

PLANEJAMENTO DO PROCESSO ASSISTIDO POR COMPUTADOR - CAPP

Prof. João Carlos Espíndola Ferreira, Ph.D.

*www.grima.ufsc.br/jcarlos/
jcarlos@emc.ufsc.br*

**Universidade Federal de Santa Catarina
Departamento de Engenharia Mecânica
GRIMA - Grupo de Integração de Manufatura
GRUCON**

Caixa Postal 476, CEP 88040-900

Florianópolis, SC, Brasil

www.grima.ufsc.br



**Planejamento do Processo
Assistido por Computador - CAPP**



**João Carlos E. Ferreira
GRIMA, Dep. Eng. Mecânica, UFSC
<http://www.grima.ufsc.br>**



“O planejamento do processo é a ponte que liga o projeto à manufatura. Portanto, esta atividade é fundamental em empresas que querem manter-se competitivas.”



CONCEITOS BÁSICOS SOBRE PLAN. DO PROCESSO

- Projeto de peças \Rightarrow “O que ?”
- Planejamento do Processo \Rightarrow “Como ?”
- Programação da Produção \Rightarrow “Quando ?”



CONCEITOS BÁSICOS SOBRE PLAN. DO PROCESSO

- Produção em lotes $\downarrow \Rightarrow$ flexibilidade de sist. de manufatura \uparrow
- Flexibilidade:
 - equipamentos
 - tomada de decisões de projeto do produto
 - planejamento do processo
 - agendamento – programação da produção (“*scheduling*”)
 - manuseio de materiais e ferramentas
 - gerenciamento

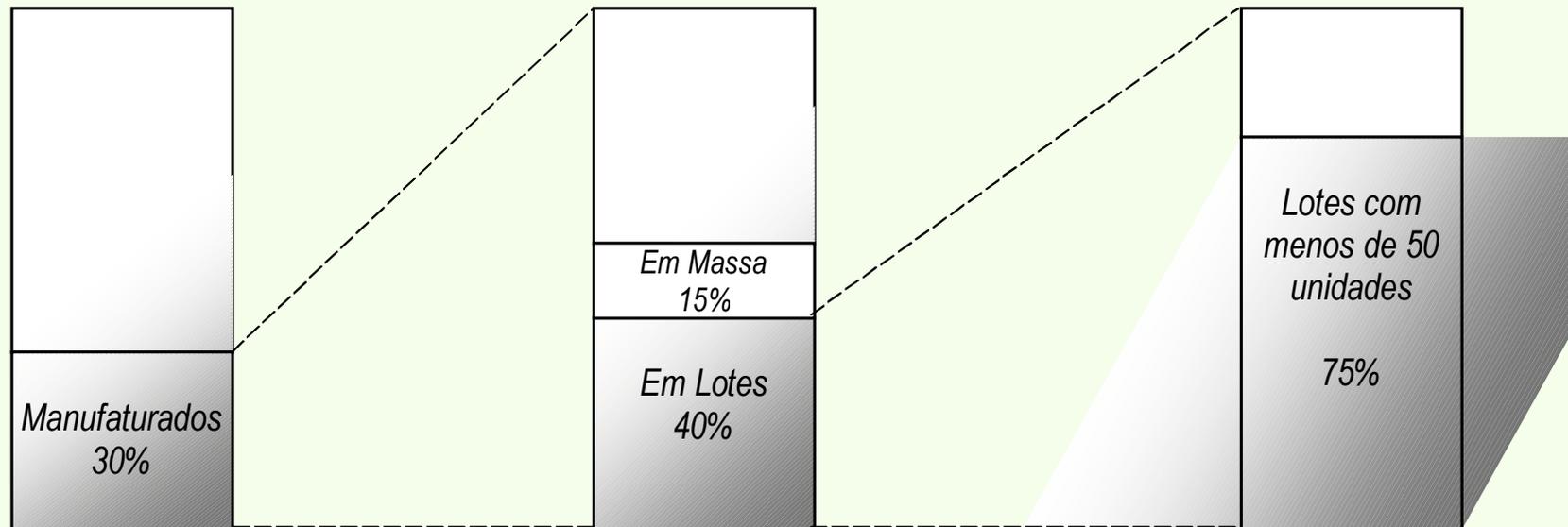


CONCEITOS BÁSICOS SOBRE PLAN. DO PROCESSO

Produto Interno Bruto

Manufaturados

Manufaturados em Lotes



Volume de produção em países industrializados



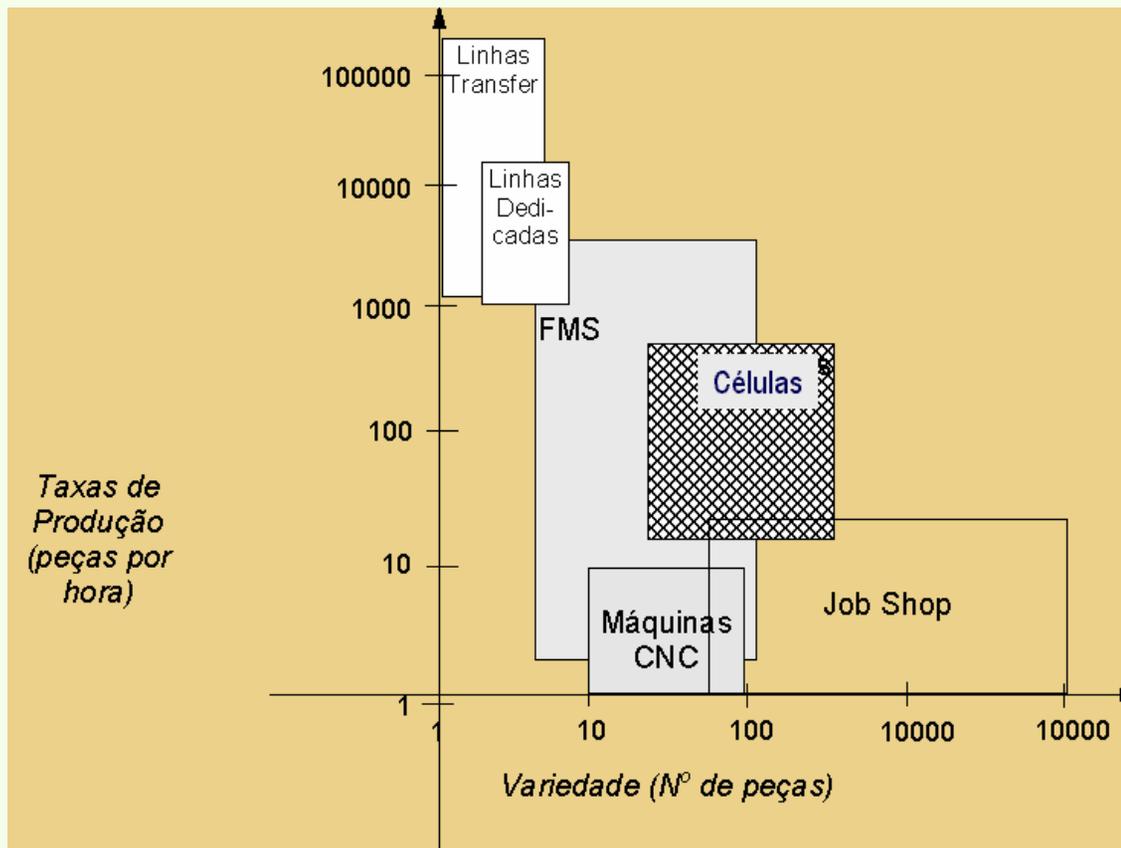
Planejamento do Processo
Assistido por Computador - CAPP



João Carlos E. Ferreira
GRIMA, Dep. Eng. Mecânica, UFSC
<http://www.grima.ufsc.br>



CONCEITOS BÁSICOS SOBRE PLAN. DO PROCESSO



*Taxa de Produção
X
Variedade*



CONCEITOS BÁSICOS SOBRE PLAN. DO PROCESSO

- Comunicação entre CAD e CAM \Rightarrow fundamental no CIM (pode determinar o sucesso do CIM)
- CAPP pode ser considerado a ponte entre o CAD e o CAM.
- O CAPP determina como o projeto será feito num sistema de manufatura.
- Sem um bom CAPP, é difícil transformar a informação de projeto do produto em manufatura.

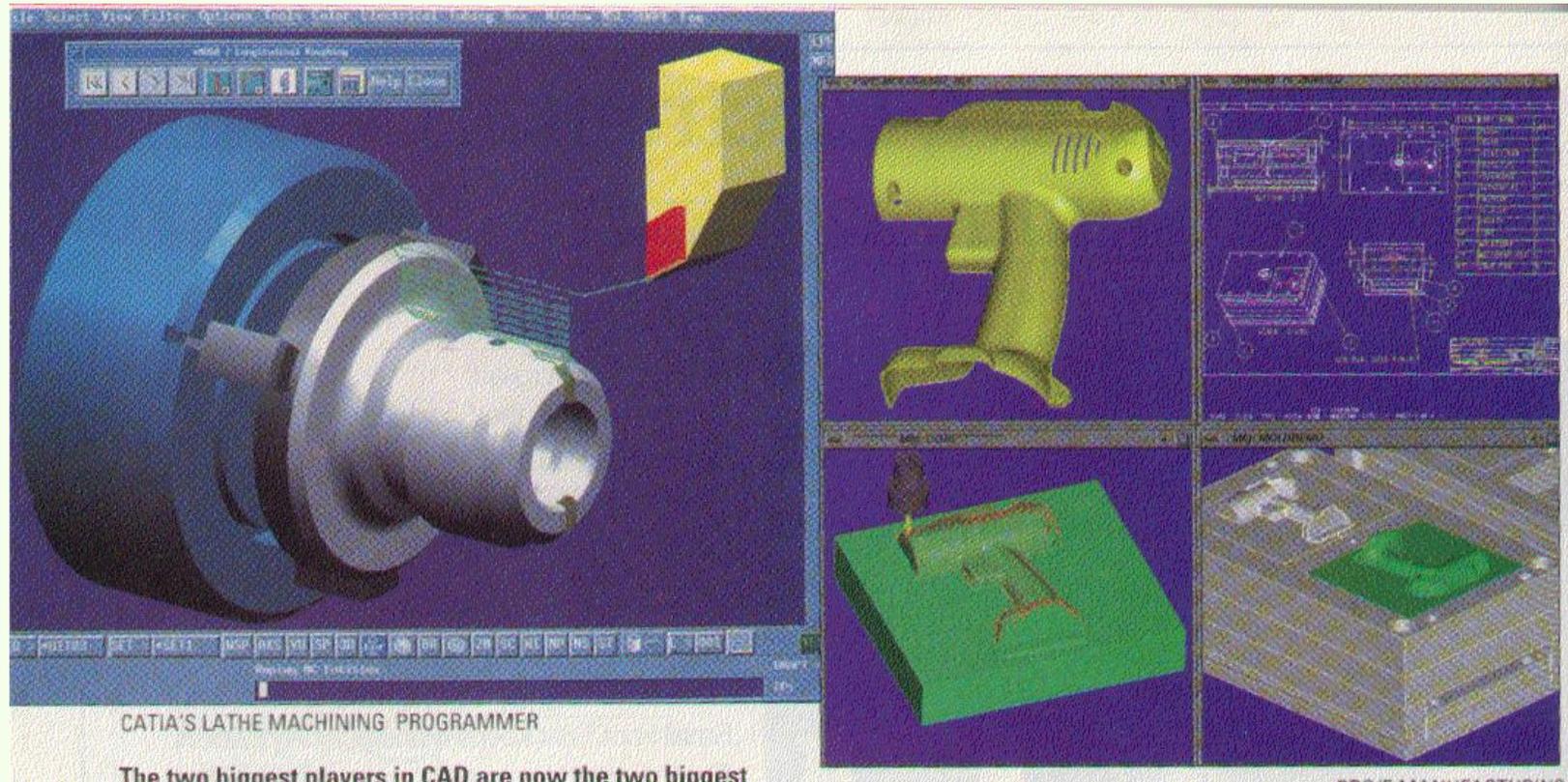


CONCEITOS BÁSICOS SOBRE PLAN. DO PROCESSO

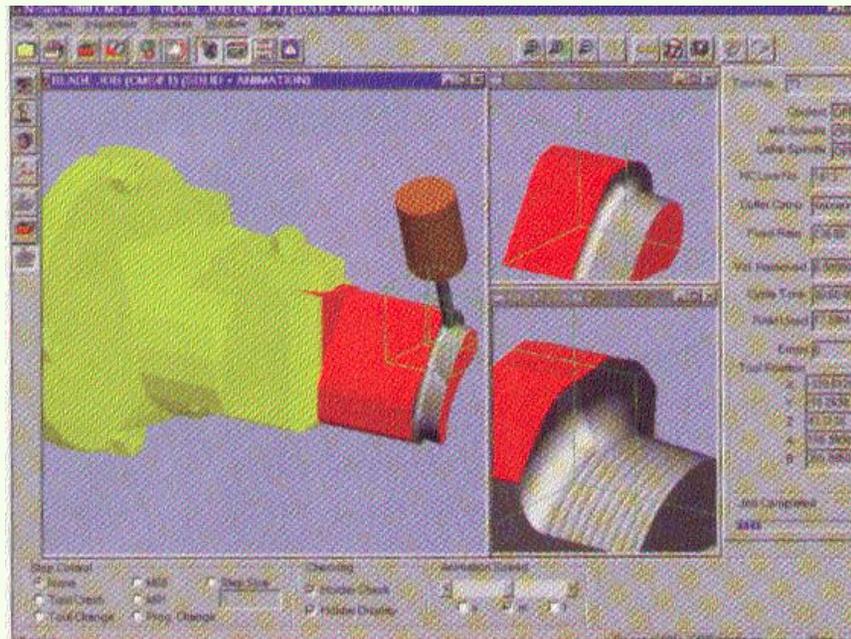
- CAD (computação gráfica); CAM (programação de máquinas de comando numérico) → *sucesso!*
- A importância do CAPP não havia sido percebida pela indústria de manufatura em geral até alguns anos atrás.
- *POR QUÊ ?*
 - tomada de muitas decisões tecnológicas
 - muitos problemas técnicos e organizacionais não são determinísticos
 - algumas decisões podem ser tomadas apenas através de métodos experimentais.
 - Nº de sistemas CAPP desenvolvidos ↑; poucos industriais
 - "*Sistemas comerciais CAD/CAM integrados*" → sistemas CAD/NC ⇒ muitas etapas interativas



CONCEITOS BÁSICOS SOBRE PLAN. DO PROCESSO



CONCEITOS BÁSICOS SOBRE PLAN. DO PROCESSO



N-SEE

Pathtrace's EdgeCAM for Mechanical Desktop allows users to machine directly on the CAD solid model. When the solid model changes, the tool-path can easily be updated. N-See 2000 CMS provides solid models for NC program verification.



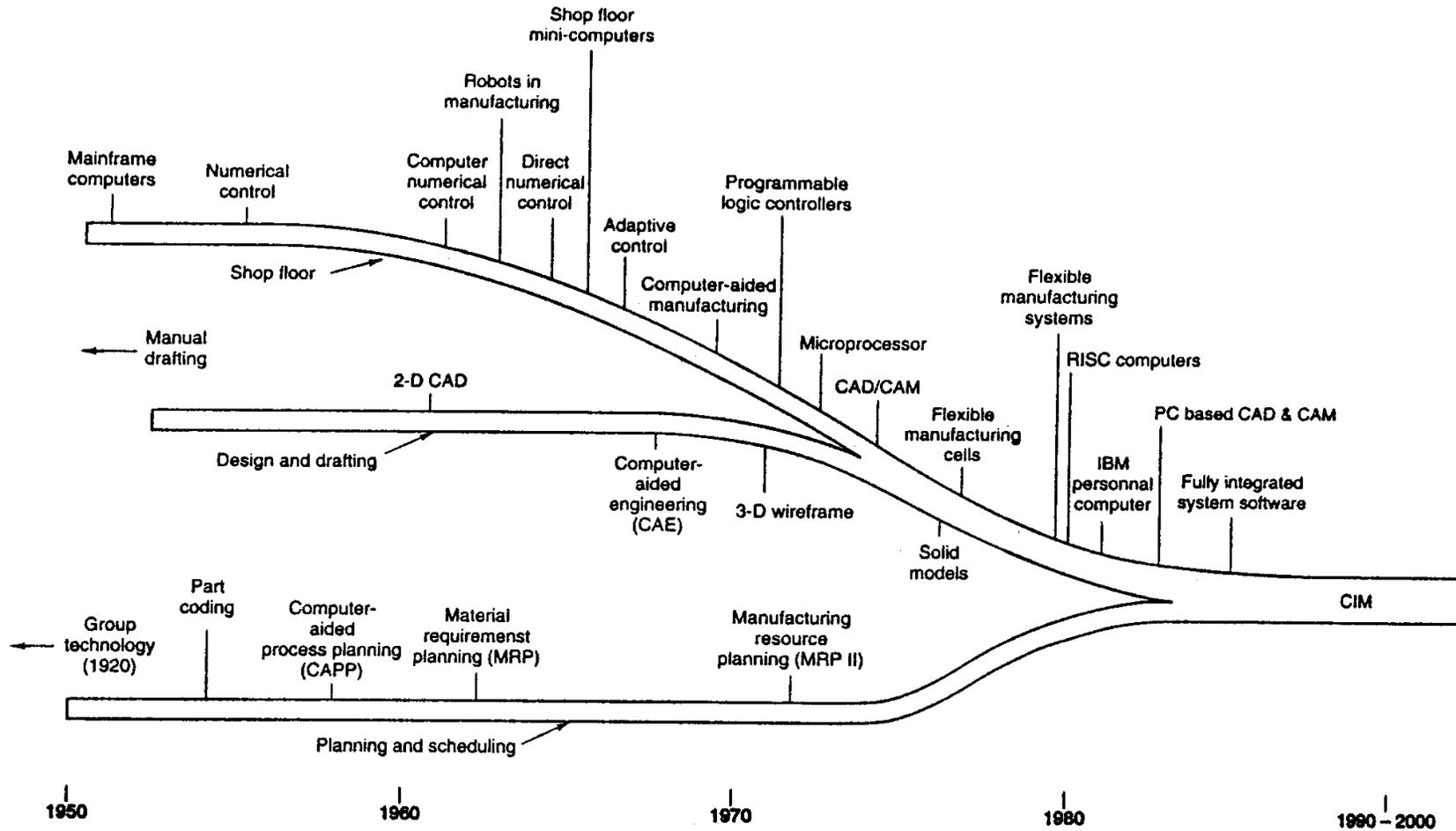
*Planejamento do Processo
Assistido por Computador - CAPP*



*João Carlos E. Ferreira
GRIMA, Dep. Eng. Mecânica, UFSC
<http://www.grima.ufsc.br>*

GRIMA

Histórico de CAD, CAM, hardware e sistemas de manufatura



Planejamento do Processo
Assistido por Computador - CAPP



João Carlos E. Ferreira
GRIMA, Dep. Eng. Mecânica, UFSC
<http://www.grima.ufsc.br>



PROCESSOS DE FABRICAÇÃO E PLAN. DO PROCESSO

- Projeto de um novo produto ⇒ Planejamento dos processos para a fabricação dos seus componentes
- Documento resultante ⇒ “*plano de processo*” → base para as operações de produção.
- Qualidade dos planos de processo influencia:
 - complexidade do trabalho preparatório para a manufatura;
 - qualidade das peças e produtos fabricados;
 - complexidade da programação da produção
 - custos de produção.



DOCUMENTAÇÃO

GENERAL		PLANO DE PROCESSOS		No. do Produto			Página ____
ELECTRIC				No. da Peça			de ____
CORPORATION				Noma da Peça			
No. da Operação	Nome da Operação	Material	Dureza	Equipamento	Disp. de Fixação	Tempos Padrões	
(DESENHO DE FABRICAÇÃO DA PEÇA)							
No. da Sequência	Operação Elementar	Ferramenta	Instr. de Medição	Rotação N (rpm)	Avanço f (mm/rev)	Prof. ap (mm)	Obs.
			Processista			Aprovação	
			Data			Data	
No. da Alteração	Aprovação	Data	No. da alteração			Data da alteração	

Exemplo de um plano de processo detalhando as operações elementares



PROCESSOS DE FABRICAÇÃO E PLAN. DO PROCESSO

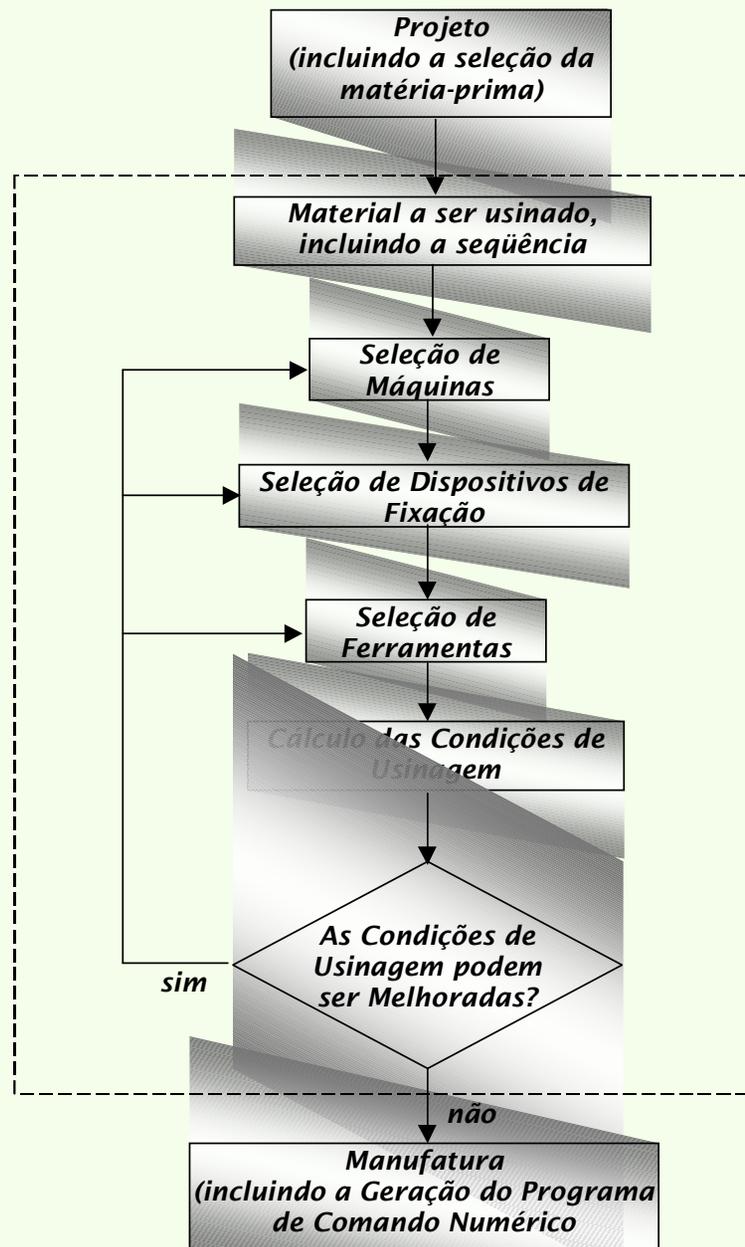
- 1 peça \Rightarrow nº de planos de processo > 1
- No planejamento do processo, deve-se efetuar:
 - ◇ análise pormenorizada da estrutura da peça, especificações do material, volume de produção e equipamentos disponíveis.



PROCESSOS DE FABRICAÇÃO E PLAN. DO PROCESSO

- Decisões que são tomadas no planejamento do processo:
 - ◇ Seleção da matéria-prima e seu método de fabricação
 - ◇ Seleção das operações para obter as superfícies da peça
 - ◇ Determinação da seqüência de operações
 - ◇ Determinação da fixação da peça para cada operação
 - ◇ Seleção do equipamento para as operações
 - ◇ Seleção das ferramentas para as operações
 - ◇ Seleção das condições para cada operação





Algumas das atividades no planejamento do processo (no contexto de usinagem)

Planejamento do Processo



Nº da Peça: PROB.15.10.1		Quantidade: 4000	Entrega: 11/11/93	Prioridade: 1	
Nº da Operação	Nº da Máquina	Descrição da Operação/ Instruções de Montagem	Fixação (min)	Processamento (min)	Carimbo do Operador
0010	1258	Fixar peça bruta com castanha (diam 0.75) Desbastar diam 0.15 ±.01 Acabamento diam 0.500 ± .005	1.7	0.40	
0020	1258	Fixar peça com castanha (diam 0.500) Desbastar diam 0.443 Acabamento diam 0.437 ± .005 Facear comprimento 5.34 ± 1/16	1.5	0.15	
0030	9401	Aquecer a 1550° F; Resfriar em óleo até 120° F	0.25	0.50	
0040	9401	Têmpera a 400° F até atingir 50 Rockwell C	0.25	0.05	
0050	9201	Acrescentar camada de Cromo	0.27	0.05	
0060	9805	Inspeccionar todas as dimensões	0.10	0.15	

Um exemplo de plano (ou folha) de processo

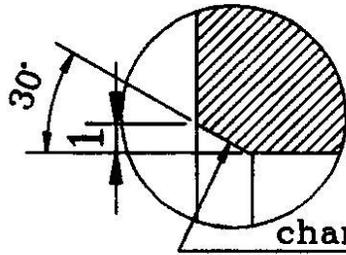


Planejamento do Processo
Assistido por Computador - CAPP



João Carlos E. Ferreira
GRIMA, Dep. Eng. Mecânica, UFSC
<http://www.grima.ufsc.br>



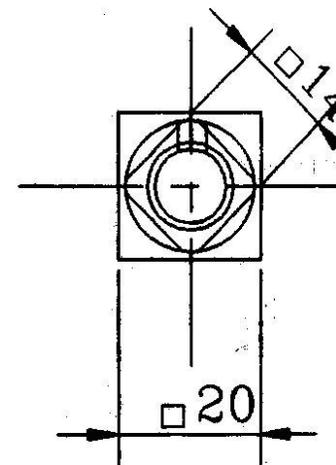
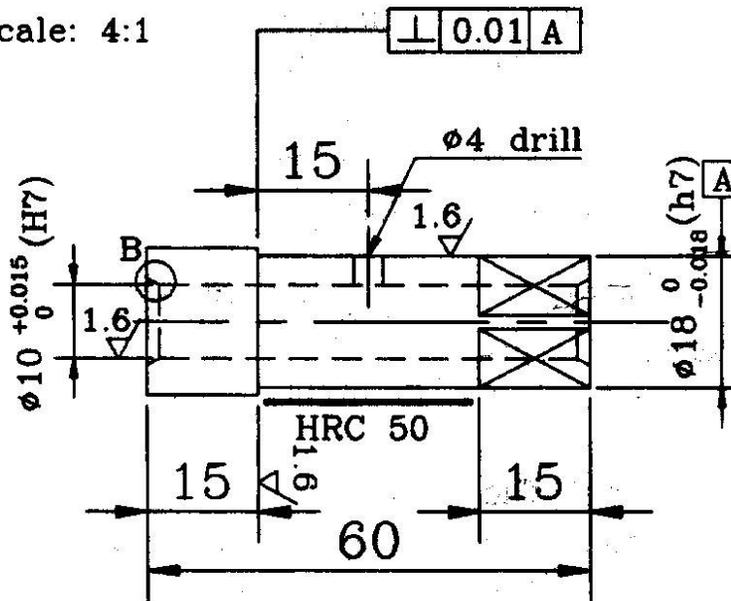


chamfer for center grinding

material : AISI4340
 part name : core piece
 scale : 1:1

detail B
 scale: 4:1

6.4 (1.6)



Uma peça exemplo, para a qual será mostrado um plano de processo para a sua fabricação



Planejamento do Processo
 Assistido por Computador - CAPP



João Carlos E. Ferreira
 GRIMA, Dep. Eng. Mecânica, UFSC
<http://www.grima.ufsc.br>



PROCESS PLANNING SHEET

no	process	dimension	description (cutter, rpm, fixturing, inspection,...)	time (min)	illustration
1	cut off		1. cutting a ϕ 32 AISI 4340 bar material about 1 m with horizontal band cutoff saw	10	2.1
2	turning		1. holding ϕ 30 bar in a 3-jaw chuck, with about 80 mm outside the chuck for turning	3	2.2
			2. facing the end, high speed steel cutter, 250 rpm	2	2.8
		ϕ 28	3. outside diameter roughing to ϕ 29, outside diameter finishing to ϕ 28.5, 250 rpm, feed rate 0.2 mm, measuring with vernier caliper	5	2.2
		ϕ 18	4. roughing to ϕ 18.8, finishing to ϕ 18.3, shoulder A in right angle	5	2.9
		ϕ 10 hole	5. drilling with ϕ 2.5 \times 60° center drill, 2800 rpm, drilling with ϕ 9.7 drill, 600 rpm, 70 mm in depth, reaming with ϕ 10H7 reamer, 200 rpm 70 mm in depth	10	2.3
		C1 \times 30°	6. turning chamfer 1 \times 30° at hole opening for grinding use	2	3.1
		60	7. cutting 62 mm in length from right end with a cutoff tool, 200 rpm	4	3.2
		15	8. facing the cutoff end to 15 mm thick, 250 rpm	1	3.1
		C1 \times 30°	9. turning chamfer 1 \times 30° at hole opening for grinding use	1	2.4
3	milling	\square 20	1. vertical milling machine, set up with 4-jaw dividing head, central line calibrating with dial indicator, ϕ 20 end mill, 300 rpm, dividing head rotating 90° 4 times	30	2.5
		\square 14, 15	2. 4-jaw chuck securing \square 20 side, central line calibrating with dial indicator in longitudinal direction and run out, calibrating orientation with dial indicator by travelling on flat surface \square 20 at B, ϕ 20 end mill, 300 rpm, rotating 90° 4 times	30	2.6
4	drilling	ϕ 4	1. retaining the above setup, change ϕ 20 end mill tool holder into a drill chuck, drilling with a ϕ 2.5 center drill, 2800 rpm, drilling with a ϕ 4 drill, 1500 rpm	10	2.6
5	deburring	ϕ 10 hole	1. deburring with ϕ 10H7 reamer by hand	2	2.7
6	heat-treatment	ϕ 18	1. flame hardening, oil quenching	20	2.7
7	hardness testing	HRC50 (over)	1. testing with Rockwell hardness tester	15	8.1
8	grinding	ϕ 18° _{-0.018}	1. workpiece mounting on centers, rotating with dog, measuring with micrometer, grinding wheel type 32A60G12, shoulder grinding also	20	5.1
9	inspecting	all	1. total inspection	5	

Plano de processo para a fabricação da peça na figura anterior



ão Carlos E. Ferreira
 Dep. Eng. Mecânica, UFSC
[://www.grima.ufsc.br](http://www.grima.ufsc.br)



Process sheet



Customer	Special Forge Ltd., Nasik	Date	12 February 2005
Part number	715-76-211	Machine	TOPPER 100/85
Part name	Shaft-12		
Work piece material	Cast iron, low alloy, low hardness		

Opr. No.	Operation	Tool	Tool No.	Cutting Speed		Feed Rate		Depth of cut	Cut Length	Cutting Time	Rapid Time	Total Time
				m / min	Rpm	mm / min	m / rev					
1	Plain face	PCLNL 2020 K 12 R 1.2	1	200	CSS	0.00	0.358	3	117.00	.30	.20	0.52
2	Contour turn	PCLNL 2020 K 12 R 1.2	1	200	CSS	0.00	0.358	3	1051.27	3.97	.62	4.58
3	Drilling	R416.2-0140L20-31 - Dia 14	2	60	636	95.49	0.150	3	117.0	1.23	.21	1.45
4	Groove 1	LF 151.22-2020-20	3	120	CSS	0.00	0.120	3	27.02	.51	.23	0.76
5	Groove 2	LF 151.22-2020-20	3	111	CSS	0.00	0.100	4	27.02	.67	.10	0.76
6	Groove 3	LF 151.22-2020-20	3	111	CSS	0.00	0.100	4	5.00	.21	.02	0.23
7	Groove 4	LF 151.22-2020-20	3	111	CSS	0.00	0.100		5.24	.22	.03	0.25
8	Plain turn	S25T-SCLCL 12 R0.8	4	222	CSS	0.00	0.358		209.10	.31	.20	0.53
9	Finish turn	PDJNL 2020 K 11 R 0.8	5	220	CSS	0.00	0.179		198.04	1.22	.11	1.35
10	Plain face	PDJNL 2020 K 11 R 0.8	5	220	CSS	0.00	0.179		9.30	.03	.19	0.23
11	M38 thread	R166.4KF-20-16	6	100	838	1676.00	2.000		729.61	.44	.61	1.06

Summary	Time in mins.
Total cutting time	9.09
Total tool change time	0.10
Total rapid motion time	2.52
Total miscellaneous time	1.26
Total cycle time	12.98

Generated by CAPSmill

TaeguTec

TaeguTec India P Ltd., Bangalore, INDIA
Tel 080 7831870, Fax 080 783 1869, Email: techsupport@taegutec-india.com



**Planejamento do Processo
Assistido por Computador - CAPP**



João Carlos E. Ferreira
GRIMA, Dep. Eng. Mecânica, UFSC
<http://www.grima.ufsc.br>



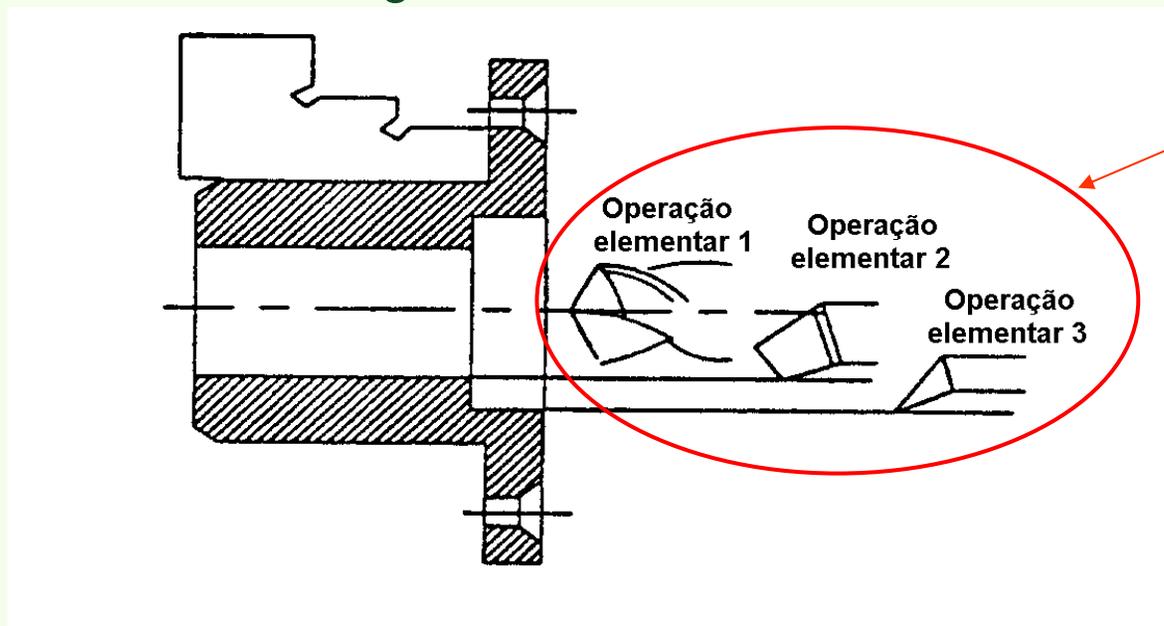
COMPOSIÇÃO DOS PROCESSOS DE USINAGEM

- Processo de usinagem \Rightarrow operações através das quais a matéria-prima é transformada em peça acabada.
- Componentes básicos de processos de usinagem \Rightarrow *operações*.
- Uma operação = porção completa de um processo (p.ex. furação, retificação) para usinar uma peça em uma única fixação \Rightarrow utilização do mesmo equipamento e mesma peça.
 - Exemplo: se um lote de peças é usinado primeiramente em um torno convencional, e então numa fresadora, obviamente dois operadores estarão envolvidos (e duas fixações).



COMPOSIÇÃO DOS PROCESSOS DE USINAGEM

- Figura ilustrando a usinagem de um furo e seu rebaixo em uma flange



*Uma Operação:
Uma máquina
+ uma fixação*

Conceitos de "operação" e "operação elementar"



COMPOSIÇÃO DOS PROCESSOS DE USINAGEM

- Se o lote de peças é usinado na seguinte seqüência: *furação* → *mandrilamento do furo* → *mandrilamento do rebaixo*, com três ferramentas diferentes na mesma máquina (p.ex. num torno), esta é uma única operação.
- Se estes furos são executados em um torno e então mandrilados em outro torno → usinagem das peças consistirá de duas operações.

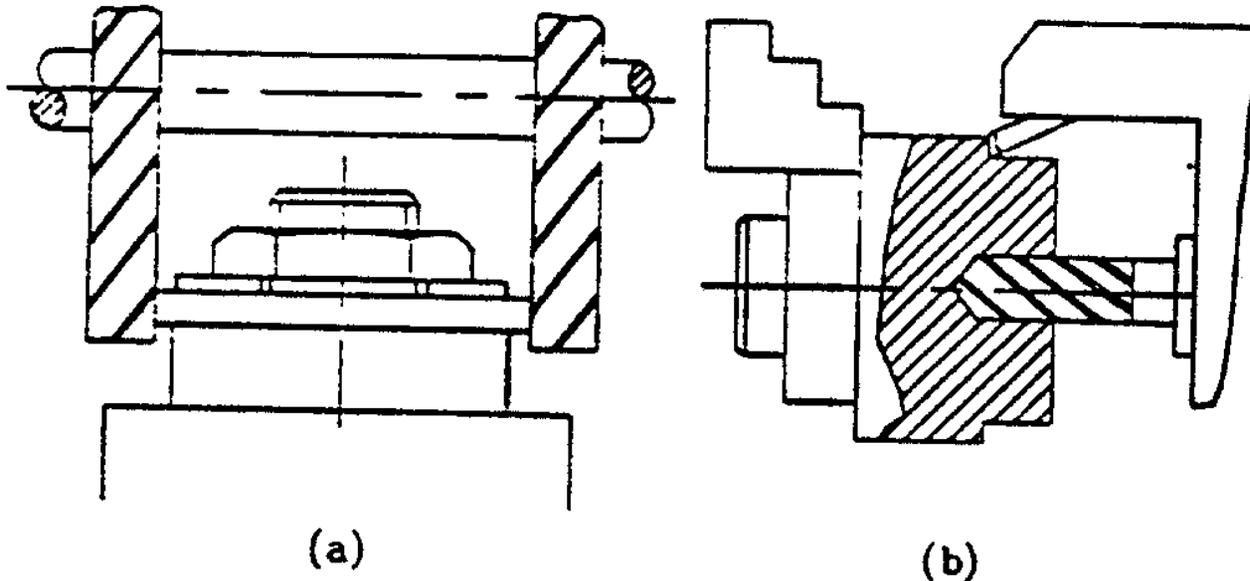


COMPOSIÇÃO DOS PROCESSOS DE USINAGEM

- Uma *operação elementar* \Rightarrow efetuada sem alterar a ferramenta (ou grupo de ferramentas usadas simultaneamente), velocidade e avanço \Rightarrow Se algum desses elementos for alterado, tem-se outra operação elementar.
 - Exemplo: a operação ilustrada na figura \rightarrow três operações elementares: 1-fazer furo; 2-mandrilar furo; 3-mandrilar rebaixo.
 - Se o mandrilamento fosse subdividido em desbaste e acabamento (diferentes velocidades e avanços) \rightarrow 4 operações elementares.



COMPOSIÇÃO DOS PROCESSOS DE USINAGEM



Operações elementares complexas



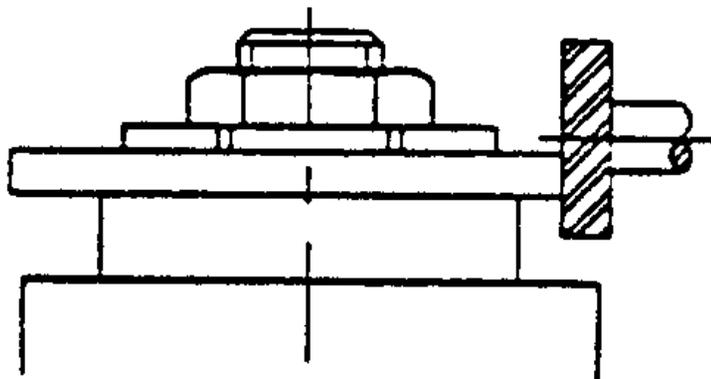
Planejamento do Processo
Assistido por Computador - CAPP



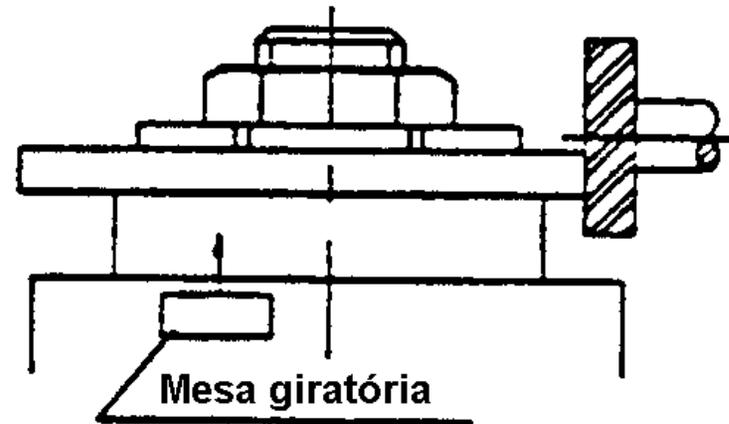
João Carlos E. Ferreira
GRIMA, Dep. Eng. Mecânica, UFSC
<http://www.grima.ufsc.br>

GRIMA

COMPOSIÇÃO DOS PROCESSOS DE USINAGEM



(a)



(b)

Fresamento de duas superfícies planas (a) em duas fixações (b) numa única fixação

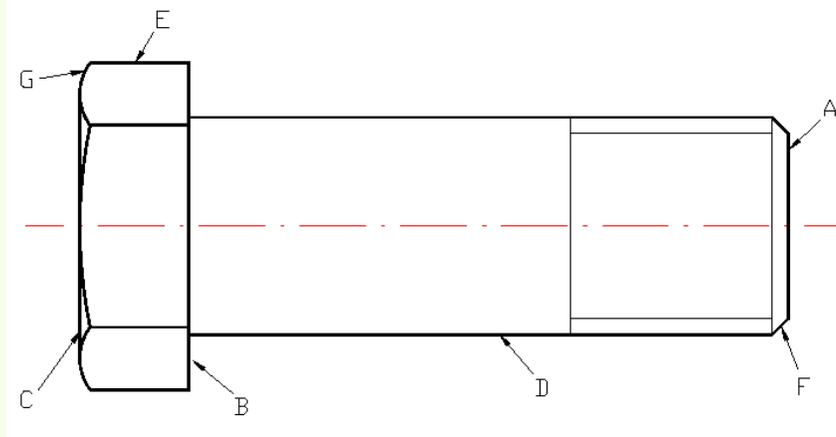


Planejamento do Processo
Assistido por Computador - CAPP



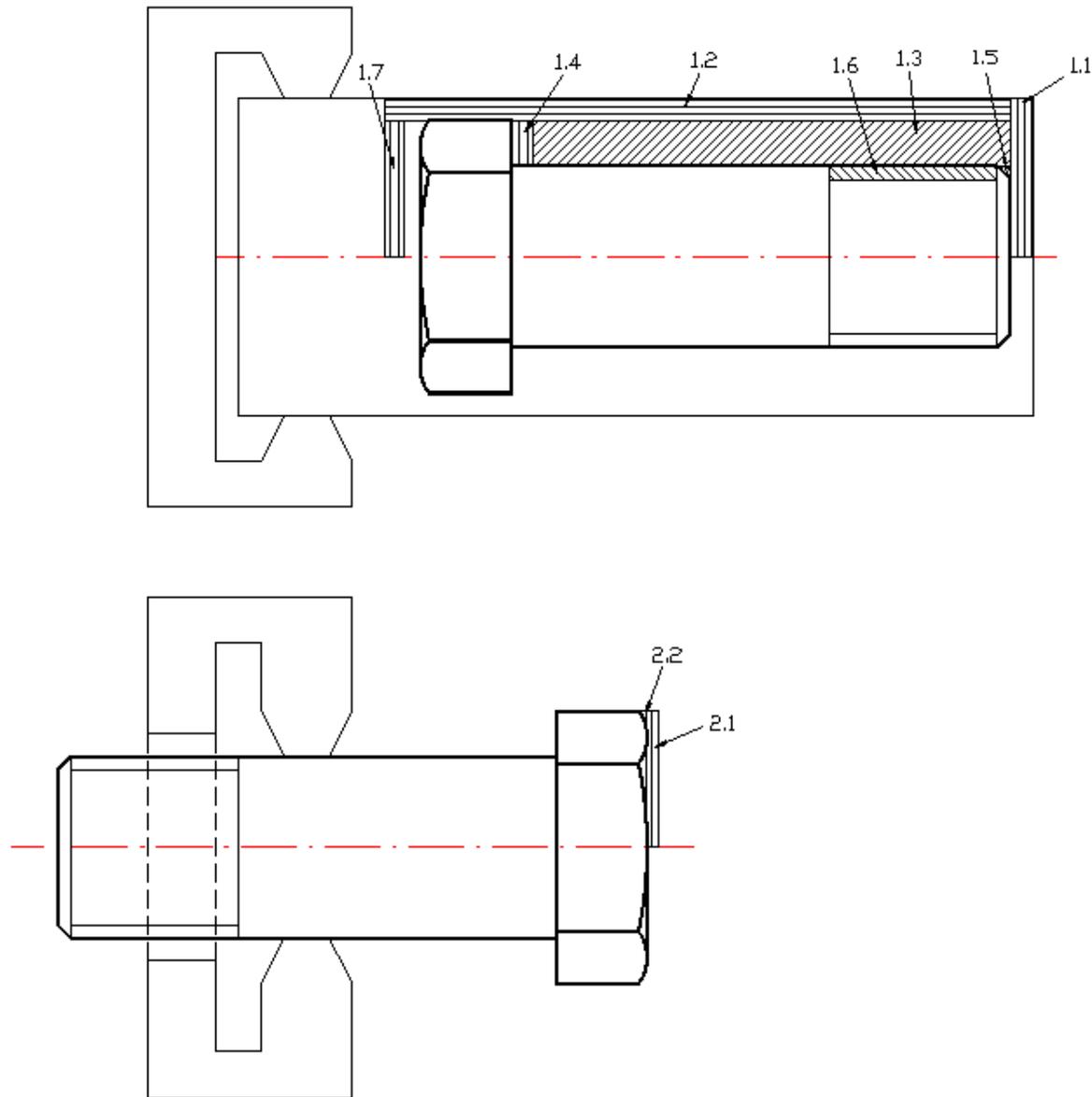
João Carlos E. Ferreira
GRIMA, Dep. Eng. Mecânica, UFSC
<http://www.grima.ufsc.br>





<i>Nº da Operação</i>	<i>Operação</i>	<i>Fixação</i>	<i>Nº de Fixações</i>	<i>Operação Elementar</i>	<i>Nº de passes</i>
1	Torneamento	Placa de 3 castanhas	1	1. Facear sup. A 2. Torneiar sup. E 3. Torneiar sup. D 4. Facear sup. B 5. Chanfrar sup. F 6. Torneiar rosca 7. Sangrar	1 1 3 1 1 6 1
2	Torneamento	Placa de 3 castanhas	1	1. Facear sup. C 2. Chanfrar sup. G	1 1
3	Fresamento	Morsa	3	1. Fresar sextavado (operação elementar complexa)	3





EXIGÊNCIAS PARA O PLAN. DO PROCESSO

- Um dos maiores problemas no PP: como atingir a precisão especificada no projeto?
 - ↳
 - Deve proporcionar que todas as exigências de qualidade sejam atingidas, sem depender da habilidade do operador.
- Outros problemas tecnológicos e econômicos:
 - ◇ Que tipo de matéria-prima será selecionada (fundidos ou forjados)?
 - ◇ Vale a pena utilizar novos métodos, máquinas ou ferramentas?

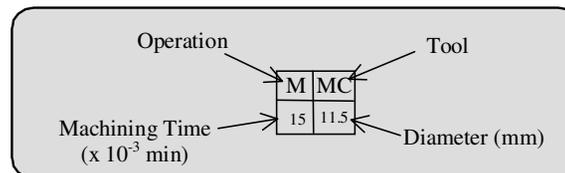
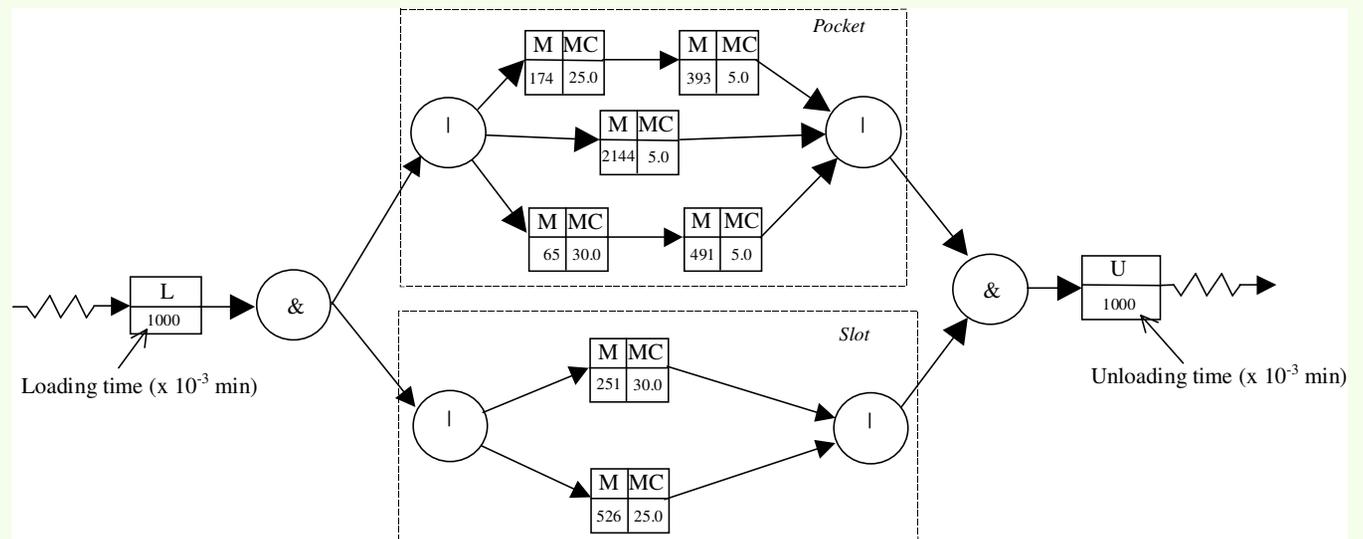
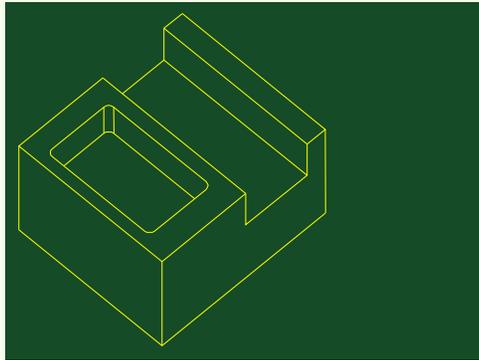


EXIGÊNCIAS PARA O PLAN. DO PROCESSO

- Várias alternativas de planos de processos, ou algumas de suas operações, são avaliadas e comparadas para que o melhor plano seja selecionado.
- Melhor alternativa? Máquinas mais avançadas? Mais elevada eficiência de fabricação?
- Avaliação das alternativas \Rightarrow pontos de vista tecnológico e econômico.
- Base da decisão \Rightarrow custo total; qualidade; entrega no prazo.



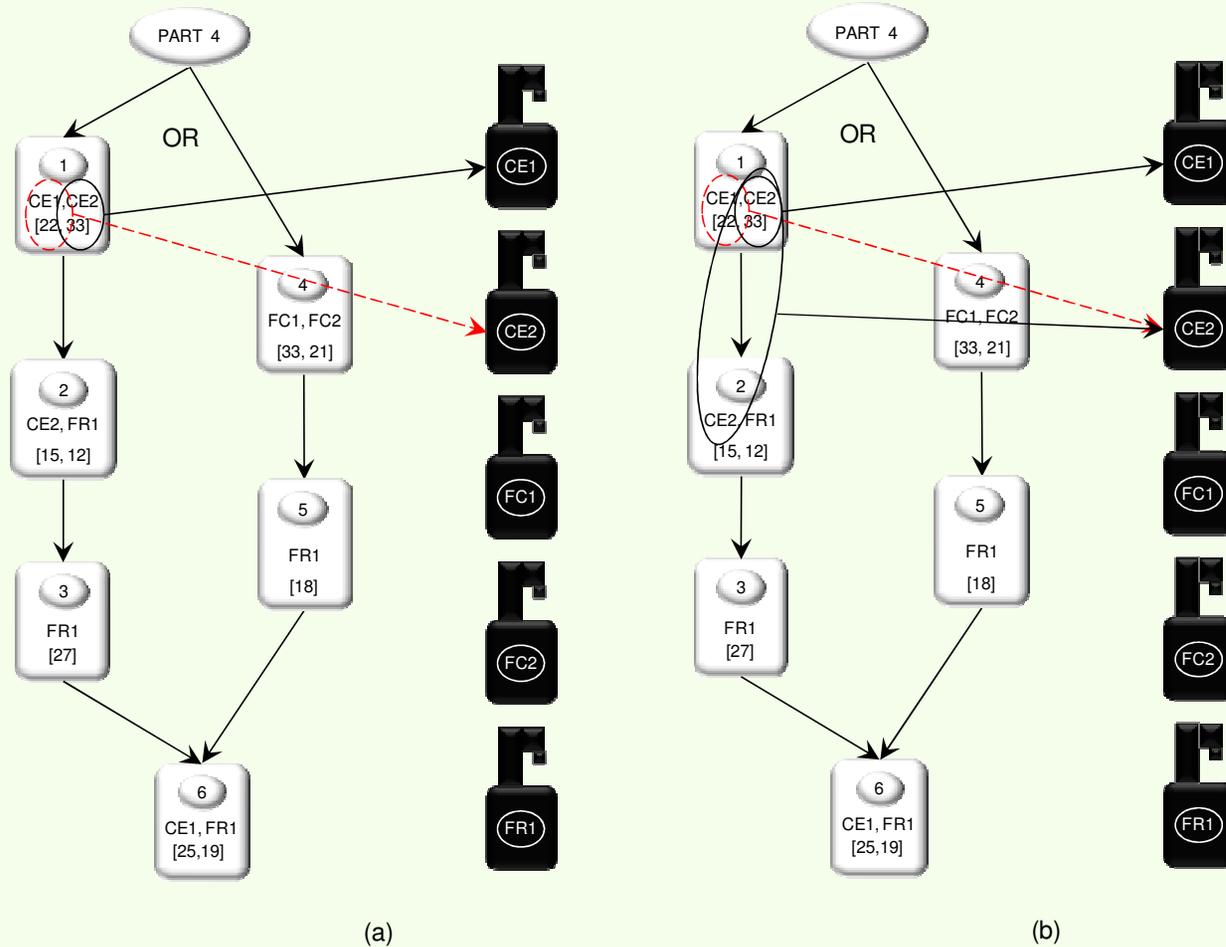
EXIGÊNCIAS PARA O PLAN. DO PROCESSO



Where: "L" = load
 "U" = unload
 "D" = drilling
 "TD" = twist drill
 "M" = milling
 "MC" = milling cutter



EXIGÊNCIAS PARA O PLAN. DO PROCESSO

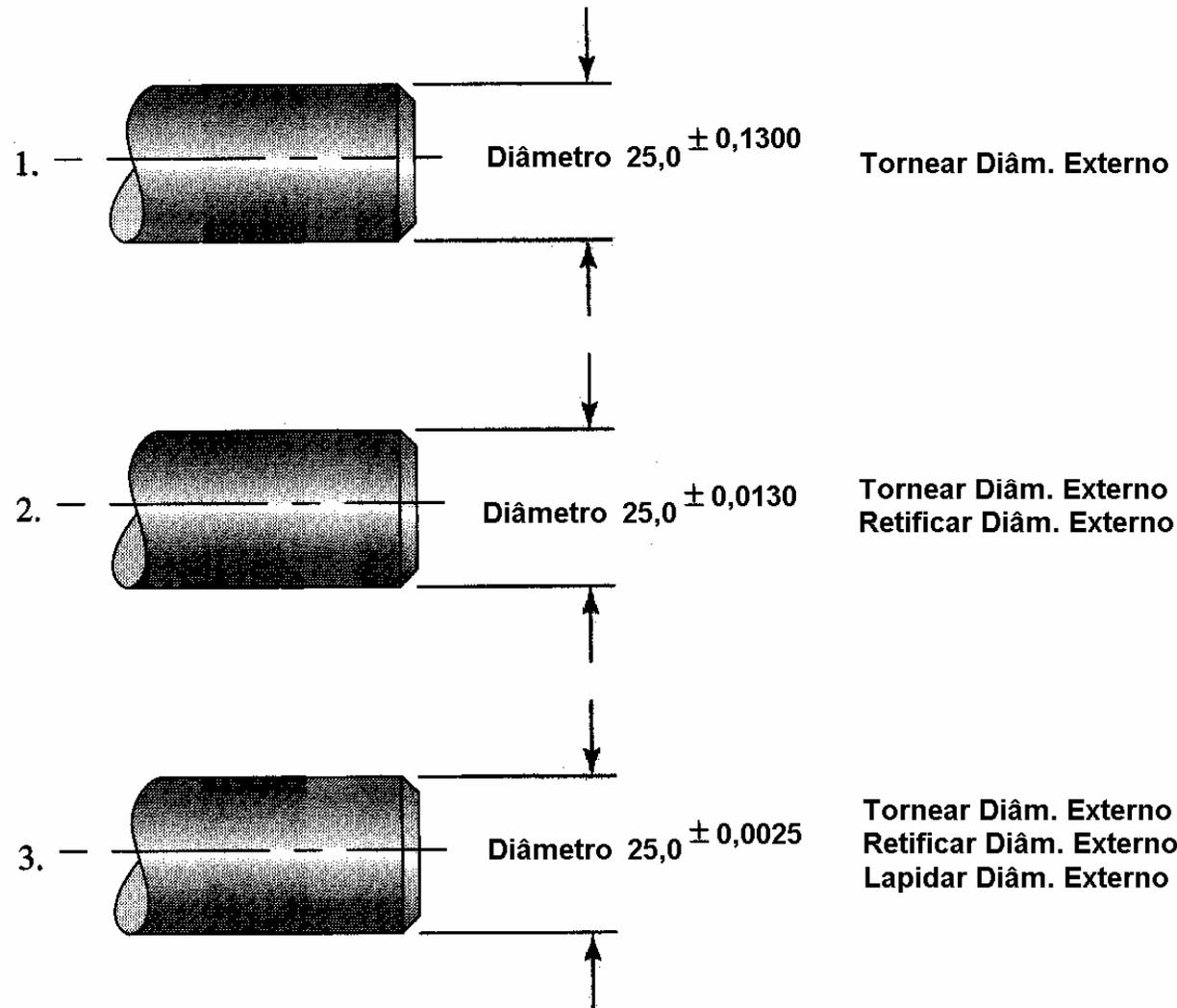


INFORMAÇÕES BÁSICAS PARA O PLAN. DO PROCESSO

- Compreensão do Desenho e Especificações da Peça
 - ◇ **Processista** → deve entender claramente tudo que estiver especificado no desenho da peça, inclusive todas as vistas da peça, cotas, tolerâncias, acabamentos e outras especificações técnicas.
 - ◇ Informações incompletas, incorretas ou indefinidas poderão resultar em decisões tecnologicamente ruins, e conseqüentemente em planos de processo ruins.

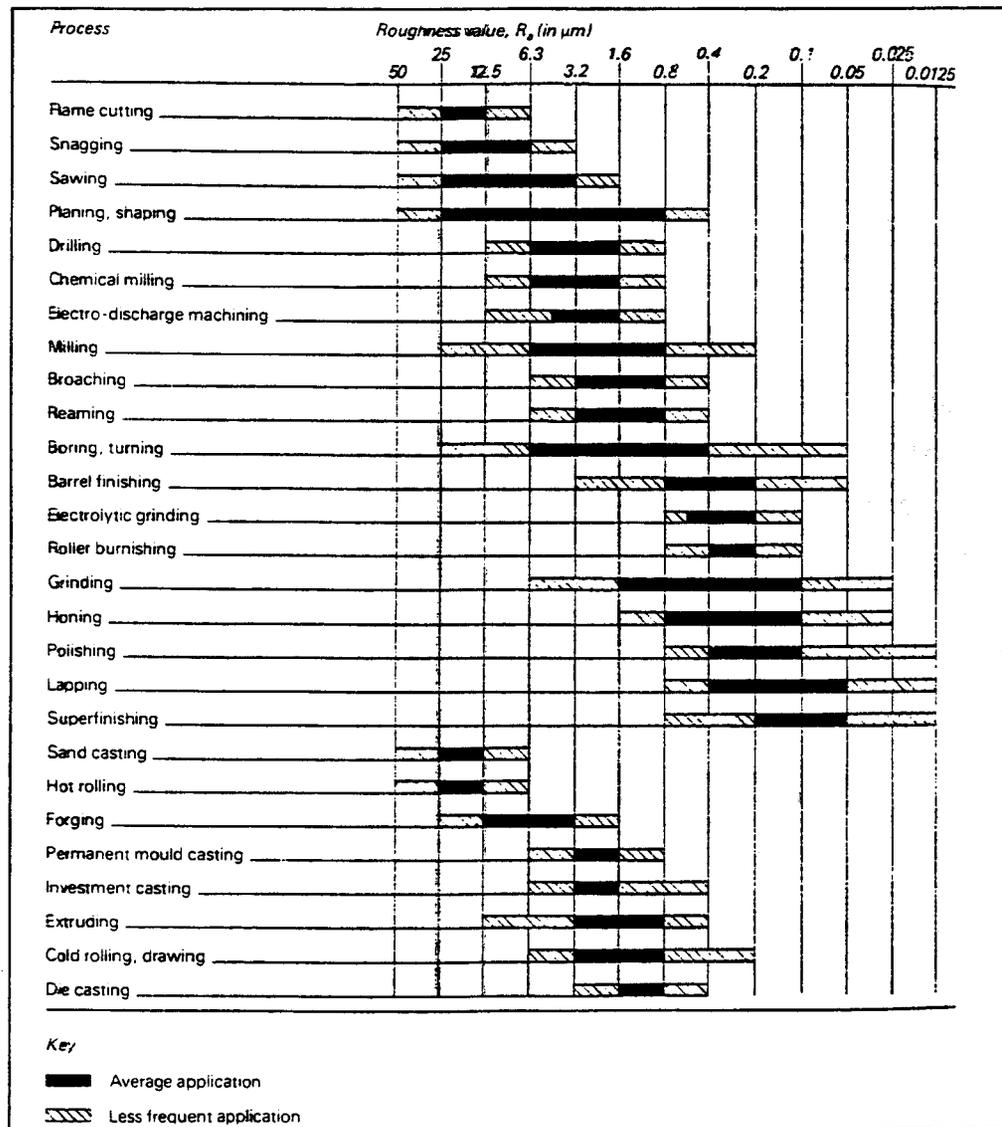


Processos:



*A partir da tolerância
pode-se selecionar um
processo de
fabricação para uma
dada superfície.*

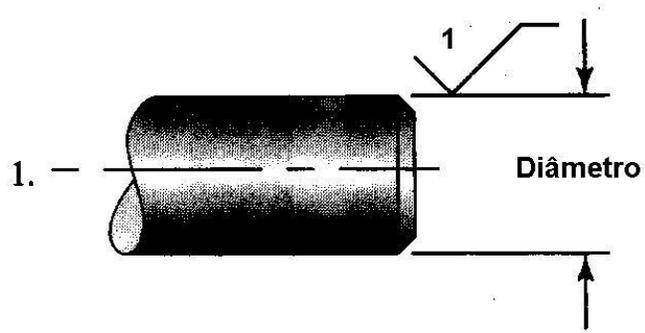




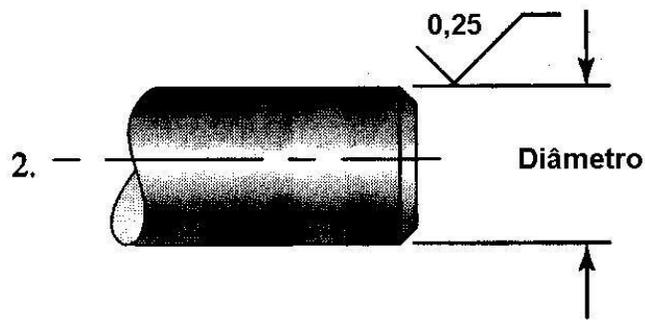
A partir da rugosidade superficial pode-se selecionar um processo de fabricação para uma dada superfície.



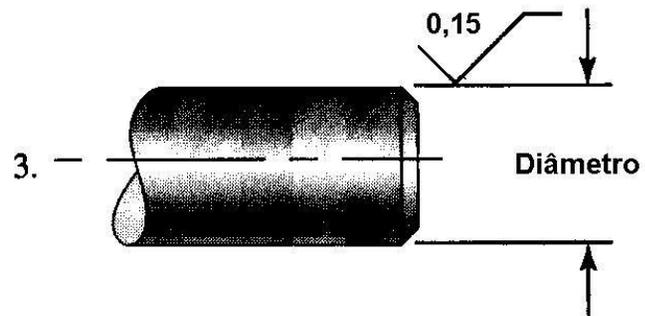
Processos:



Tornear Diâm. Externo



Tornear Diâm. Externo
Retificar Diâm. Externo



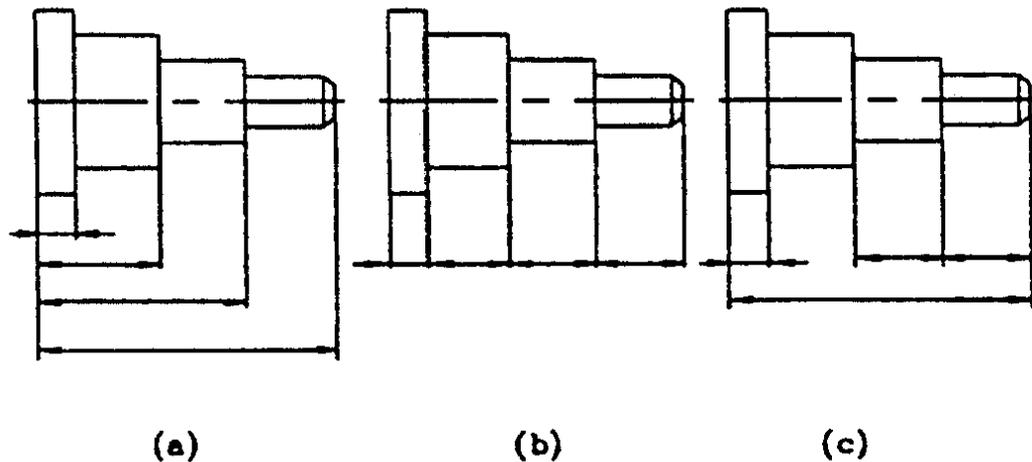
Tornear Diâm. Externo
Retificar Diâm. Externo
Lapidar Diâm. Externo

A partir da rugosidade superficial pode-se selecionar um processo de fabricação para uma dada superfície.



INFORMAÇÕES BÁSICAS PARA O PLAN. DO PROCESSO

- Compreensão do Dimensionamento da Peça:
 - Posições relativas entre superfícies podem ser dimensionadas de 3 maneiras diferentes:



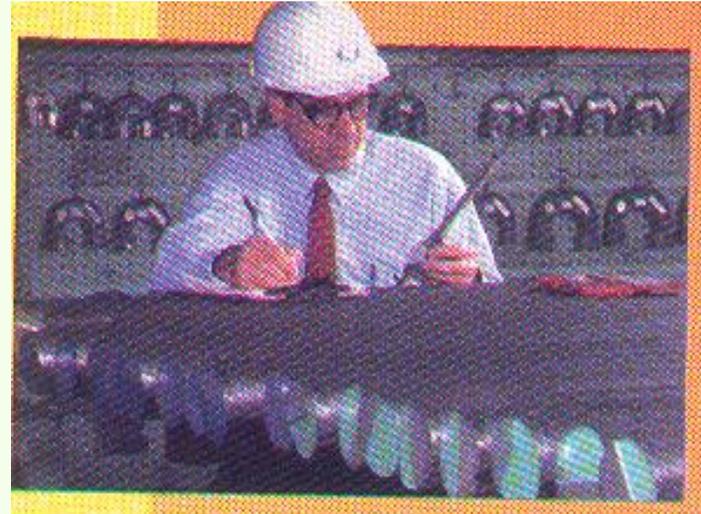
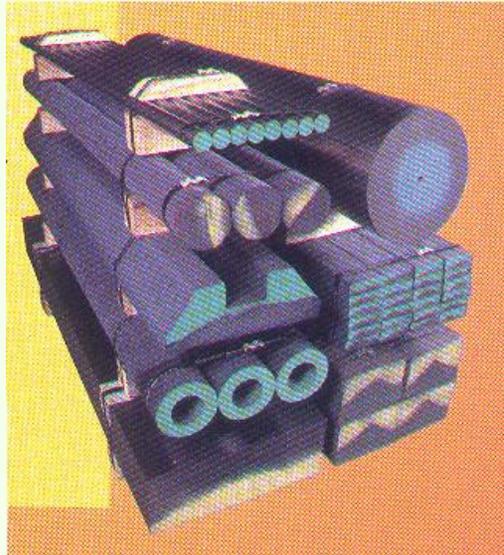
Três meios diferentes de dimensionamento: (a) em relação a uma superfície; (b) seqüencial; (c) combinado



INFORMAÇÕES BÁSICAS PARA O PLAN. DO PROCESSO

- Desenho da Matéria-Prima:
 - Matéria-prima → selecionada de acordo com o desenho da peça (propriedades mecânicas, custo da peça) → determina os sobre-materiais de todas as superfícies da peça que devem ser removidos, e os métodos de fixação da peça.
 - Tipos de matérias-prima: fundidos, forjados, peças soldadas, laminados, etc..
 - Tem-se procurado aproximar a forma e o tamanho da matéria-prima o mais possível da peça (“*near-net shape*”) → quantidade de operações de usinagem ↓.





Exemplos de matérias-prima, e a sua fabricação e inspeção





*Near-net shape
geometry*



*Exemplos de diferentes geometrias de matérias-prima para obter
uma mesma peça (near-net shape)*



**Planejamento do Processo
Assistido por Computador - CAPP**

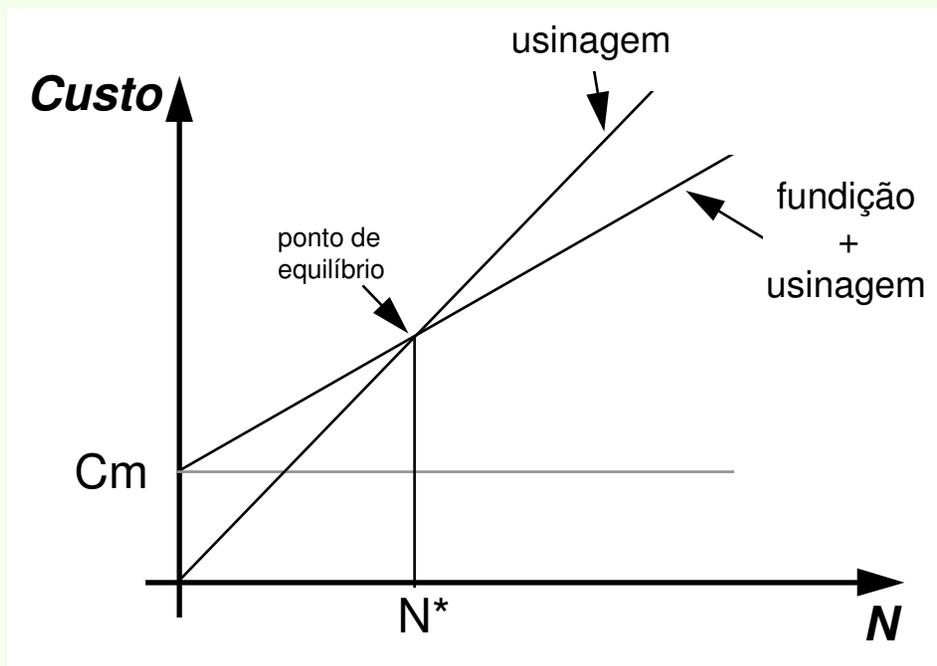


João Carlos E. Ferreira
GRIMA, Dep. Eng. Mecânica, UFSC
<http://www.grima.ufsc.br>



INFORMAÇÕES BÁSICAS PARA O PLAN. DO PROCESSO

- Volume de Produção e Data de Entrega
 - ◇ Tipos de produção \Rightarrow uma única peça, em lote e em massa.



INFORMAÇÕES BÁSICAS PARA O PLAN. DO PROCESSO

- Equipamento de Produção
 - O PP pode ser efetuado sob duas condições diferentes:
 1. para uma nova planta ou oficina
 2. para uma planta já existente
 - Caso 1 \Rightarrow selecionar as máquinas mais apropriadas, de acordo com as necessidades
 - Caso 2 \Rightarrow as máquinas devem ser selecionadas do equipamento disponível na fábrica, a menos que se planeje a compra de algum novo equipamento \Rightarrow algumas vezes a modernização de algumas máquinas é necessária.

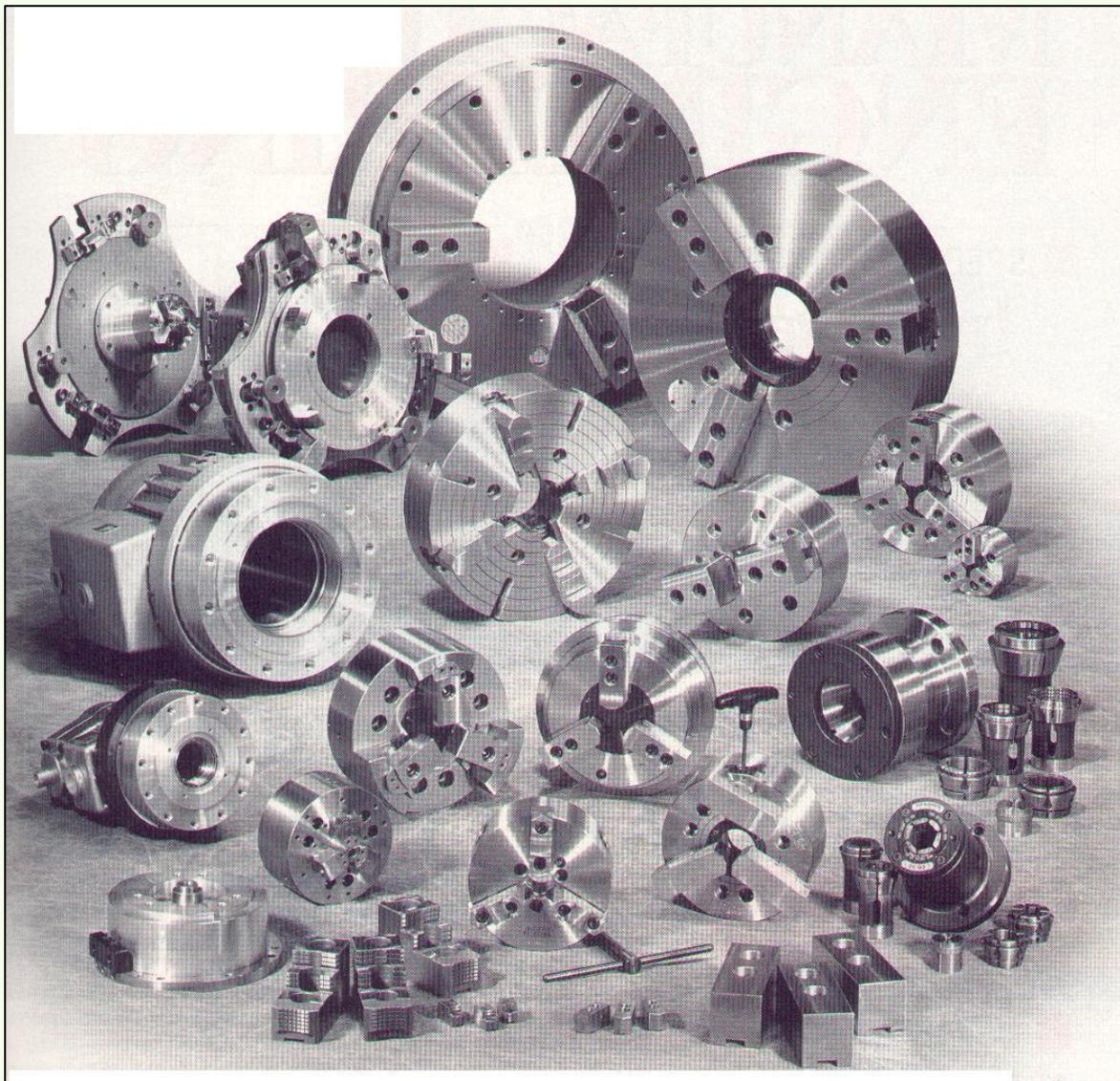


INFORMAÇÕES BÁSICAS PARA O PLAN. DO PROCESSO

- Outras Informações sobre a Manufatura:
 - ferramentas
 - dispositivos de fixação







Placas para tornos



*Planejamento do Processo
Assistido por Computador - CAPP*



*João Carlos E. Ferreira
GRIMA, Dep. Eng. Mecânica, UFSC
<http://www.grima.ufsc.br>*

GRIMA