

PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM

- **Tarefas Envolvidas no Projeto de Operações de Usinagem:**
 - Planejamento do roteamento \Rightarrow operações para fabricar uma peça \Rightarrow ordem lógica
 - Instruções suficientemente detalhadas para execução da usinagem ?
 - Projeto (detalhamento) das operações é necessário
 - ◇ seleção da máquina e ferramental para cada operação;
 - ◇ arranjo da sequência de operações elementares em cada operação;
 - ◇ determinação dos sobre-materiais para cada superfície a ser usinada;
 - ◇ determinação das cotas e tolerâncias de fabricação para cada operação;
 - ◇ determinação das condições de usinagem para cada operação.
 - ◇ estimativa dos tempos padrões para cada operação.



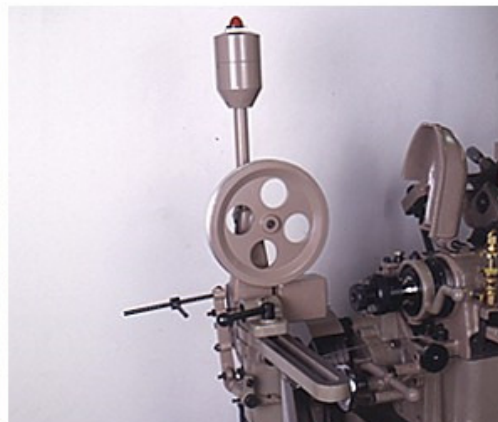
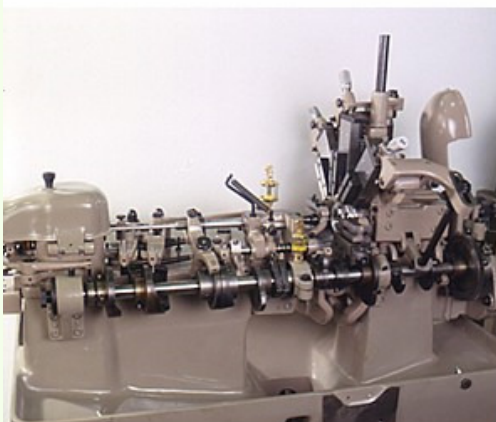
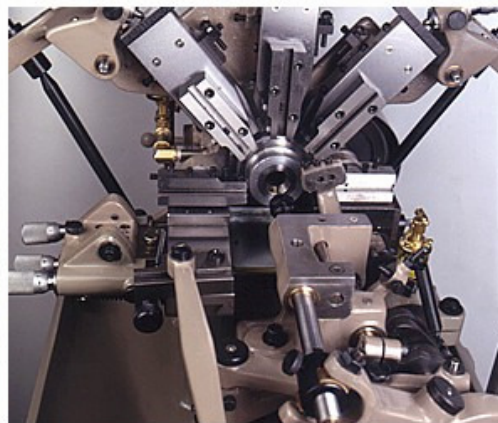
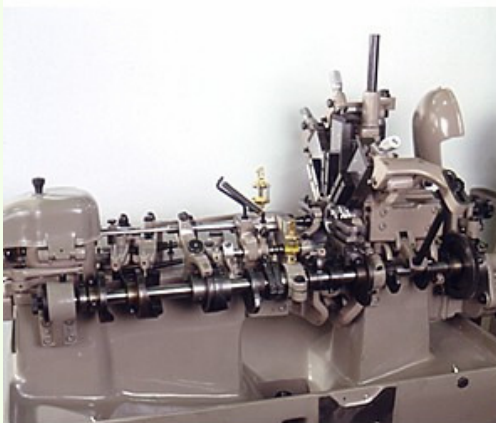
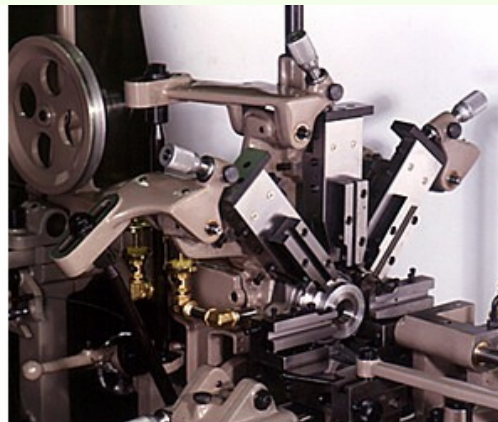
PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM

- **Seleção de Máquinas:**

- ◇ A precisão da máquina-ferramenta deve equivaler-se à precisão exigida na usinagem.
 - ◇ As dimensões da área de trabalho da máquina-ferramenta devem ser maiores do que as maiores dimensões da peça.
 - ◇ A máquina deve possuir potência suficiente para executar as operações necessárias.
 - ◇ A rigidez da máquina deve se manter ao longo de todo o ciclo de usinagem.
 - ◇ A eficiência da máquina deve satisfazer as exigências de produção.
-
- * Máquinas convencionais \Rightarrow experiência do operador \uparrow ; pequenos lotes.
 - * Máquinas CNC \Rightarrow pequenos e médios lotes.



Torno Automático



*Fabricação de
peças para
relógios, câmeras,
equipamentos
óticos, rádio,
televisão, motos e
máquinas de
costura*

*João Carlos E. Ferreira
GRIMA, Dep. Eng. Mecânica, UFSC
www.grima.ufsc.br*

GRIMA

PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM

- **Seleção de Dispositivos de Fixação:**
 - ◇ Dispositivos de fixação de propósito geral, como morsas, placas de três castanhas devem ser selecionados sempre que possível.
 - ◇ Dispositivos específicos \Rightarrow selecionados somente em caso de absoluta necessidade \rightarrow precisão de usinagem, aumento da taxa de produção, e a redução da mão-de-obra.
 - ◇ Dispositivos modulares \Rightarrow prototipagem, produção em pequenos lotes.





Placa de três castanhas



Placa de quatro castanhas





Pinças



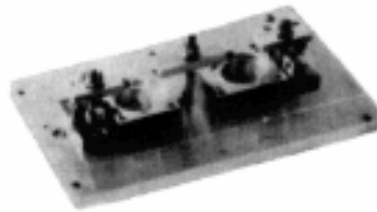
*Planejamento do Processo
Assistido por Computador - CAPP*



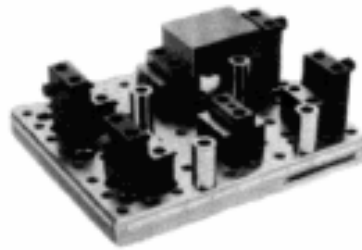
*João Carlos E. Ferreira
GRIMA, Dep. Eng. Mecânica, UFSC
www.grima.ufsc.br*

GRIMA

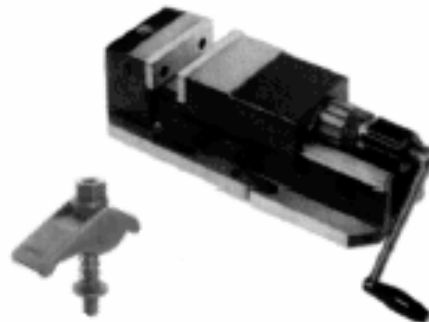
Permanent Fixturing
(special purpose)



Modular Fixturing

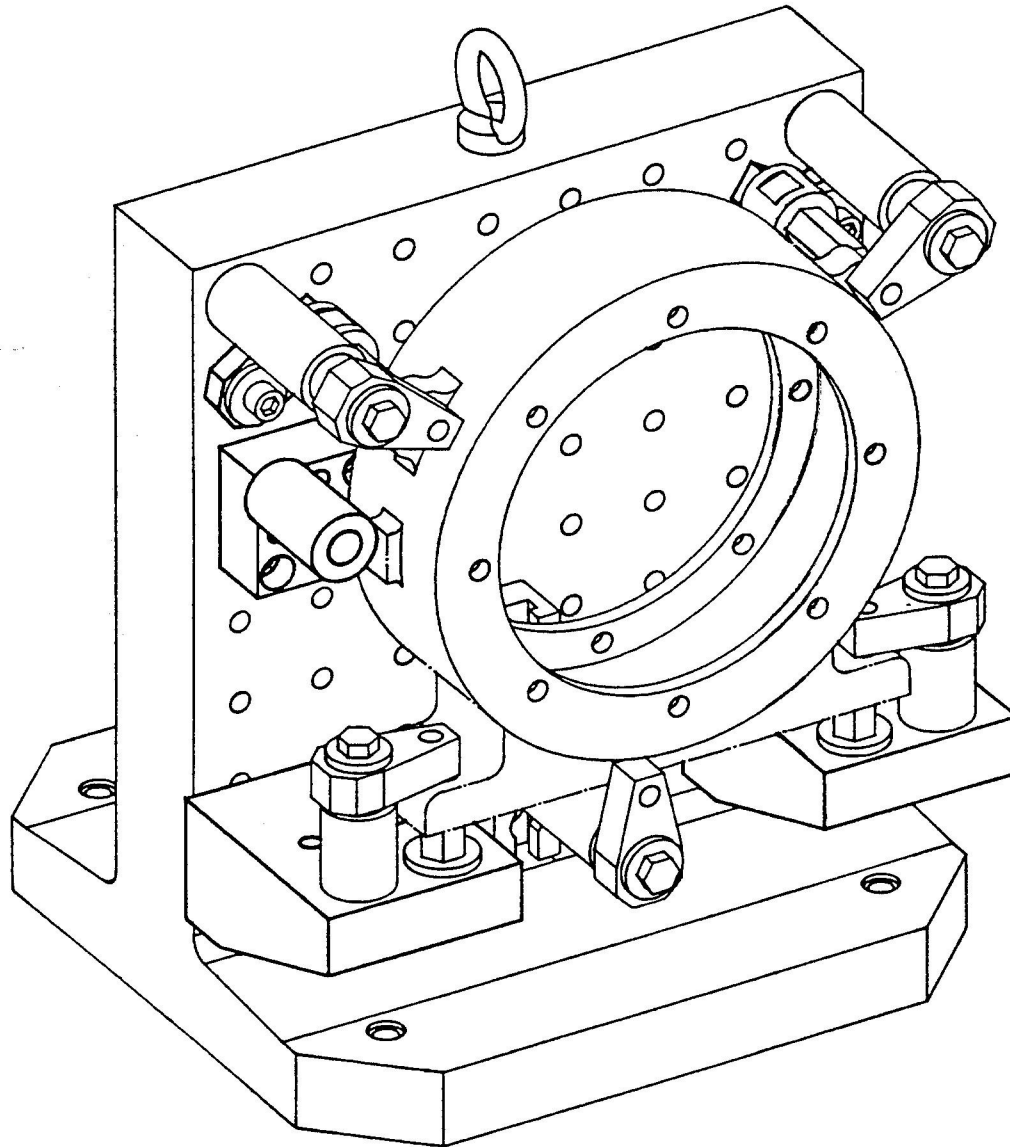


General Purpose
(Vises, chucks,
subplates, and
table-mounted
clamps)



Tipos de dispositivos de fixação de peças





Exemplo de dispositivo modular de fixação de peças

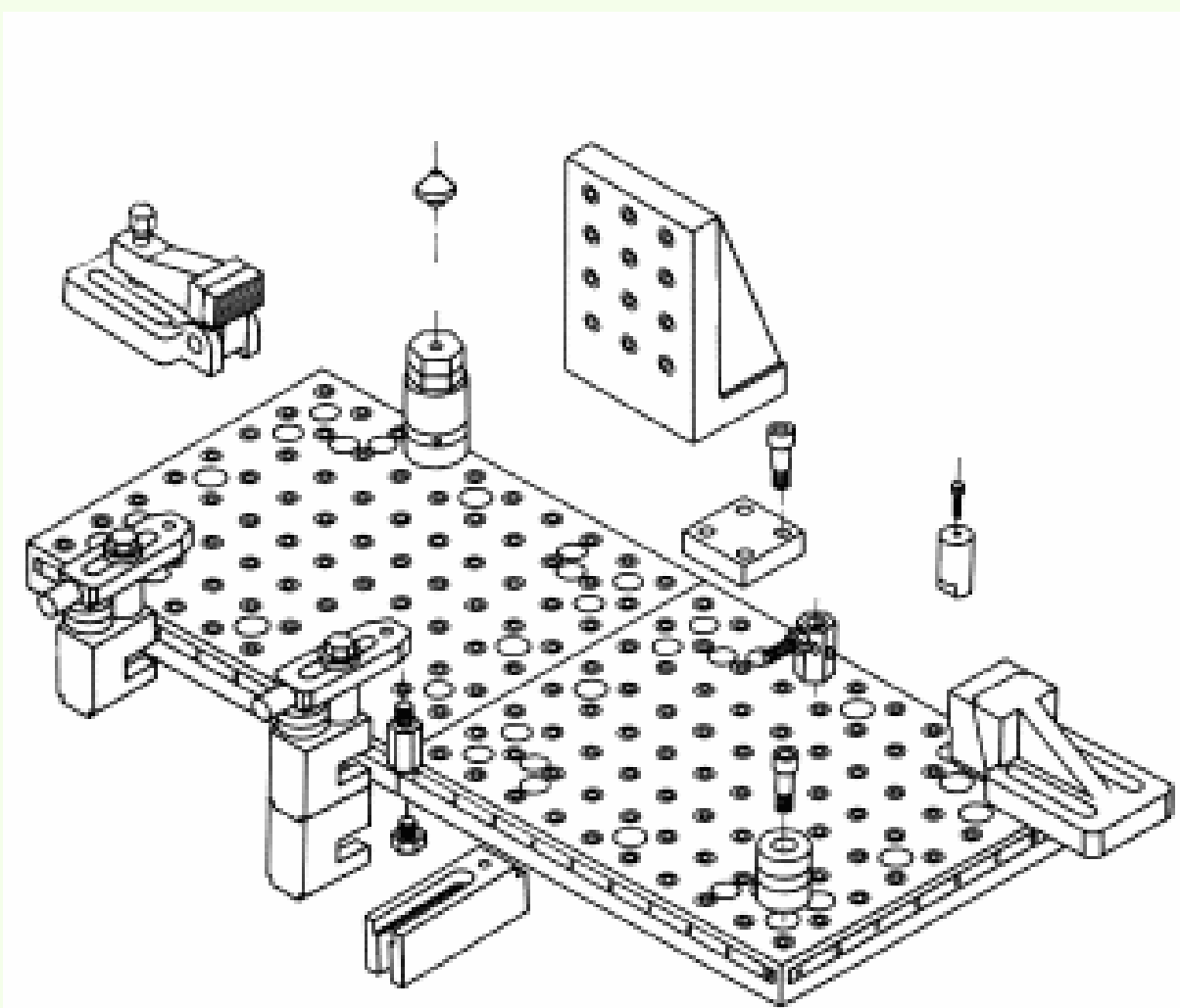


**Planejamento do Processo
Assistido por Computador - CAPP**



João Carlos E. Ferreira
GRIMA, Dep. Eng. Mecânica, UFSC
www.grima.ufsc.br

GRIMA



Exemplo de dispositivo modular de fixação de peças



*Planejamento do Processo
Assistido por Computador - CAPP*



*João Carlos E. Ferreira
GRIMA, Dep. Eng. Mecânica, UFSC
www.grima.ufsc.br*



PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM

- **Seleção de Ferramentas:**

- ◇ Depende dos processos de usinagem, dimensões da superfície a ser usinada, e da precisão de usinagem. Na maioria dos casos, seleciona-se ferramentas padronizadas.
- ◇ Ferramentas especiais ou combinadas \Rightarrow selecionadas somente quando houver uma boa justificativa.
- ◇ Problema complexo



FERRAMENTAS DE USINAGEM



PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM

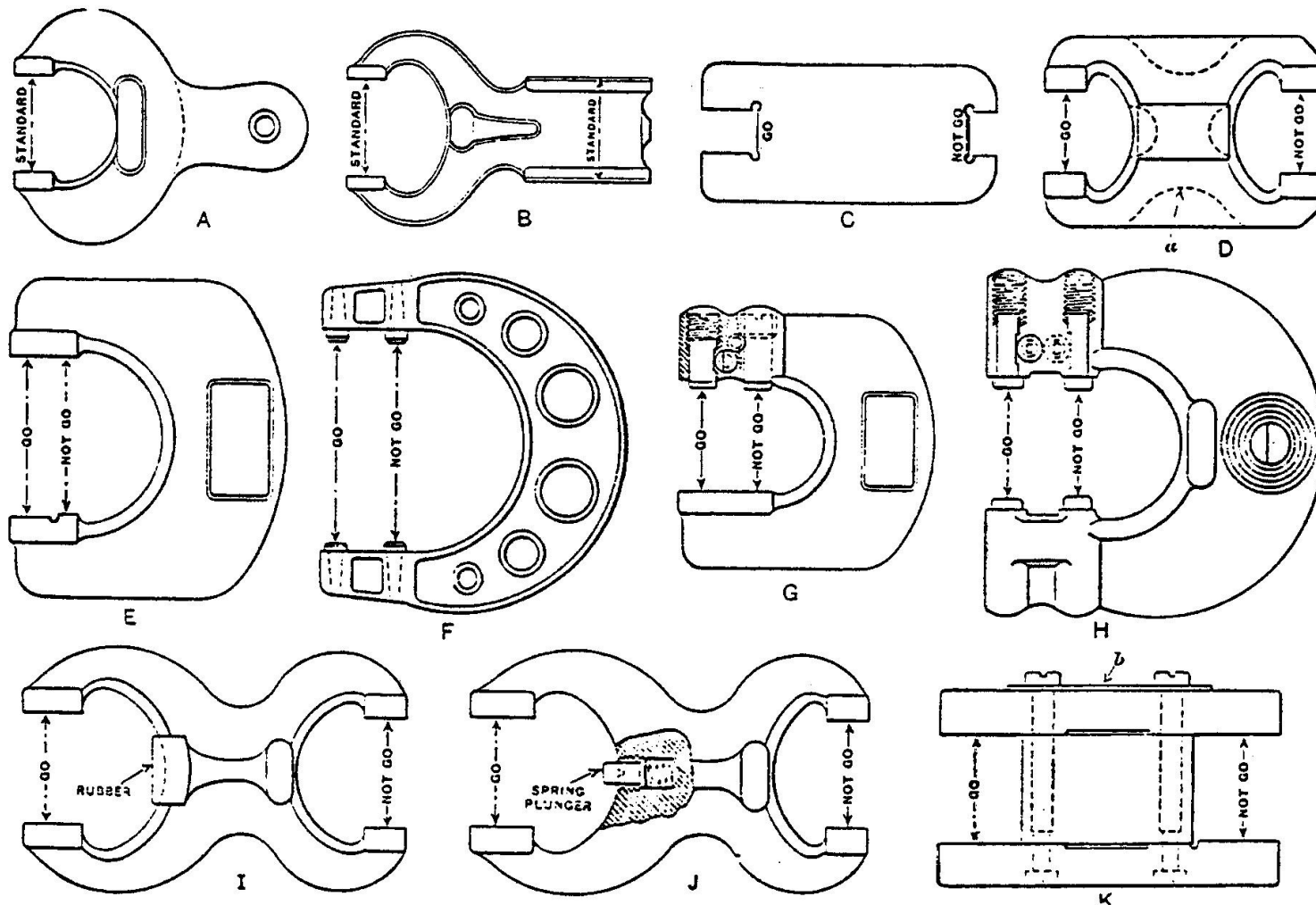
- **Seleção de Instrumentos de Medição:**

- Capabilidade do instrumento \leq tolerância sendo medida / 10

- ◇ Volume de produção:

- * produção em pequenos lotes \Rightarrow instrumentos de medição gerais (p.ex. paquímetros, micrômetros)
 - * produção em massa ou em grandes lotes \Rightarrow p.ex. calibres
 - * Máquina de medição por coordenadas (CMM)?





Calibres utilizados na produção em lotes grandes e produção em massa



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



João Carlos E. Ferreira
GRIMA, Dep. Eng. Mecânica, UFSC
www.grima.ufsc.br



PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM

- **Determinação de Sobre-Materiais de Usinagem**
 - Sobre-Materiais de Usinagem
 - Camada de material que deve ser removida de superfície da peça para que a precisão e a qualidade da superfície sejam obtidas.

Sobrematerial (Z_i)

=

Cota de fabricação na operação anterior (L_{i+1})

-

Cota de fabricação na operação atual (L_i)



PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM

- **Determinação de Sobre-Materiais de Usinagem**

- Sobre-material total “ Z_t ” (incluindo todas as operações) = soma dos sobre-materiais referentes a cada operação, desde a matéria-prima até a peça na forma final

$$Z_t = \sum_{i=1}^n Z_i$$

- » onde: n = número de operações de usinagem (ou operações elementares) executadas sobre a superfície.



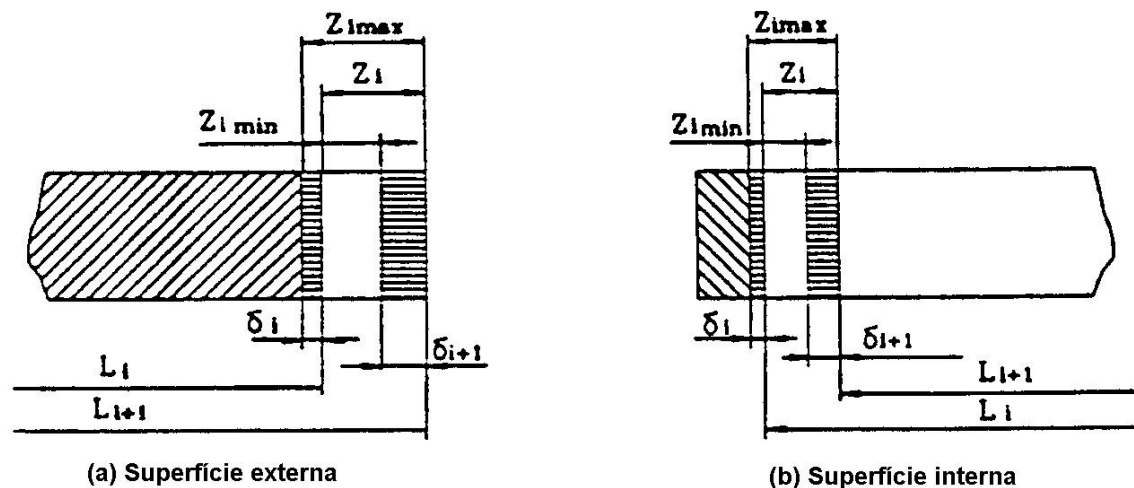
PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM

- **Determinação de Sobre-Materiais de Usinagem**
 - A cota de fabricação não é um valor fixo (faixa de tolerância δ).
 - ◇ Os sobre-materiais de usinagem variam de peça para peça.
 - ◇ “Sobre-material de usinagem” \Rightarrow valor nominal



<i>Superfície Externa</i>		<i>Superfície Interna</i>	
$(Z_i)_{max} = (L_{i+1})_{max} - (L_i)_{min}$ $= L_{i+1} - (L_i - \delta_i)$ $= (L_{i+1} - L_i) + \delta_i$ $= Z_i + \delta_i$	$(Z_i)_{min} = (L_{i+1})_{min} - (L_i)_{max}$ $= (L_{i+1} - \delta_{i+1}) - L_i$ $= (L_{i+1} - L_i) - \delta_{i+1}$ $= Z_i - \delta_{i+1}$	$(Z_i)_{max} = (L_i)_{max} - (L_{i+1})_{min}$ $= (L_i + \delta_i) - L_{i+1}$ $= (L_i - L_{i+1}) + \delta_i$ $= Z_i + \delta_i$	$(Z_i)_{min} = (L_i)_{min} - (L_{i+1})_{max}$ $= L_i - (L_{i+1} + \delta_{i+1})$ $= (L_i - L_{i+1}) - \delta_{i+1}$ $= Z_i - \delta_{i+1}$

Obs: Tolerâncias na direção do material



◇ Em ambos os casos, a variação no sobre-material é dada por:

$$\delta_{Z_i} = (Z_i)_{max} - (Z_i)_{min} = \delta_i + \delta_{i+1}$$

◇ Superfície cilíndrica:

$$2Z_i = L_{i+1} - L_i$$

Sobre-materiais de usinagem nominal, máximo e mínimo



Planejamento do Processo
Assistido por Computador - CAPP



João Carlos E. Ferreira
GRIMA, Dep. Eng. Mecânica, UFSC
www.grima.ufsc.br



PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM

- Fatores Relacionados ao Sobre-Material de Usinagem:
 - ◇ Determinação do sobre-material de usinagem \Rightarrow a qualidade da peça a ser fabricada, e a eficiência da produção.
 - ◇ Sobre-material $\uparrow \Rightarrow$ tempo de usinagem \uparrow ; consumo de energia $\uparrow \Rightarrow$ custo de produção \uparrow ; eficiência da produção \downarrow .
 - ◇ Sobre-material $\downarrow \Rightarrow$ rugosidade superficial e a camada superficial defeituosa causada pela operação precedente não será removida completamente \Rightarrow qualidade insatisfatória da superfície da peça.
 - ◇ Para determinar de maneira adequada os sobre-materiais, os seguintes fatores devem ser considerados:



PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM

(a) A qualidade da superfície resultante da operação precedente:

⇒ *Rugosidade superficial e a camada defeituosa*

⇒ Um passe ?

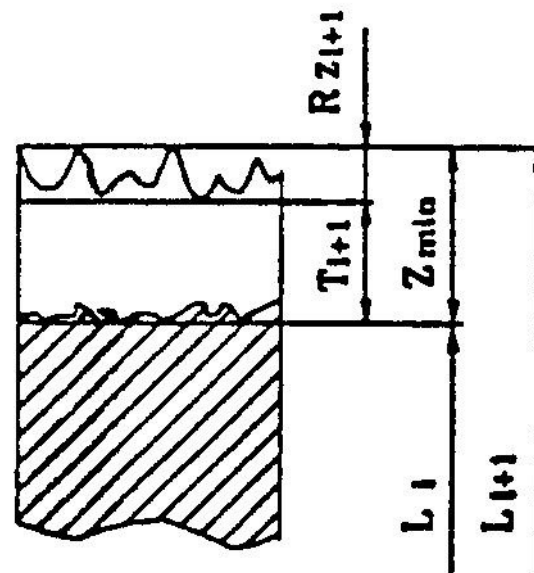
$$Z_i \geq R_{Z_{i+1}} + T_{i+1}$$

onde:

- Z_i = sobre-material na operação atual;
- $R_{Z_{i+1}}$ = altura média das irregularidades resultantes da operação precedente;
- T_{i+1} = profundidade da camada superficial defeituosa resultante da operação precedente.



PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM



Sobre-material, rugosidade e profundidade da camada defeituosa



<i>Processo de Usinagem</i>	<i>R_z (μm)</i>	<i>T (μm)</i>	<i>Processo de Usinagem</i>	<i>R_z (μm)</i>	<i>T (μm)</i>
Torneamento cilíndrico externo (desbaste)	15-100	40-60	Retificação cilíndrica interna	1,7-15	20-30
Torneamento cilíndrico externo (semi-acabamento)	5-45	30-40	Retificação plana	1,7-15	15-35
Faceamento (desbaste)	15-225	40-60	Fresamento (desbaste)	15-225	40-60
Faceamento (semi-acabamento)	5-45	30-40	Fresamento (semi-acabamento)	5-45	25-40
Sangramento	45-225	60-70	Aplainamento (desbaste)	15-100	40-50
Furação	45-225	40-60	Aplainamento (semi-acabamento)	5-45	25-40
Rebaixamento (desbaste)	25-225	40-60	Brochamento	1,7-8,5	10-20
Rebaixamento (semi-acabamento)	25-100	30-40	Lapidação	0-1,6	3-5
Mandrillamento (desbaste)	25-225	30-50	Super-acabamento	0-0,8	0,2-0,3
Mandrillamento (semi-acabamento)	5-25	25-40	Forjamento	100-225	500-600
Alargamento (desbaste)	25-100	25-30	Estiramento a frio	25-100	80-100
Alargamento (semi-acabamento)	8,5-25	10-20			
Retificação cilíndrica externa	1,7-15	15-25	Extrusão	100-225	300-350

Valores de R_z e T para vários processos de usinagem



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



João Carlos E. Ferreira
GRIMA, Dep. Eng. Mecânica, UFSC
www.grima.ufsc.br



PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM

- (b) Tolerância de fabricação da operação precedente: O sobre-material mínimo de uma superfície depende da tolerância de fabricação da operação precedente, isto é:

$$(Z_i)_{\min} = Z_i - \delta_{i+1}$$

Portanto,

$$Z_i \geq R_{Z_{i+1}} + T_{i+1} + \delta_{i+1}$$

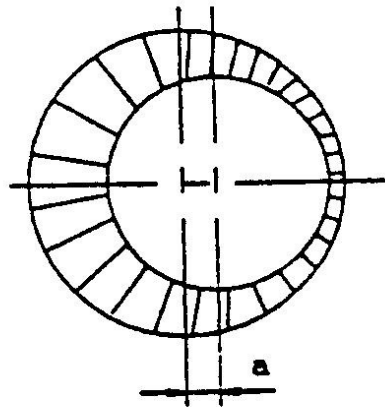
onde δ_{i+1} é a tolerância “na direção do material” da operação anterior.



PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM

(c) Precisão posicional da operação precedente:

- Exemplo: erro de posição do eixo de rotação de uma superfície cilíndrica ocorrido na operação precedente



*Influência do erro de
posição no sobre-
material*

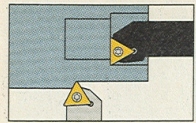


PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM

- Métodos para Determinar os Sobre-Materiais de Usinagem
 - ◇ Cálculo:
 - * Desvantagem → ausência de dados experimentais confiáveis.
 - ◇ Estimativa baseada na experiência:
 - * Para evitar sobre-materiais insuficientes, que poderão resultar em refugos, estes sobre-materiais são normalmente maiores do que o necessário.
 - ◇ Usando-se tabelas de sobre-materiais:
 - Manuais (“handbooks”).



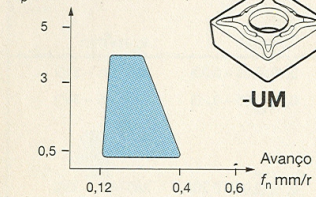
Sandvik – Usinagem Média de Aços com Pastilhas Positivas T-MAX U



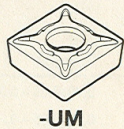
USINAGEM MÉDIA DE AÇOS

ISO/ANSI
P

Profundidade de corte
 a_p mm



T-MAX U



-UM

Geometria -UM

Geometria muito positiva resulta em baixas forças de corte e ação de corte suave.

A aresta ondulada assegura fluxo suave dos cavacos.

Recomendação de primeira escolha para usinagem interna.

Área de aplicação: CCMT 09 T3 08-UM

$a_p = 0,5 - 4,0$ mm

$f_n = 0,12 - 0,40$ mm/r

PRIMEIRA ESCOLHA



-UM / GC4025

Excelente combinação de alta resistência ao desgaste e boa segurança da aresta de corte

Para maior produtividade
Alta resistência ao desgaste



-UM / GC4015

Para maior segurança
Maiores demandas de tenacidade

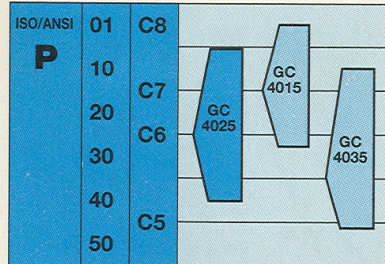
Boa segurança da aresta de corte



-UM / GC4035

Classes de pastilhas

Resistência ao desgaste



Tenacidade

Aço de baixa liga, normalizado,
HB 180

Dados de corte/classe CMC 02.1		Avanço f_n mm/r		
		0,2	0,3	0,4
GC4015	v_c m/min	370	310	265
GC4025	v_c m/min	325	275	230
GC4035	v_c m/min	270	210	175

USINAGEM MÉDIA DE AÇOS

Pastilhas positivas T-MAX U

ISO/ANSI
P

CÓDIGO PARA PEDIDO

Porta pastilhas,
página 58 – 60.

Face única



Produtividade
GC4015

Versatilidade
GC4025

Segurança
GC4035

DADOS DE CORTE COROKEY, CMC 02.1

Valor inicial (faixa)

a_p mm f_n mm/r v_c m/min

CCMT 09 T3 04-UM	☆	★	☆	1,3 (0,5 – 4,0)	0,20 (0,08 – 0,30)	295 (340 – 255)
09 T3 08-UM	☆	★	☆	1,3 (0,5 – 4,0)	0,25 (0,12 – 0,40)	275 (325 – 225)
12 04 04-UM	☆	★	☆	1,3 (0,5 – 4,0)	0,20 (0,08 – 0,30)	295 (340 – 255)
12 04 08-UM	☆	★	☆	1,3 (0,5 – 4,0)	0,25 (0,12 – 0,40)	275 (325 – 225)
DCMT 11 T3 04-UM	☆	★	☆	1,3 (0,5 – 4,0)	0,20 (0,08 – 0,30)	295 (340 – 255)
11 T3 08-UM	☆	★	☆	1,3 (0,5 – 4,0)	0,25 (0,12 – 0,40)	275 (325 – 225)
TCMT 11 02 04-UM	☆	★	☆	0,5 (0,2 – 2,0)	0,10 (0,05 – 0,20)	335 (340 – 295)
11 02 08-UM	☆	★	☆	1,3 (0,5 – 3,0)	0,25 (0,12 – 0,40)	275 (325 – 225)
16 T3 04-UM	☆	★	☆	1,3 (0,5 – 4,0)	0,20 (0,08 – 0,30)	295 (340 – 255)
16 T3 08-UM	☆	★	☆	1,3 (0,5 – 4,0)	0,25 (0,12 – 0,40)	275 (325 – 225)
VBMT 16 04 04-UM	☆	★	☆	1,3 (0,5 – 4,0)	0,20 (0,08 – 0,30)	295 (340 – 255)
16 04 08-UM	☆	★	☆	1,3 (0,5 – 4,0)	0,25 (0,12 – 0,40)	275 (325 – 225)
RCMT 08 03 M0		★	☆	2,0 (0,8 – 3,2)	0,40 (0,08 – 0,80)	225 (340 – 155)
10 T3 M0		★	☆	2,5 (1,0 – 4,0)	0,50 (0,10 – 1,00)	205 (335 – 135)
12 04 M0		★	☆	3,0 (1,2 – 4,8)	0,60 (0,12 – 1,20)	185 (325 – 120)

★ = Primeira escolha com dados de corte Corokey.

☆ = Alternativa. Recomendações para velocidades de corte, consulte a tabela na página anterior.

Exemplo para pedido: 10 peças
CCMT 09 T3 04-UM 4025

Diâmetro (mm)	Sobre-material no diâmetro (mm)				Tolerância no Diâmetro (μm)	
	Torneamento (desbaste)		Torneamento (semi-acabamento)		Torneamento (limpeza) - IT14	Torneamento (desbaste) - IT13
	Comprimento (mm)		Comprimento (mm)			
	≤ 200	$> 200-400$	≤ 200	$> 200-400$		
≤ 10	1,5	1,7	0,8	1,0	360	220
$> 10-18$	1,5	1,7	1,0	1,3	430	270
$> 18-30$	2,0	2,2	1,3	1,3	520	330
$> 30-50$	2,0	2,2	1,4	1,5	620	390
$> 50-80$	2,3	2,5	1,5	1,8	740	460
$> 80-120$	2,5	2,8	1,5	1,8	870	540
$> 120-180$	2,5	2,8	1,8	2,0	1000	630
$> 180-260$	2,8	3,0	2,0	2,3	1150	720
$> 260-360$	3,0	3,3	2,0	2,3	1300	810

Sobre-materiais para o torneamento de superfícies cilíndricas externas



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



João Carlos E. Ferreira
GRIMA, Dep. Eng. Mecânica, UFSC
www.grima.ufsc.br



Diâmetro (mm)	Sobre-material no diâmetro (mm)		Tolerância no diâmetro (μm)	
	Retificação (desbaste)	Retificação (semi-acabamento)	Torneamento (semi-acabamento) - IT11	Retificação (desbaste) - IT9
≤ 10	0,2	0,1	90	36
$> 10-18$	0,2	0,1	110	43
$> 18-30$	0,2	0,1	130	52
$> 30-50$	0,3	0,1	160	62
$> 50-80$	0,3	0,2	190	74
$> 80-120$	0,3	0,2	220	87
$> 120-180$	0,5	0,3	250	100
$> 180-260$	0,5	0,3	290	115
$> 260-360$	0,5	0,3	320	130

Sobre-materiais para a retificação de superfícies cilíndricas externas



*Planejamento do Processo
Assistido por Computador - CAPP*



*João Carlos E. Ferreira
GRIMA, Dep. Eng. Mecânica, UFSC
www.grima.ufsc.br*



Diâmetro (mm)	Sobre-material no diâmetro (mm)		Tolerância no diâmetro (μm)	
	Retificação (desbaste)	Retificação (semi-acabamento)	Mandrilamento (semi-acabamento) - IT10	Retificação (desbaste) - IT9
> 10-18	0,2	0,1	70	43
> 18-30	0,2	0,1	84	52
> 30-50	0,2	0,1	100	62
> 50-80	0,3	0,1	120	74
> 80-120	0,3	0,2	140	87
> 120-180	0,3	0,2	160	100

Sobre-materiais para a retificação de furos



Diâmetro (mm)	Sobre-material no diâmetro (mm)		Tolerância no diâmetro (μm)	
	Mandrilamento (desbaste)	Mandrilamento (semi-acabamento)	Furação IT13	Mandrilamento (desbaste) - IT12
≤ 18	0,8	0,5	270	180
> 18-30	1,2	0,8	330	210
> 30-50	1,5	1,0	390	250
> 50-80	2,0	1,0	460	300
> 80-120	2,0	1,3	540	350
> 120-180	2,0	1,5	630	400

Sobre-materiais para o mandrilamento de furos



*Planejamento do Processo
Assistido por Computador - CAPP*



*João Carlos E. Ferreira
GRIMA, Dep. Eng. Mecânica, UFSC
www.grima.ufsc.br*



Comprimento da peça (mm)	Sobre-material na face a ser faceada (semi-acabamento) (mm)			Tolerância no faceamento (desbaste) (μm)
	Máxima dimensão da face			
	≤ 30	$> 30-120$	$> 120-260$	IT13
≤ 10	0,5	0,6	1,0	220
$> 10-18$	0,5	0,7	1,0	270
$> 18-30$	0,6	1,0	1,2	330
$> 30-50$	0,6	1,0	1,2	390
$> 50-80$	0,7	1,0	1,3	460
$> 80-120$	1,0	1,0	1,3	540
$> 120-180$	1,0	1,3	1,5	630
$> 180-260$	1,0	1,3	1,5	720

Sobre-materiais para o faceamento (semi-acabamento)



Planejamento do Processo
Assistido por Computador - CAPP



João Carlos E. Ferreira
GRIMA, Dep. Eng. Mecânica, UFSC
www.grima.ufsc.br



Comprimento da peça (mm)	Sobre-material na face a ser retificada (mm)			Tolerância no faceamento (semi-acabamento) (μm)
	Máxima dimensão da face			
	≤ 30	$> 30-120$	$> 120-260$	IT11
≤ 10	0,2	0,2	0,3	90
$> 10-18$	0,2	0,3	0,3	110
$> 18-30$	0,2	0,3	0,3	130
$> 30-50$	0,2	0,3	0,3	160
$> 50-80$	0,3	0,3	0,4	190
$> 80-120$	0,3	0,4	0,5	220
$> 120-180$	0,3	0,4	0,5	250
$> 180-260$	0,3	0,5	0,5	290

Sobre-materiais para a retificação plana



PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM

- **Determinação de Cotas e Tolerâncias de Fabricação:**
 - produção em massa, em lotes grandes, e em peças de precisão.
- ***Determinação da Cota e Tolerância de Fabricação de uma Superfície***
 - Cota e tolerância de fabricação (p.ex. superfície externa) ← Cota e tolerância de projeto
 - Cotas de fabricação de outras operações ← sobre-materiais de usinagem.
 - Ordem inversa (peça acabada → matéria-prima).

$$L_2 = L_1 + Z_1$$

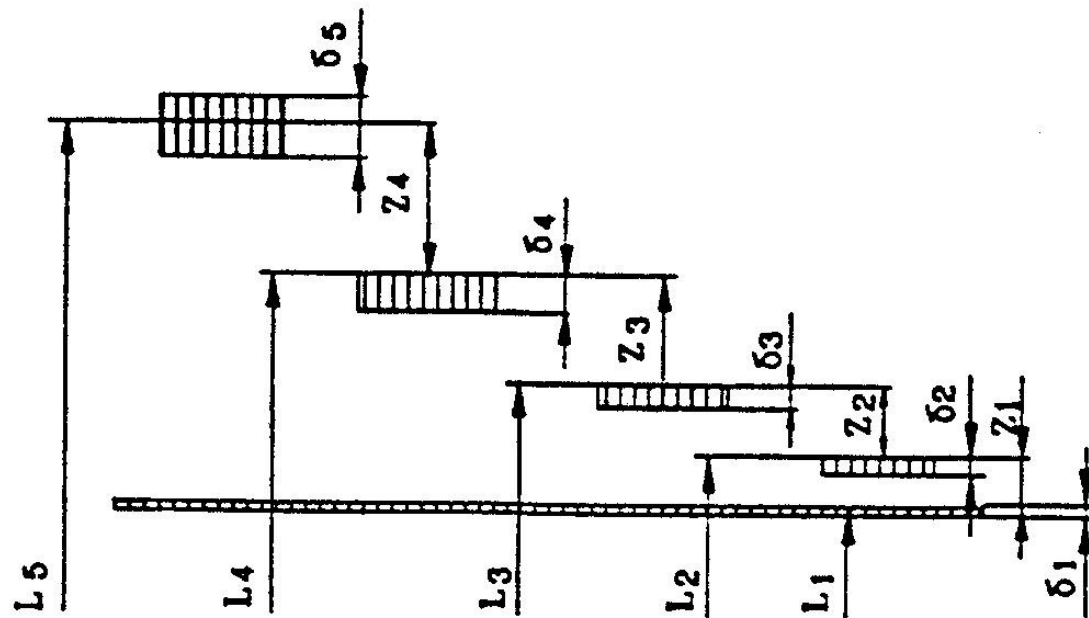
$$L_3 = L_2 + Z_2 = L_1 + Z_1 + Z_2$$

$$L_4 = L_3 + Z_3 = L_1 + Z_1 + Z_2 + Z_3$$

$$L_5 = L_4 + Z_4 = L_1 + Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4$$



PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM



Determinação das cotas de fabricação de uma superfície plana externa



PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM

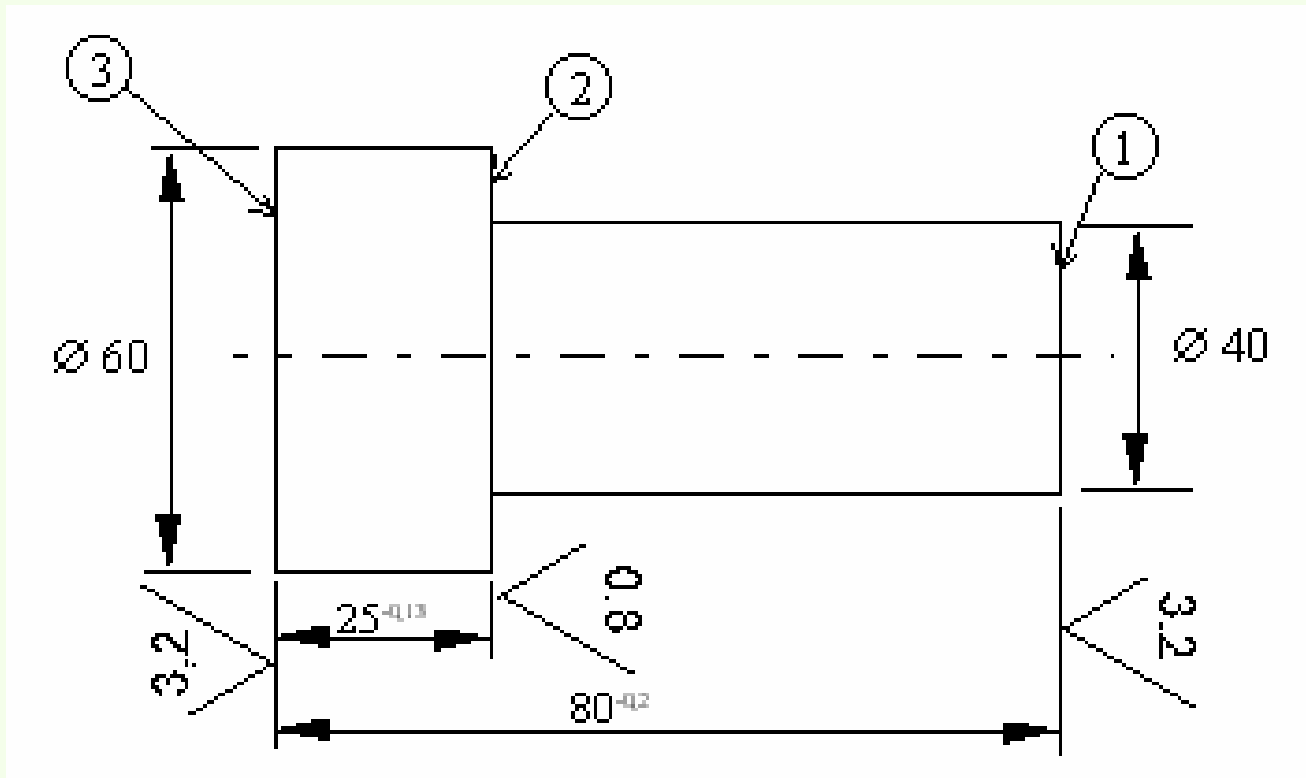
- A tolerância de fabricação depende do processo de usinagem empregado.
- Todas as tolerâncias de fabricação nas operações intermediárias são determinadas de acordo com a precisão de usinagem que pode ser obtida economicamente.

<i>Processo de usinagem</i>	<i>Sobre-material (mm)</i>	<i>Cota de fabricação (mm)</i>	<i>Tolerância de fabricação (mm)</i>	<i>Tabela</i>
Retificação (semi-acabamento)	0,2	120	+0,022	5.4
Retificação (desbaste)	0,3	119,8	+0,087	5.4
Mandrilamento (semi-acabamento)	1,3	119,5	+0,140	5.5
Mandrilamento (desbaste)	2,0	118,2	+0,350	5.5
Matéria-prima		$\leq 116,2$		

Determinação das cotas e tolerâncias de fabricação para operações de usinagem para o furo de diâmetro $120^{+0,022}$ da peça exemplo.

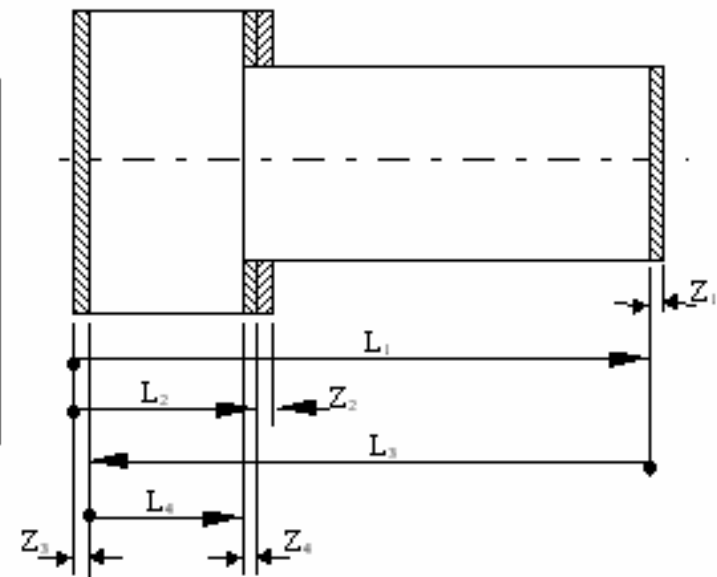


PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM



PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM

<i>Plano de Processo 1</i>				
<i>No da operação</i>	<i>Operação elementar</i>	<i>Superfície sendo usinada</i>	<i>Referência de fabricação</i>	<i>Cota</i>
OP 15	Faceamento(sa)	1	3	L ₁
	Faceamento(sa)	2	3	L ₂
<i>Virar Peça</i>				
OP 20	Faceamento(sa)	3	1	L ₃
OP 25	Retificação	2	3	L ₄

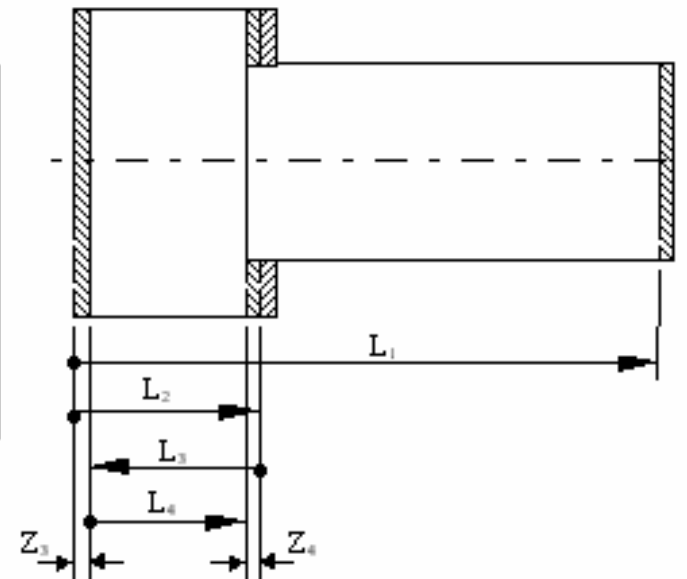


Peça exemplo: Plano de processo 1



PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM

<i>Plano de Processo 2</i>				
<i>No da operação</i>	<i>Operação elementar</i>	<i>Superfície sendo usinada</i>	<i>Referência de fabricação</i>	<i>Cota</i>
OP 15	Faceamento(sa)	1	3	L_1
	Faceamento(sa)	2	3	L_2
<i>Virar Peça</i>				
OP 20	Faceamento(sa)	3	2	L_3
OP 25	Retificação	2	3	L_4

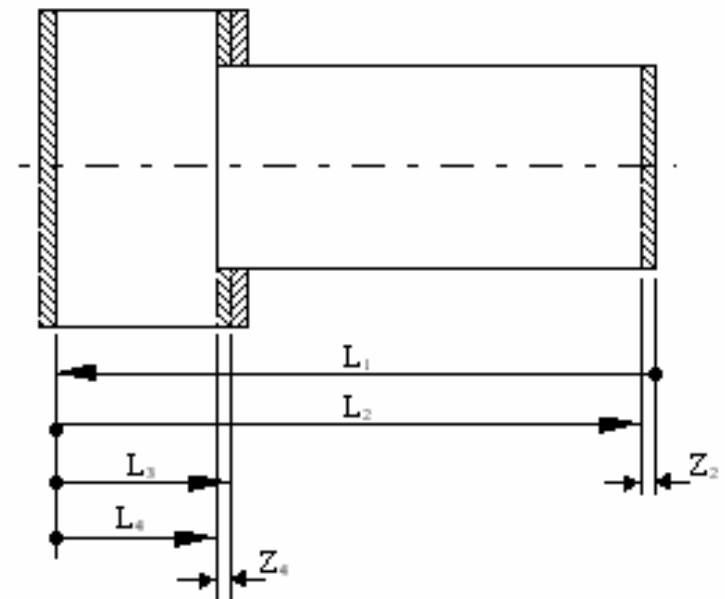


Peça exemplo: Plano de processo 2



PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM

<i>Plano de Processo 3</i>				
<i>No da operação</i>	<i>Operação elementar</i>	<i>Superfície sendo usinada</i>	<i>Referência de fabricação</i>	<i>Cota</i>
OP 15	Faceamento(sa)	3	1	L ₁
<i>Virar Peça</i>				
OP 20	Faceamento(sa)	1	3	L ₂
	Faceamento(sa)	2	3	L ₃
OP 25	Retificação	2	3	L ₄



Peça exemplo: Plano de processo 3



Planejamento do Processo
Assistido por Computador - CAPP



João Carlos E. Ferreira
GRIMA, Dep. Eng. Mecânica, UFSC
www.grima.ufsc.br



PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM

- **Determinação de Condições de Usinagem**
 - Condições de usinagem \Rightarrow influencia significativamente a precisão e a eficiência de usinagem, a qualidade da superfície, a vida da ferramenta, etc.
 - Produção em massa; grandes lotes; máquinas automáticas; máquinas de comando numérico.
 - Peças de elevada qualidade superficial são fabricadas.



PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM

- **Determinação de Condições de Usinagem**
 - “Handbooks” ou catálogos de fabricantes de ferramentas,
 - Método “sequencial” \Rightarrow ordem definida das condições de corte.
 - Primeiramente, a profundidade de corte a_p é estabelecida. Se o sobre-material puder ser removido num único passe, a profundidade de corte será igual ao sobre-material. A profundidade de corte, em operações de desbaste, é restringida pela potência da máquina, pela rigidez da peça, pelo método de fixação, etc. Algumas vezes, pode ser necessário remover o sobre-material em vários passes, reduzindo-se portanto a profundidade de corte. No caso de operações de semi-acabamento e acabamento, a usinagem é feita em geral num único passe.



PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM

- **Determinação de Condições de Usinagem**

- A próxima variável a ser selecionada é o avanço f , que depende da capacidade da máquina para executar operações de desbaste, e também do acabamento superficial para as operações de acabamento e semi-acabamento. O valor numérico real do avanço deve ser selecionado dentre aqueles disponíveis na máquina.
- Após selecionar-se a_p e f , a velocidade de corte pode ser determinada através da Equação expandida de Taylor, que é uma fórmula advinda da teoria da usinagem dos metais.

$$V_c = \frac{C_v}{a_p^{n_1} f^{n_2}}$$



PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM

- **Estimativa de Tempos Padrões:**

- fornecem os dados iniciais para a programação da produção, escalonamento de pessoal e cálculo de custos.
- tempo padrão \Rightarrow tempo necessário para executar uma tarefa bem definida (p.ex. uma operação) sob certas condições.
 - Ele deve refletir os avanços na tecnologia de manufatura e também a experiência obtida pelo operador e pessoal de engenharia.
- Tempo padrão unitário \Rightarrow composto pelo tempo de “setup”, tempo de processamento, tempo de manuseio, tempo de serviço e tempo de compensação.



PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM

- **Estimativa de Tempos Padrões:**

(a) Tempo de “setup” (t_{su}) \Rightarrow inclui todos os tempos necessários para preparar uma máquina para a tarefa \Rightarrow tempos para estudar o desenho da peça, o plano de operações, para obter os dispositivos de fixação e ferramentas, para instalar o ferramental, para ajustar a máquina e o ferramental, para inspecionar a matéria-prima, bem como terminar a tarefa (desmontar e retornar os dispositivos de fixação e ferramentas, e levar o lote de peças para o inspetor). O tempo de “setup” é calculado sobre um lote de n peças. A contribuição de cada peça é t_{su}/n .



PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM

- **Estimativa de Tempos Padrões:**

(b) Tempo de usinagem (t_u) \Rightarrow tempo em que a ferramenta está realmente em contato com a peça.

Ele pode ser calculado de acordo com o tipo de processo de usinagem, com o tamanho e material da peça, com a geometria e o material da ferramenta, e as condições de corte selecionadas.

Esta é a única parcela do tempo padrão que pode ser determinada de forma direta, enquanto as outras parcelas dependem de muitos fatores subjetivos, como o grau de habilidade do operador.



PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM

- **Estimativa de Tempos Padrões:**

(c) Tempo de manuseio (t_m) \Rightarrow tempo necessário pelo operador para manusear a peça, que relaciona-se diretamente ao tempo de processamento.

tempo de manuseio \Rightarrow composto pelo carregamento, descarregamento, fixação e retirada da peça, início e parada da máquina, inspeção de dimensões, alteração dos avanços e velocidades, etc. \Rightarrow pode ser estimado baseado na experiência, ou através do estudo de tempos e movimentos, levando em consideração o peso da peça, tamanho da máquina, tipo de ferramenta e fixação da peça à máquina.



<i>Elemento</i>	<i>Tempo (min)</i>
Carregar/descarregar peça entre pontas com placa de arraste	0,33
Peso = 1kg	0,50
Peso = 2kg	0,67
Peso = 4kg	0,83
Peso = 8kg	
Carregar/descarregar na placa de três castanhas	0,50
Peso = 1kg	0,67
Peso = 2kg	0,83
Peso = 4kg	1,00
Peso = 8kg	
Ligar/desligar árvore	0,03
Reverter árvore	0,03
Mudar velocidade	0,05
Mudar avanço	0,07
Engatar/desengatar avanço	0,02
Aproximar ferramenta, retornar (torneamento cilíndrico externo)	0,05
Aproximar ferramenta, retornar (torneamento cilíndrico interno)	0,08
Movimentar o carro porta-ferramenta (100mm)	0,1
Fixar/retirar ferramenta no cabeçote móvel	0,17
Aproximar/afastar cabeçote móvel	0,25

Tempos de manuseio para um torno paralelo de 350mm de barramento



<i>Elemento</i>	<i>Tempo (min)</i>
Ligar/desligar árvore	0,05
Engatar/desengatar avanço	0,07
Mudar velocidade de rotação da árvore	0,1
Mudar avanço	0,08
Aproximar peça da fresa até atingir correta posição da mesa	0,2
Movimentar mesa (100mm, sentido longitudinal)	0,1
Movimentar mesa (100mm, sentido transversal)	0,2
Movimentar mesa (100mm, sentido vertical)	0,6

Tempos de manuseio para uma fresadora horizontal (mesa 250 x 1250mm)



PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM

- **Estimativa de Tempos Padrões:**

(d) Tempo de serviço (t_s) \Rightarrow tempo que o operador passa no cuidado da área em torno da máquina (ou área de trabalho) \Rightarrow propósito é manter a área de trabalho em boas condições ao longo de todo o período de usinagem.

tempo de serviço \Rightarrow composto pelo tempo de manutenção (mudança e ajuste das ferramentas, dressagem de rebolos, reajuste da máquina, etc.), e para manutenção organizacional (retirada dos cavacos, inspeção, lubrificação e limpeza da máquina, etc.).

Normalmente o tempo de serviço é estimado como uma fração do tempo de usinagem e tempo de manuseio.



PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM

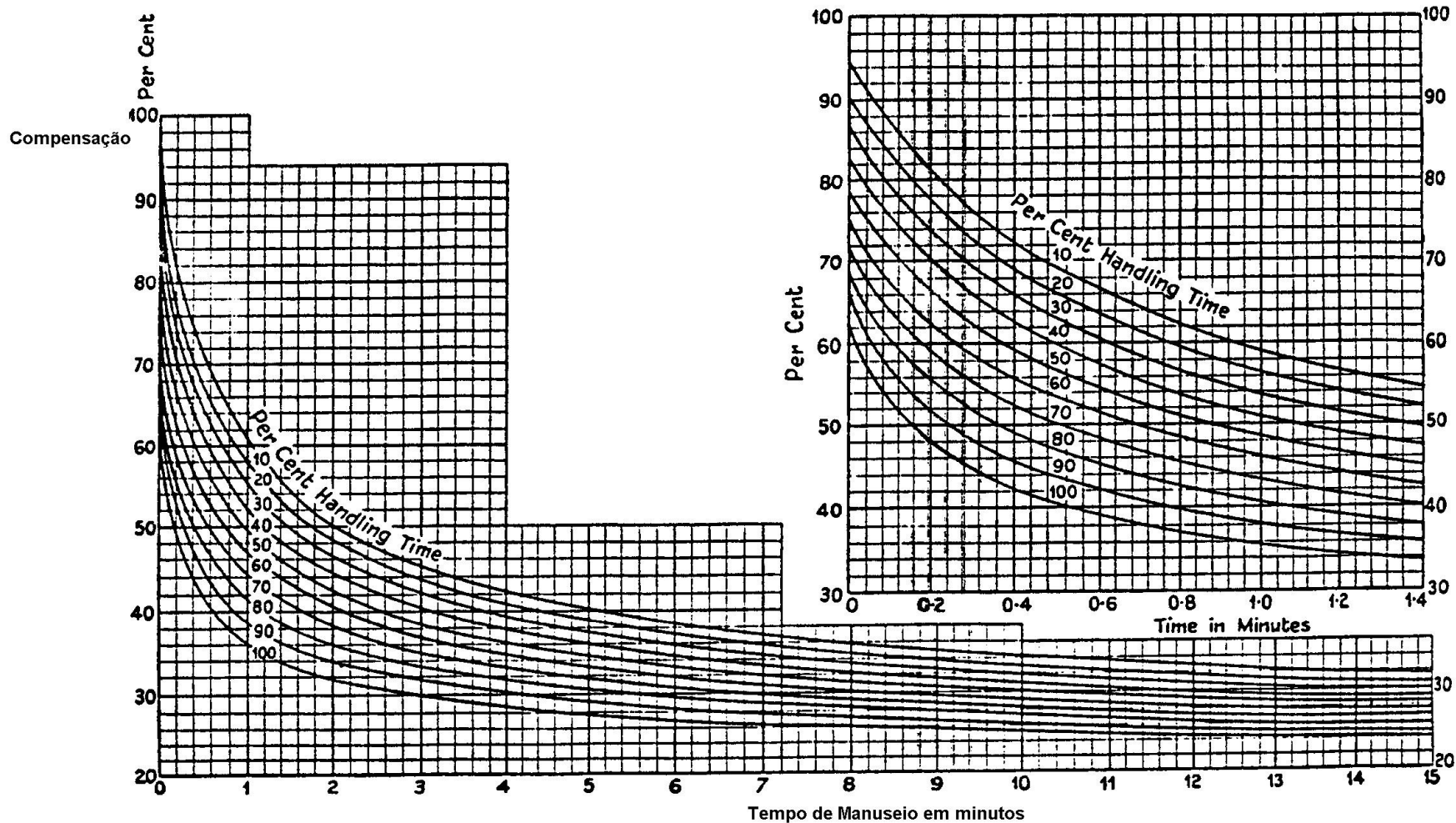
- **Estimativa de Tempos Padrões:**

(e) Tempo de compensação (t_c) \Rightarrow tempo de conveniência e descanso do operador (p.ex. fadiga devido ao serviço).

Também é estimado como uma fração dos tempos de usinagem e de manuseio.

Um dos meios de estimar-se o tempo de compensação \Rightarrow curvas de Merrick, que indicam a porcentagem a ser adicionada aos tempos de manuseio para efeito de compensação do operador.





Curvas de Merrick para a determinação de tempos de compensação



PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM

- **Estimativa de Tempos Padrões - Exemplo:**

- tempo de processamento = 15 min
- tempo de manuseio = 3,15 min
- tempo de compensação \Rightarrow curvas de Merrick:

$$t_p = t_m + t_u$$

$t_m \Rightarrow$ porcentagem do tempo de processamento = $3,15/15 \times 100 = 21\%$

- portanto \Rightarrow curva de 20% é usada.
- Do gráfico \Rightarrow para $t_m = 3,15$ min \Rightarrow compensação do operador aumenta o tempo de manuseio em 43%. Então:

$$\text{tempo de compensação} = 3,15 \times 43/100 = 1,35 \text{ min}$$



PROJETO DE OPERAÇÕES DE USINAGEM

- **Estimativa de Tempos Padrões:**

- tempo unitário de operação $t_o \Rightarrow$ soma total de todos os elementos de tempo discutidos acima, isto é:

$$t_o = \frac{tsu + tu + tm + ts + tc}{n}$$

- Esta fórmula é usada para determinar-se os tempos padrões para operações de produção em lote.
- Na produção em grandes lotes ou em massa, como cada área de trabalho é preparada para executar uma operação definida, o tempo de setup não é levado em consideração. Portanto, a fórmula torna-se:

$$t_o = tu + tm + ts + tc$$

