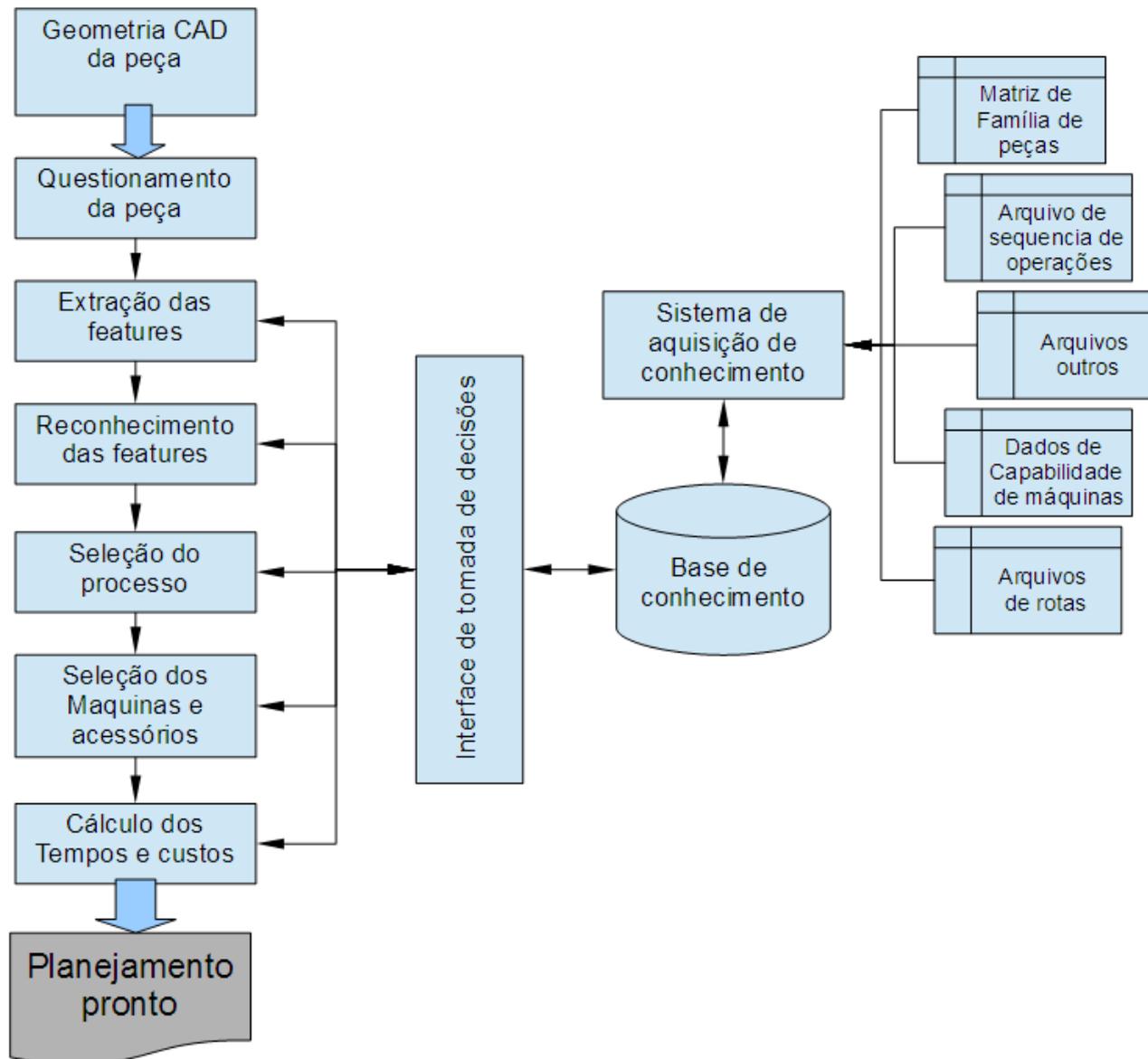
## **Sistemas CAPP Generativos**

Os sistemas Generativos necessitam de revisões profundas se um novo equipamento, processo ou capacidade de um processo for incorporado a produção.

O desenvolvimento inicial é difícil.



## Sistemas CAPP Generativos - Fluxograma.





## Planejamento de Processos de Fabricação Auxiliado por Computador

**JUSTIFICATIVA:** A nova realidade do *i\_manufacturing* trouxe novas exigências para o planejamento do processo, o que tornou o CAPP uma ferramenta chave para a competitividade.



## Planejamento de Processos de Fabricação Auxiliado por Computador

O termo Indústria 4.0 é um termo que está fortemente associado Smart Factory, Smart Manufacturing, Big Data, Tecnologia da Informação (TI), Internet das coisas (IoT - Internet of Things), etc.



*Como essas associações afetam o CAPP?*



## Questionamentos finais

Planejamento do processo

- O que é Planejamento do Processo?
- Porque planejar o processo?
- Como fazer isto?
- Onde aplicar?
- Entradas e recursos?
- Como os sistemas CAD CAM se relacionam com o Planejamento do processo?
- Como o CAPP se integra a Industria 4.0/5G?
- Como a montagem pode ser considerada em um CAPP?
- Como a inspeção/medição pode ser considerada em um CAPP?
- Como a Tecnologia de Grupo afeta o planejamento do processo?



**Fim da aula**