

MICROUSINAGEM: AULA 1

DEFINIÇÕES

Prof. Assoc. Alessandro Roger Rodrigues

ESCALA



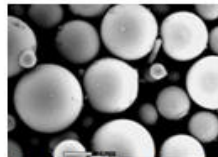
Ácaro
200 μm



Cabelo humano
~60-120 μm wide



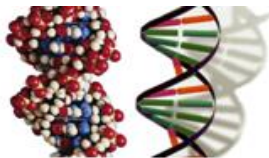
formiga
~5 mm



Partículas de fumaça
~10-20 μm



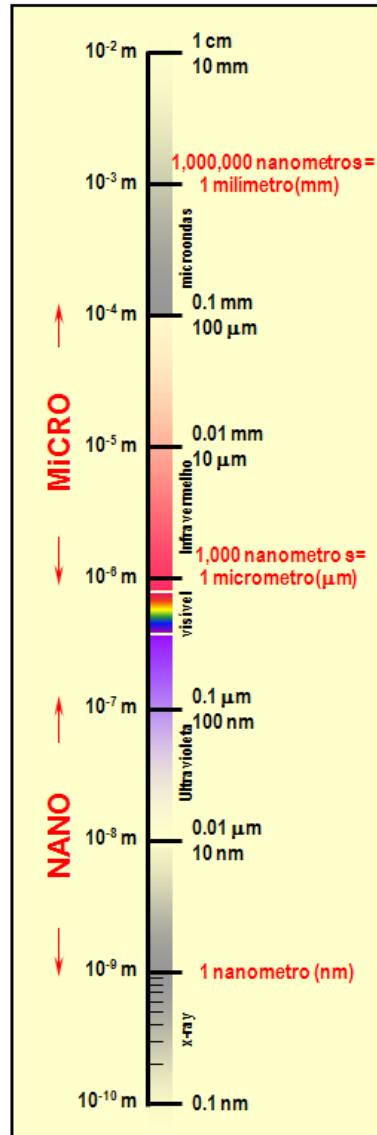
Células Vermelhas
(~7-8 μm)



DNA
~2-1/2 nm diâmetro



Átomos de silício
espaçamento de
0.078 nm



Cabeça de alfinete
1-2 mm

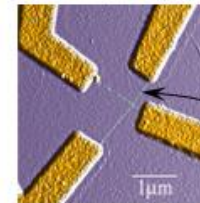


Dispositivos Micro
Eletro Mecânico (MEMS)
10-100 μm de largura

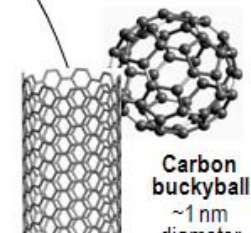


Grão de Pólen
Células vermelhas

Lentes de placa de raio-X
Espaçamento dos anéis
externos ~35 nm

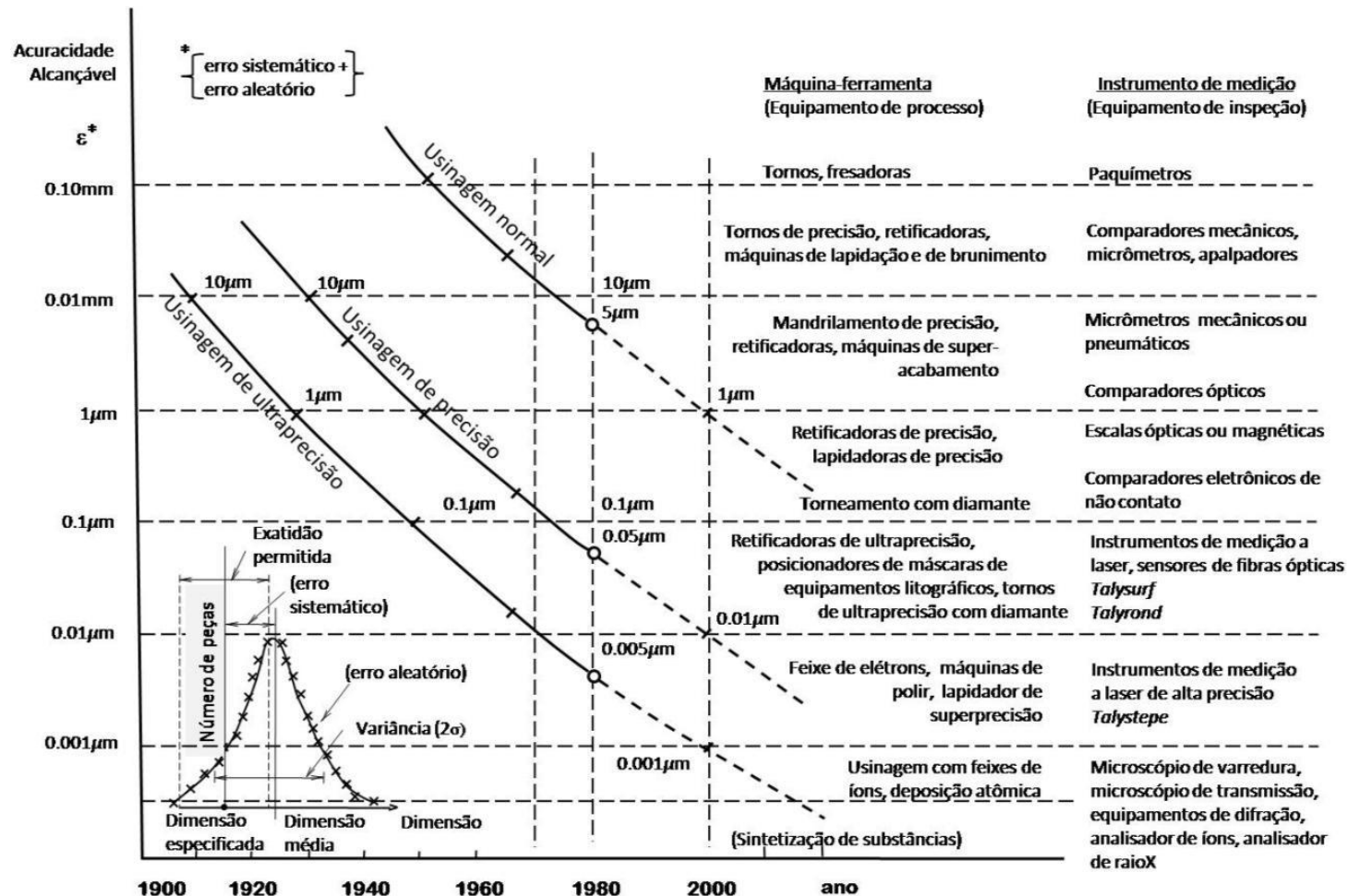


Eletrodos de nanotubos



Nanotubo de Carbono
~1.3 nm diâmetro

Carbon
buckyball
~1 nm
diameter



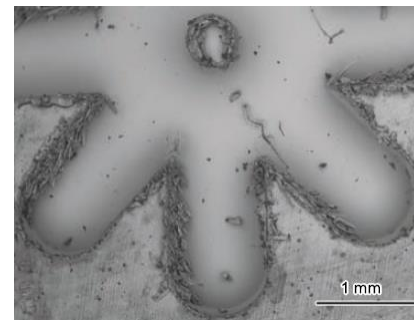
TANIGUCHI, N. Current Status in, and Future Trends of, Ultraprecision Machining and Ultrafine Materials Processing. **CIRP Annals**. Vol. 32, n. 2, p. 573-582, 1983.

Produtos que apresentam características funcionais ou, ao menos, uma dimensão na ordem micrométrica (Dinamarca).

Usinagem com dimensões entre 1 e 999 μm (Japão).

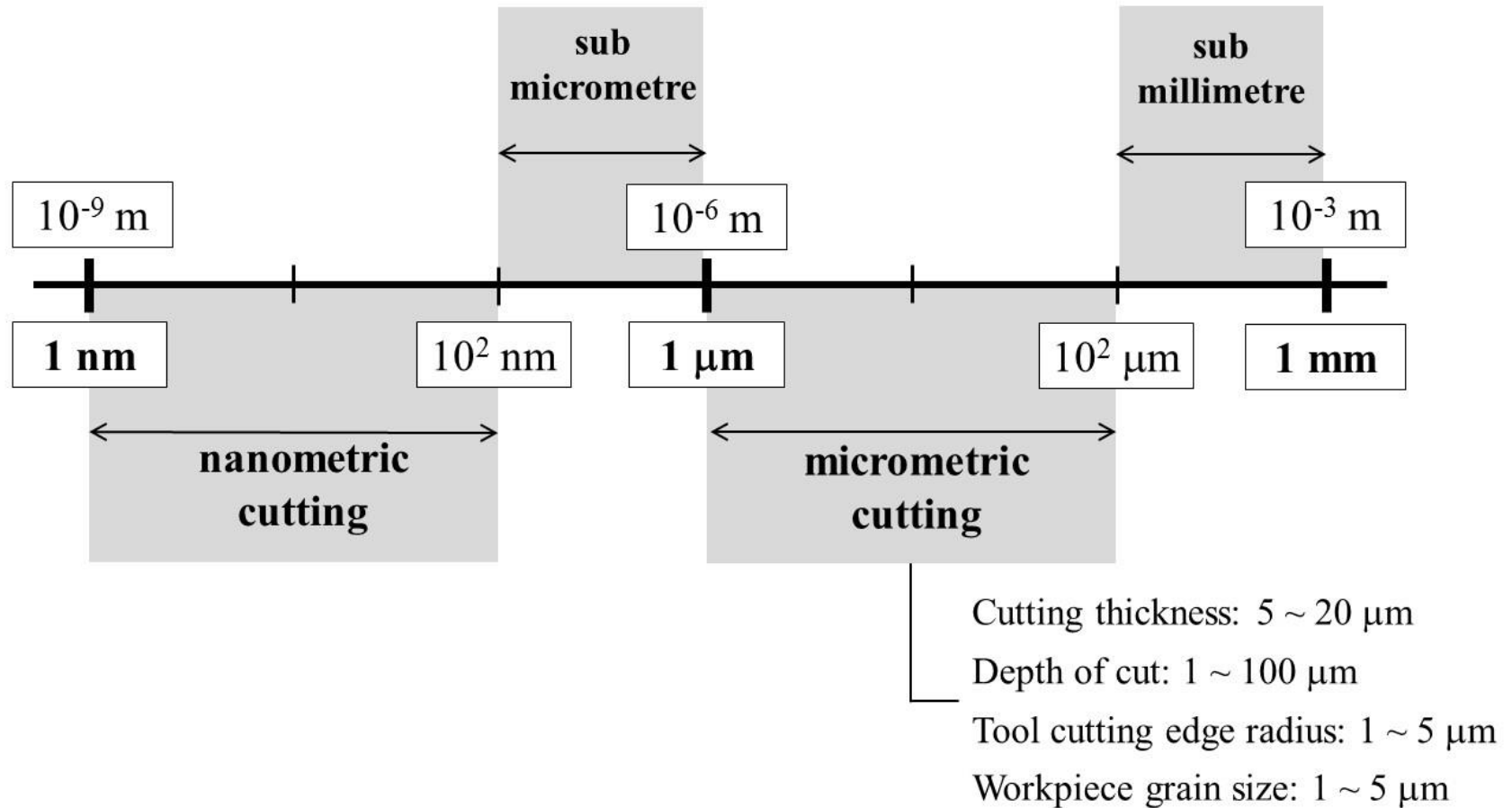
Usinagem com espessura de corte variando de nanômetros a alguns micrômetros (Inglaterra).

Usa ferramentas menores que 1 mm, contendo aresta de corte com geometria definida (EUA).



M.A. Câmara *et al.*: J. Mater. Sci. Technol., 2012, 28(8), 673–685.

ESCALA



Microfabrication and Precision Engineering. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-85709-485-8.00002-4>

HISTÓRICO

1960: Indústria de relógios

1970: Tendência à miniaturização de máquinas e dispositivos

1980: Mecânica de precisão (**MEMS** e **MST**)

1990: Usinagem química de Si

2000: Microusinagem mecânica

2010: Microfabricação subtrativa e aditiva



Levantamento: Alemanha, China, Índia (2009-2012)

Segmentos:

Aeroespacial

Biomédico

Óptico

Eletrônico

Comunicações

Automotivo

Produtos:

Cabeças de impressora a jato de tinta

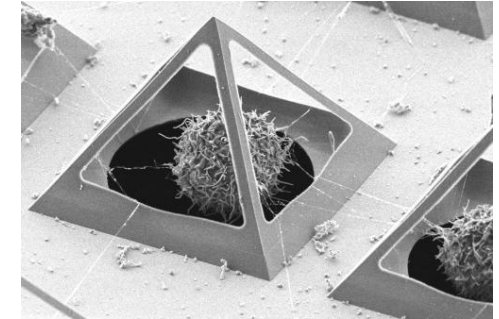
Sensores de injeção eletrônica de automóveis

Cabeças de discos magnéticos de computadores

Aparelhos portáteis de dosagem de colesterol no sangue

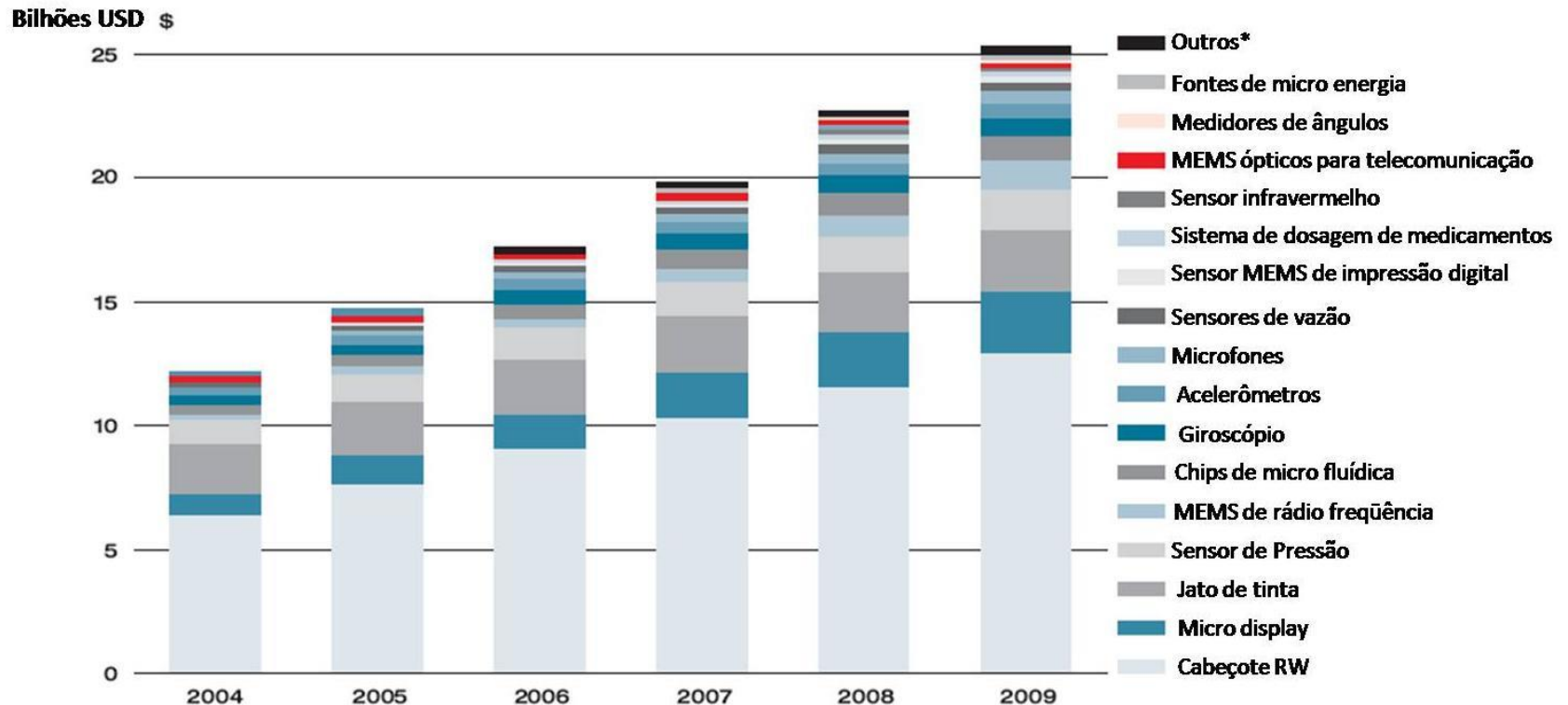
Conectores de fibras óticas

Filtros para telefones celulares



Micropirâmides para
captura de células

Mercado de alguns produtos MEMS/MST, 2004 - 2009

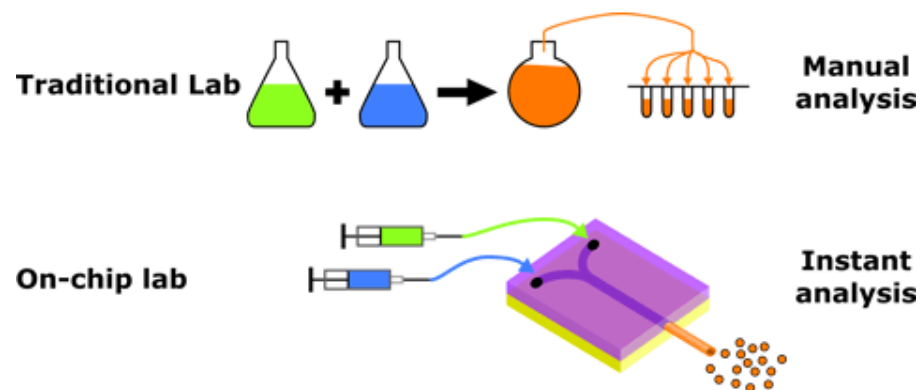
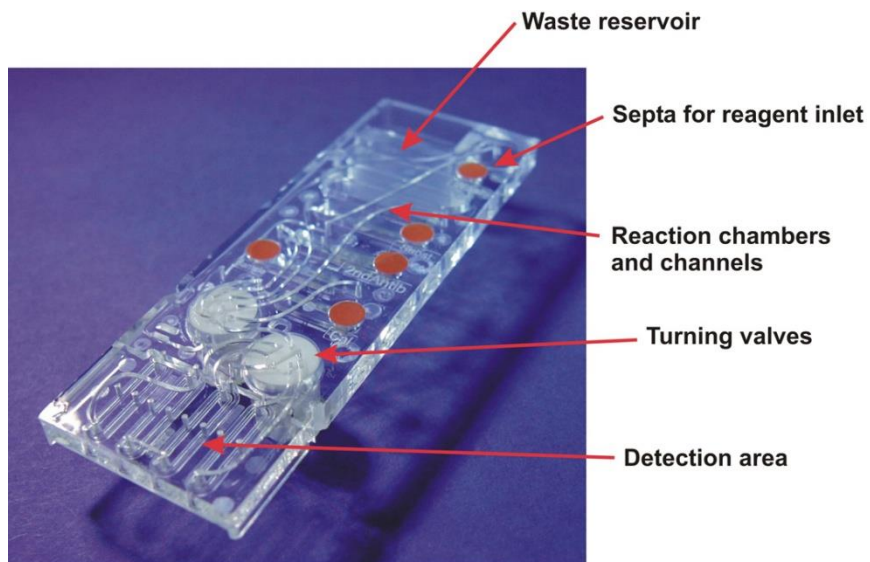


*Outros: microreator, resfriador de chip, memória MEMS, lentes líquidas, microespectrômetro, wafer probe, micro espelhos para processamento óptico, micro bombas, micro motores, sistemas de análise química

Fonte: NEXUS III

NEXUS. NEXUS MST/MEMS Market Analysis III 2005-2009. Disponível em:

<<http://www.nexus-mems.com/>>. Acesso em 12 de outubro de 2007.



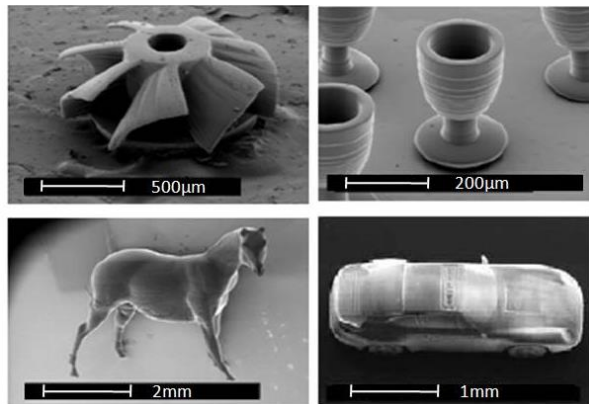
Redrawn from: Brivio, M., Verboom, W., & Reinhoudt, D. N. (2006). Miniaturized continuous flow reaction vessels: influence on chemical reactions. *Lab on a Chip*, 6, p. 329.

CLASSIFICAÇÃO

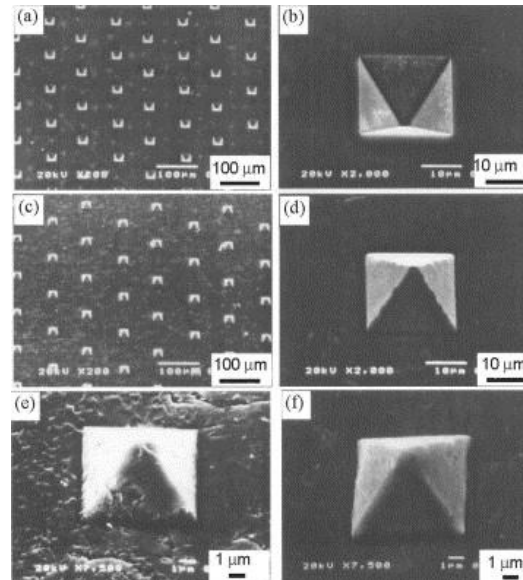
Aditivos: microestereolitografia

Near-net-shape: microforjamento, microestampagem e microinjeção

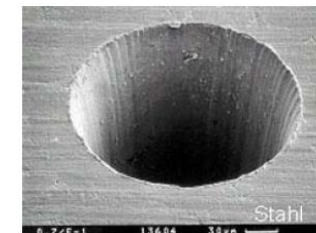
Subtrativos: microusinagem (química, mecânica, ...)



Aditivos



Microforjamento



Microusinagem

Microusinagem (subtrativa):

Eletroerosão (micromoldes)

Laser (microfuros)

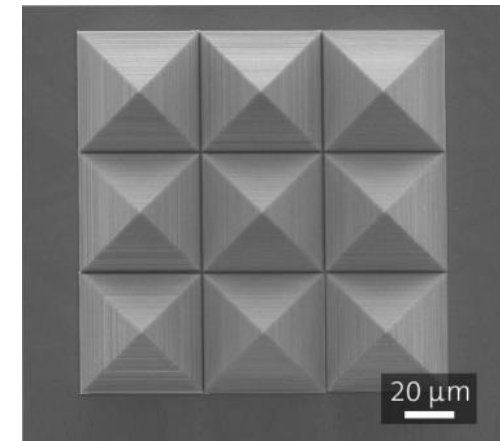
Ultrassom (micropenetrações em materiais frágeis)

Fotolitografia (microparedes planas)

Eletroquímica (microsuperfícies lisas em metais)

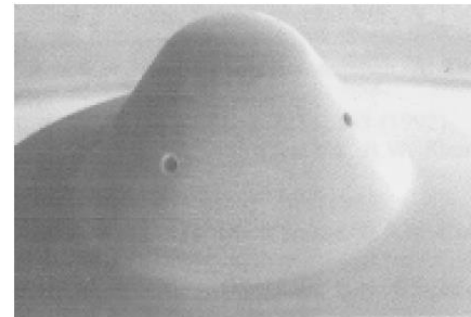
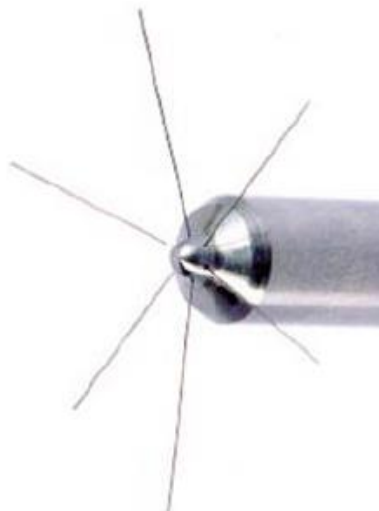
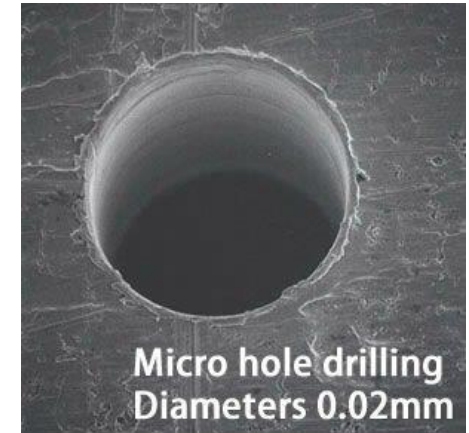
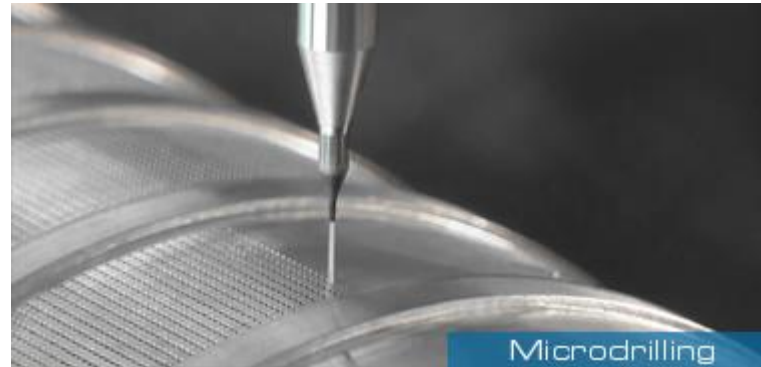
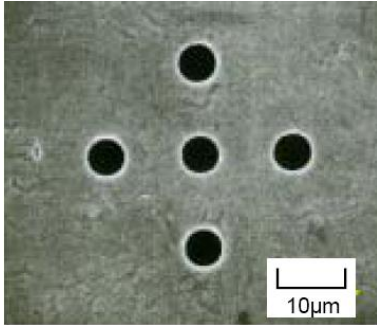
Torneamento (micropinos, microparafusos)

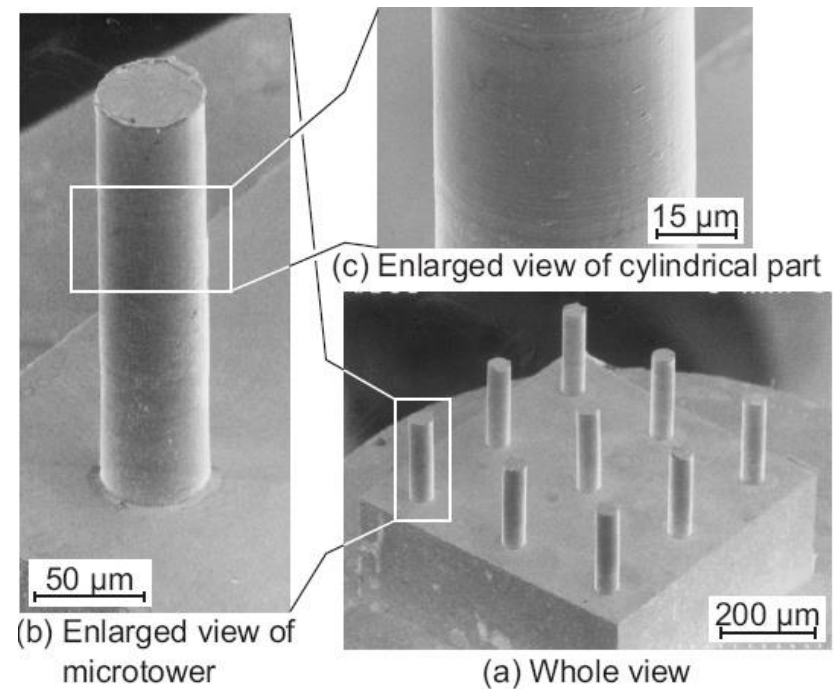
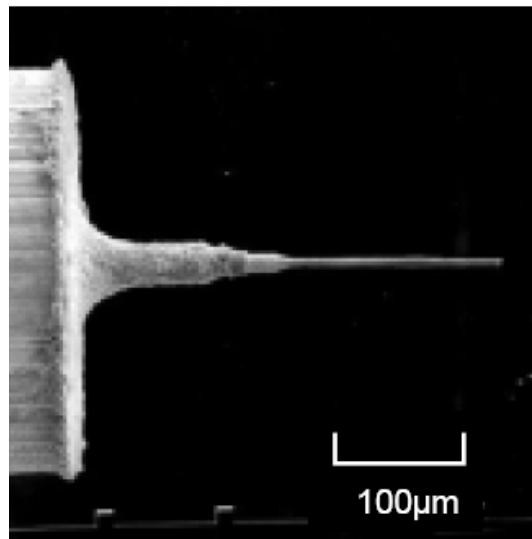
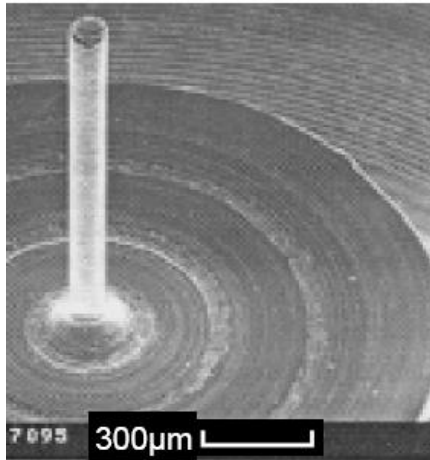
Fresamento (microestruturas 3D)

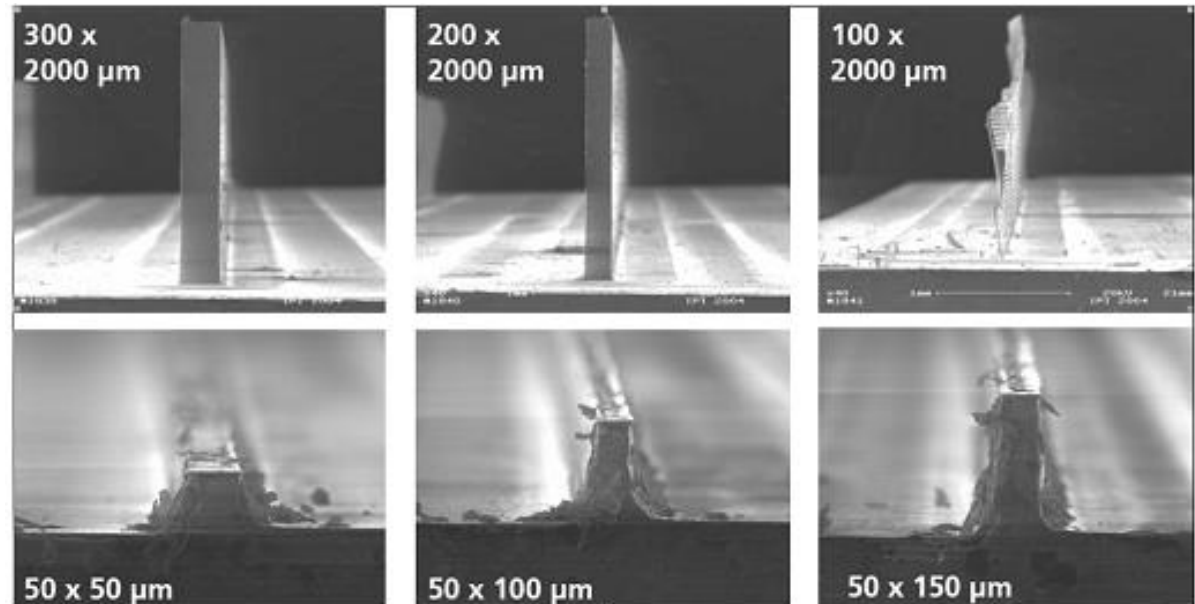
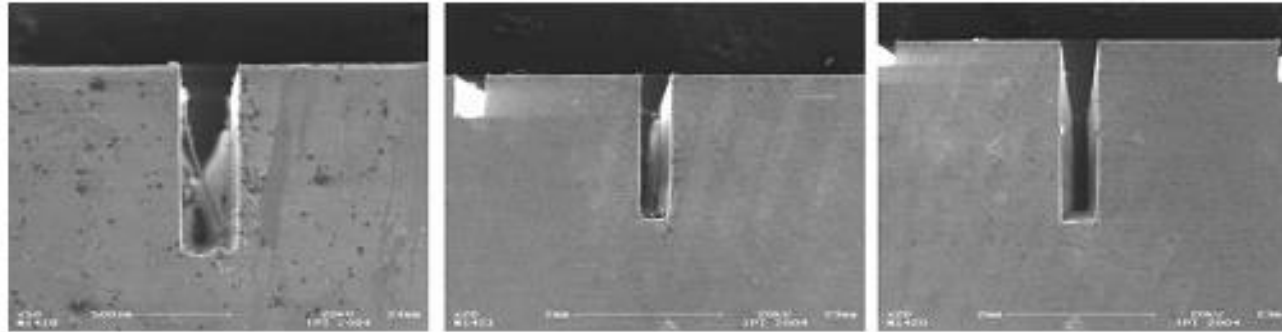


Usinagem a direct
laser writing

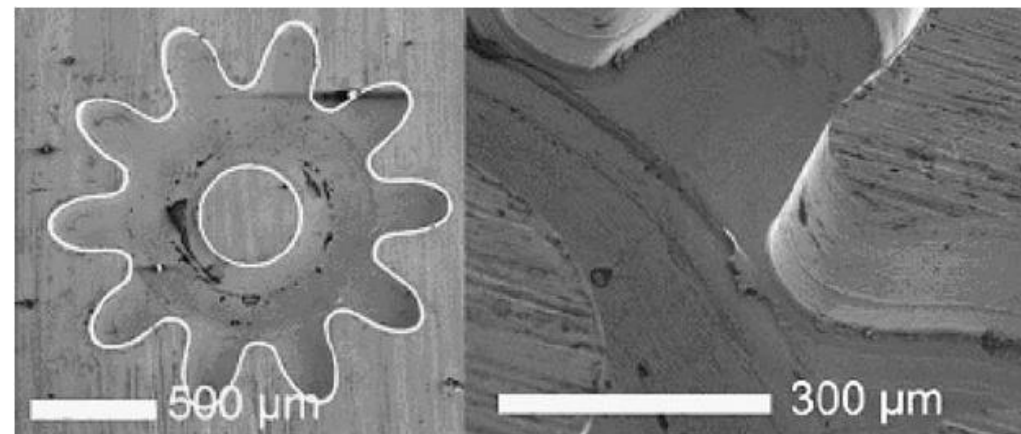
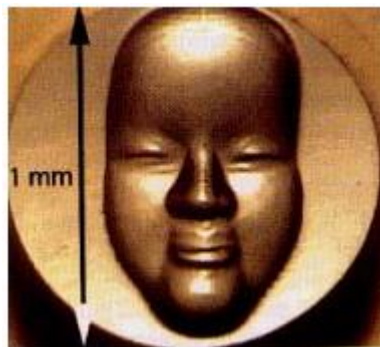
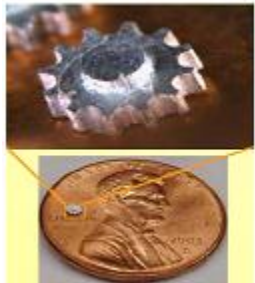
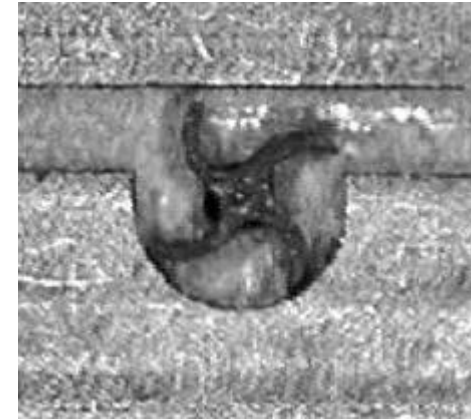
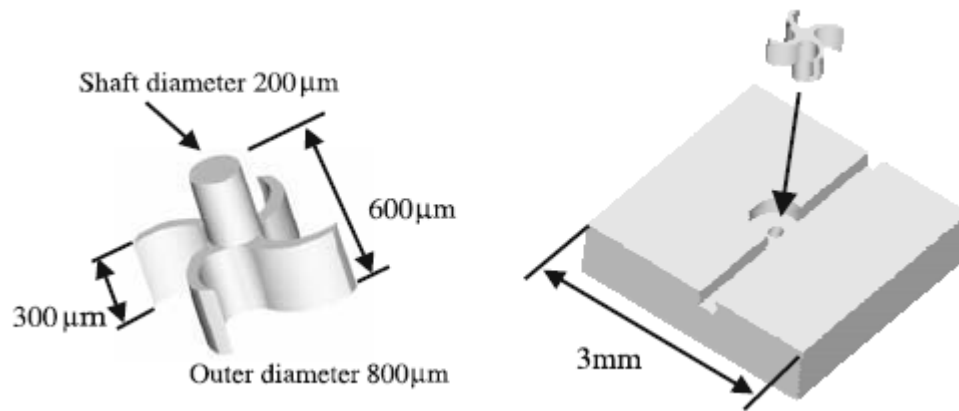
MICROFUROS



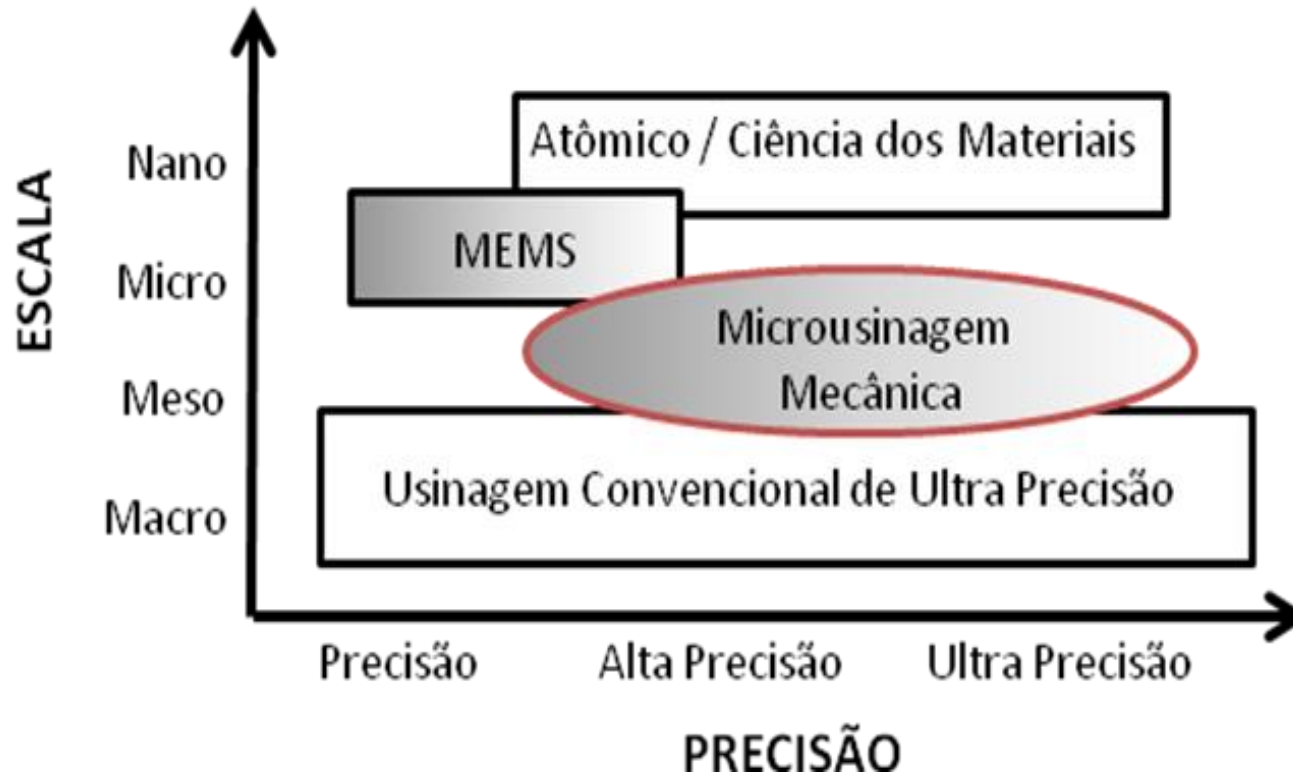




MICROESTRUTURAS 3D



ESCALA



CHAE, J.; PARK, S. S.; FREIHEIT, T. Investigation of micro-cutting operations.

International Journal of Machine Tools and Manufacture. Vol. 46, n. 3-4, p. 313-332,
Mar. 2006.

MICROFRESAMENTO

Usina diversos materiais

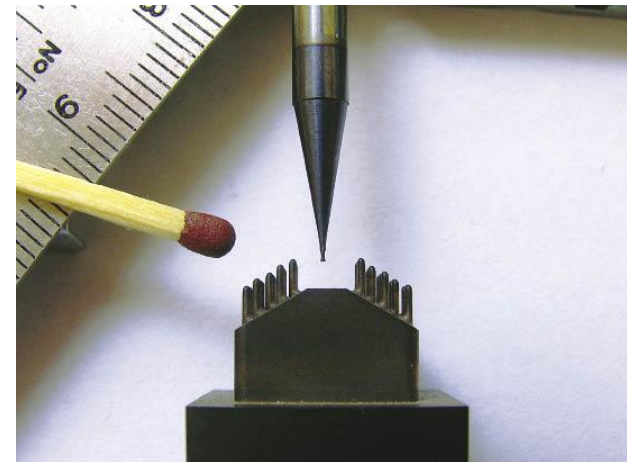
Peças com elevada razão de aspecto

Complexidade geométrica

Produtos em mesoescala (1mm a 1 cm)

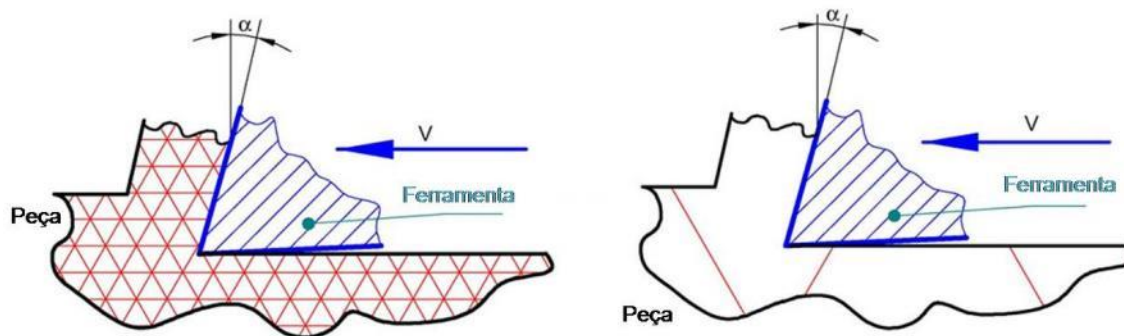
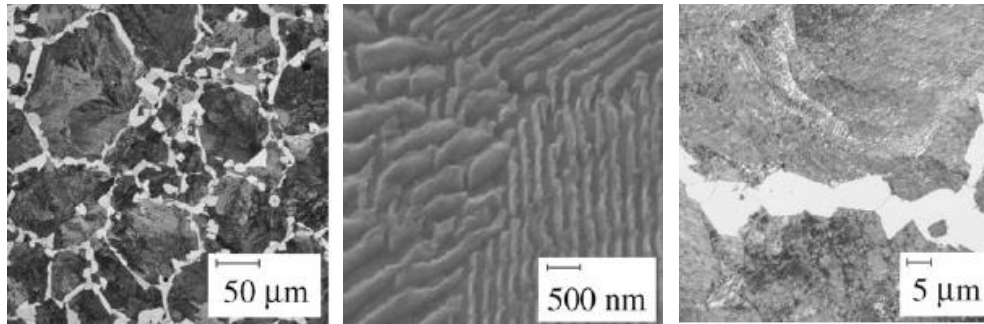
Maior taxa de remoção

Ferramentas inferiores a $\varnothing 1$ mm



MATERIAL DA PEÇA

Aço 1045



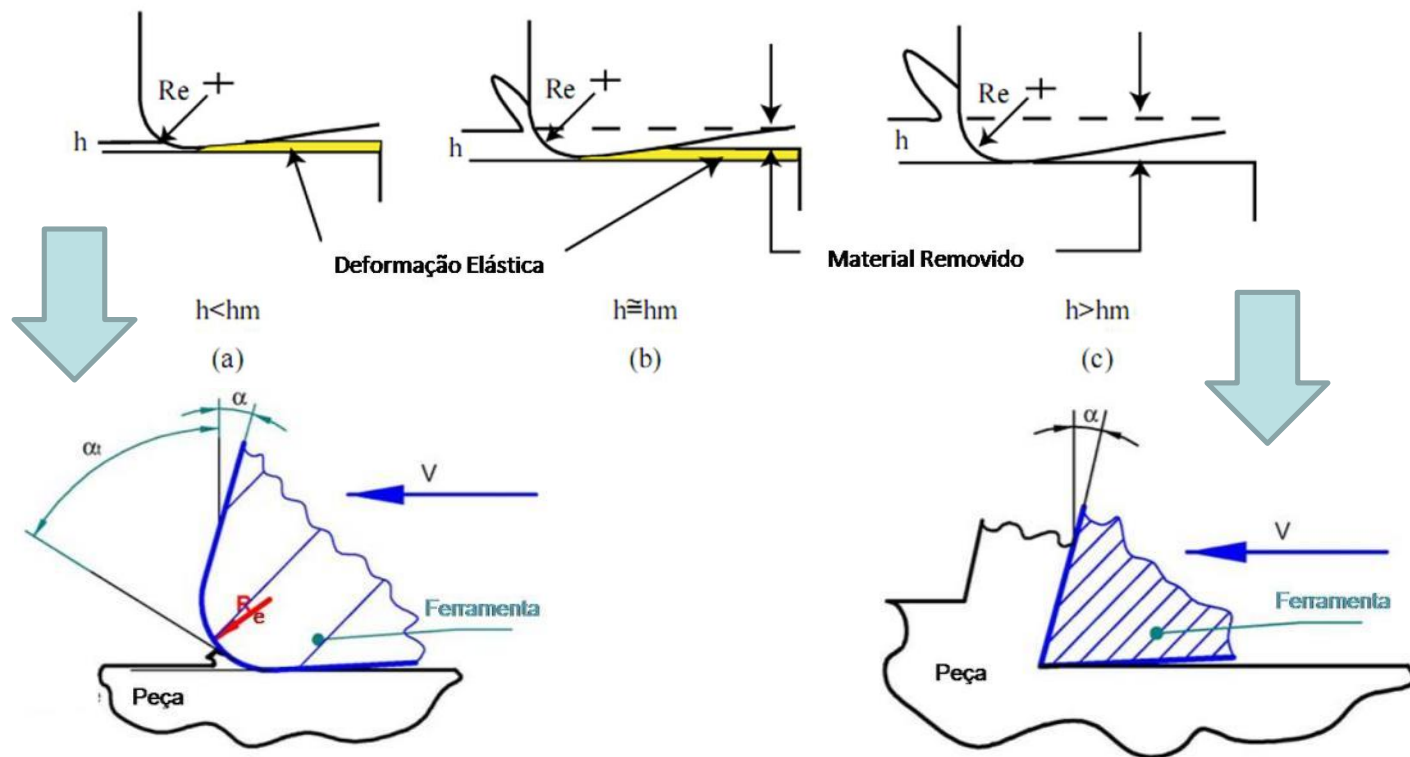
BISSACCO, G.; HANSEN, H. N.; DE CHIFFRE, L. Micromilling of hardened tool steel for mould making applications. **Journal of Materials Processing Technology**. Vol. 167, n. 2-3, p. 201-207, Ago. 2005.

ESPESSURA MÍNIMA DE CORTE

ÖZEL, T.; LIU, X.; DHANORKER, A. Modeling and Simulation of Micro-Milling Process.

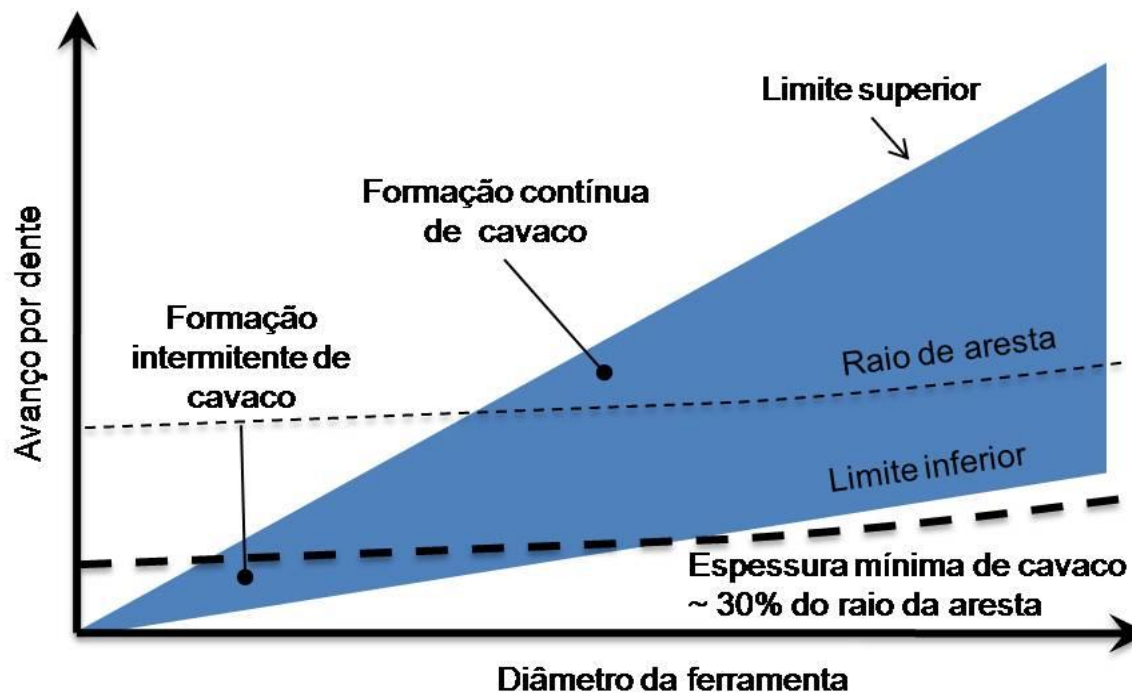
Proceedings of the 4th International Conference and Exhibition on Design and

Production of Machines and Dies/Molds, Cesme, Turkey, 21-23 Jun. 2007.



BISSACCO, G.; HANSEN, H. N.; DE CHIFFRE, L. Micromilling of hardened tool steel for mould making applications. **Journal of Materials Processing Technology**. Vol. 167, n. 2-3, p. 201-207, Ago. 2005.

ESPESSURA MÍNIMA DE CORTE

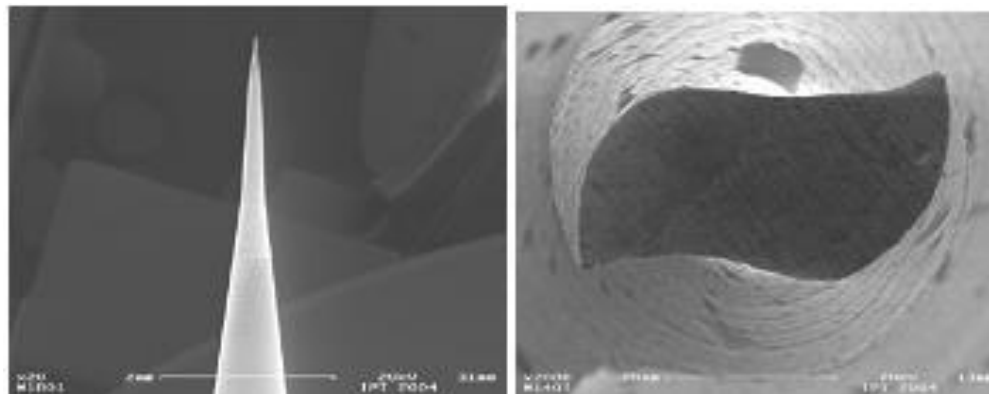


KIM, C. J.; MAYOR, J. R.; NI J. A Static Model of Chip Formation in Microscale Milling.
Journal of Manufacturing Science and Engineering. Vol. 126, n. 4, p. 710-718, Nov. 2004.

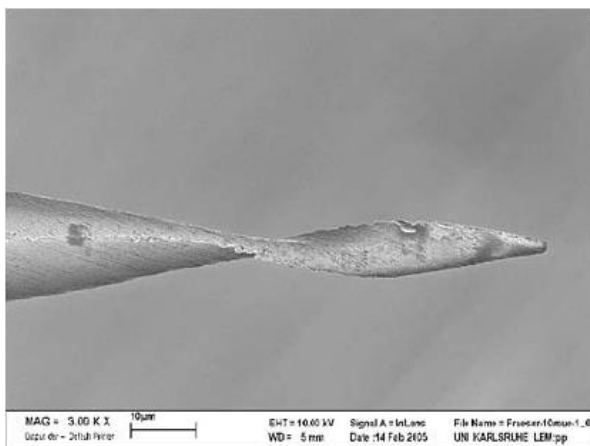
MICROFRESAS



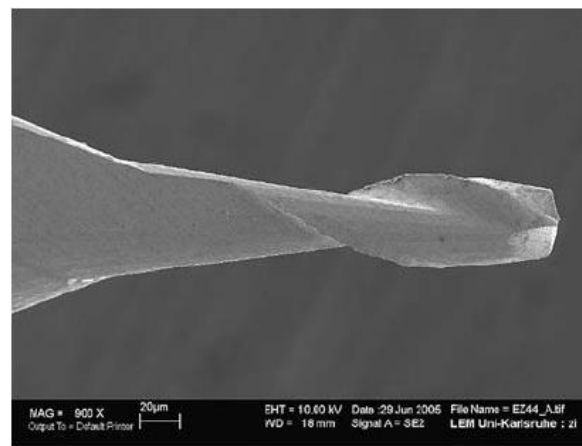
$\varnothing = 6 \text{ e } 0,2 \text{ mm (MD)}$



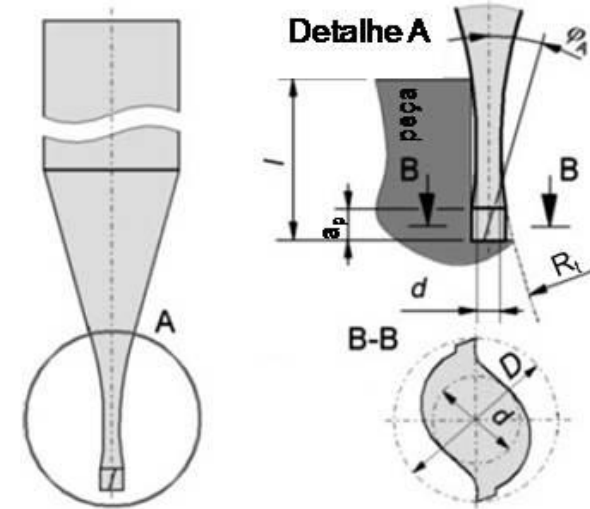
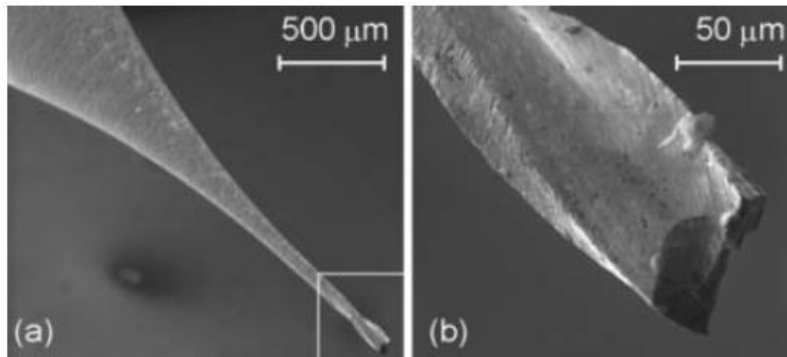
$\varnothing = 50 \mu\text{m (MD)}$



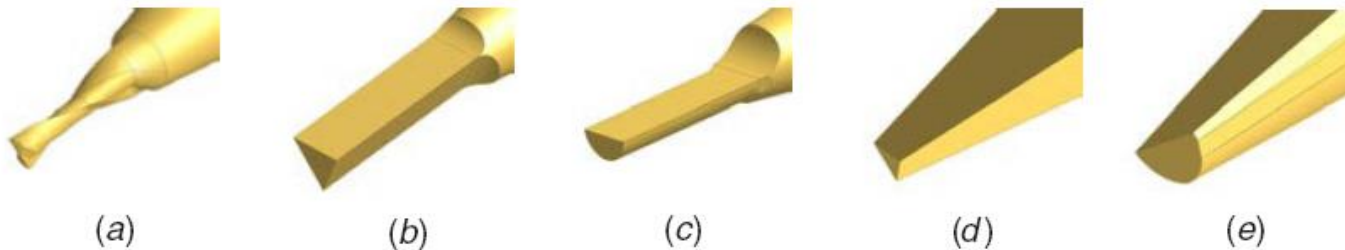
$\varnothing = 7 \mu\text{m (MD)}$



$\varnothing = 40 \mu\text{m (MD)}$

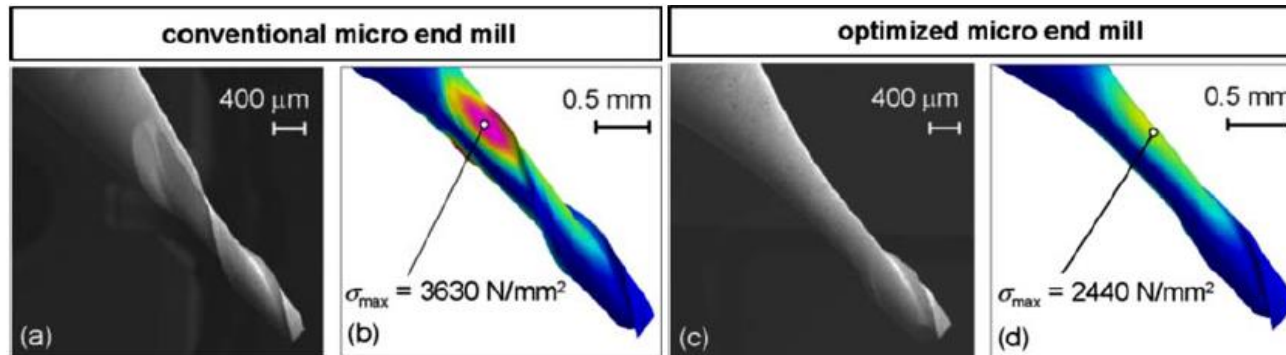


UHLMANN, E.; PILTZ, S.; SCHAUER, K. Micro milling of sintered tungsten-copper composite materials. **Journal of Materials Processing Technology**. Vol. 167, n. 2-3, p. 402-407, 2005.



FANG, F. Z.; WU, H.; LIU, X. D.; NG, S. T. Tool geometry study in micromachining.
Journal of Micro Mechanics and Microengineering. Vol. 13, n. 5, p. 726-731, 2003.

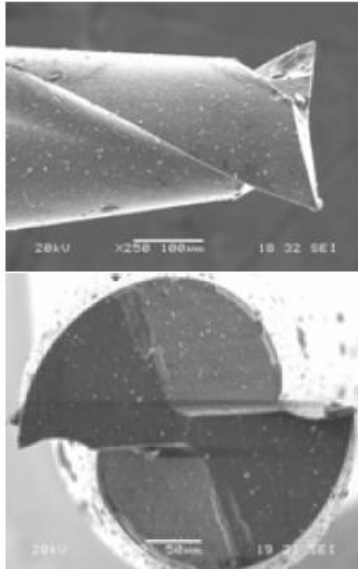
QUEBRAS



Diâmetro da fresa	Força para lascamento	Força para quebra
Ø 0,1 mm	0,06N	0,26N
Ø 0,2 mm	0,34N	1,54N

UHLMANN, E.; PILTZ, S.; SCHAUER, K. Micro milling of sintered tungsten-copper composite materials. *Journal of Materials Processing Technology*. Vol. 167, n. 2-3, p. 402-407, 2005.

DESGASTE

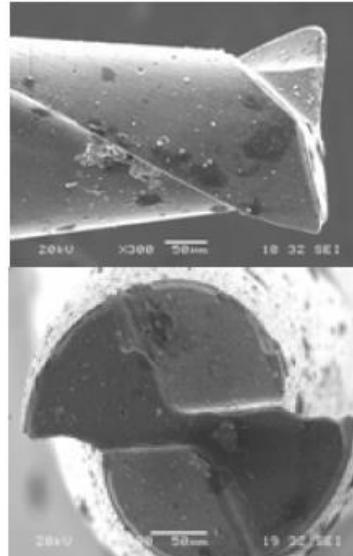


Ferramenta nova

$\varnothing = 303 \mu\text{m}$

$r_p = 1,5 - 2 \mu\text{m}$

Vol. usinado = 0

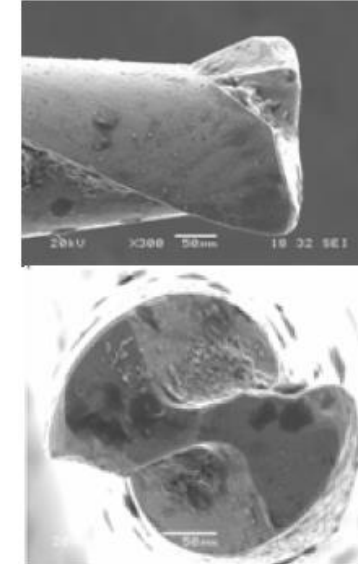


Ferramenta semi-nova

$\varnothing = 296 \mu\text{m}$

$r_p = 5 - 7 \mu\text{m}$

Vol. usinado = $0,2 \text{ mm}^3$



Ferramenta usada

$\varnothing = 284 \mu\text{m}$

$r_p = 14 - 20 \mu\text{m}$

Vol. usinado = $1,2 \text{ mm}^3$

URIARTE, L.; ZATARAIN, M.; ALBIZURI, J.; LOPEZ DE LACALLE, L. N.; LAMIKIZ,

A. Effect of the tool wear in micro-milling cutting forces. Disponível em:

<http://www.cim.pw.edu.pl/tewy_mgr/>. Acesso em 20 de setembro de 2007.

MATERIAL DE MICROFRESAS

Microfresas a partir de 50 μm

Diamante

$$r_e = 0,1 \mu\text{m}$$

Abrasivos (Si, compósitos)

Baixa flexão (alta rigidez)

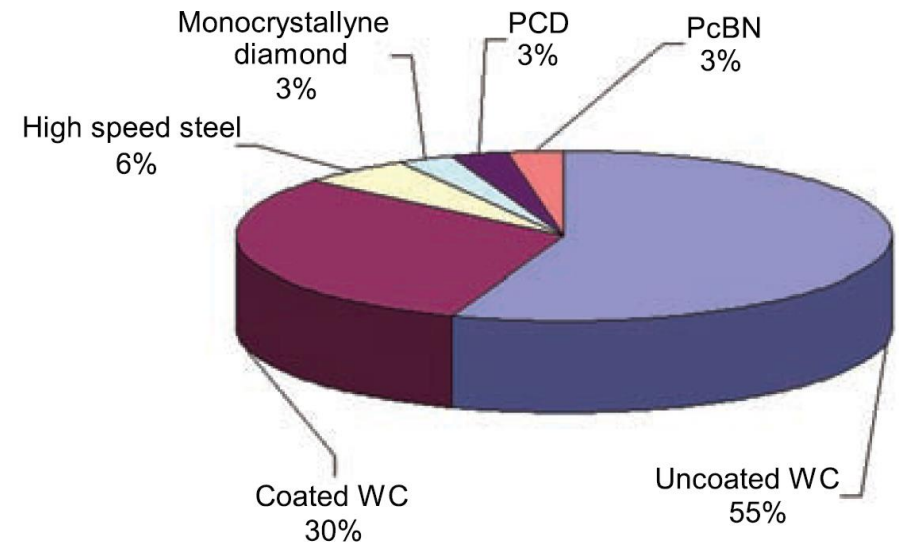
Alta condutividade térmica

Metal duro

Esférica ou plana

2 arestas

Aço



Substrato

M.A. Câmara *et al.*: J. Mater. Sci. Technol., 2012, 28(8), 673–685.

TiNAl

- Melhor adesão
- Aumenta a dureza
- Deposição rápida



Al₂O₃

- Excelente resistência ao desgaste
- Dissipa melhor o calor
- Deposição dificultada

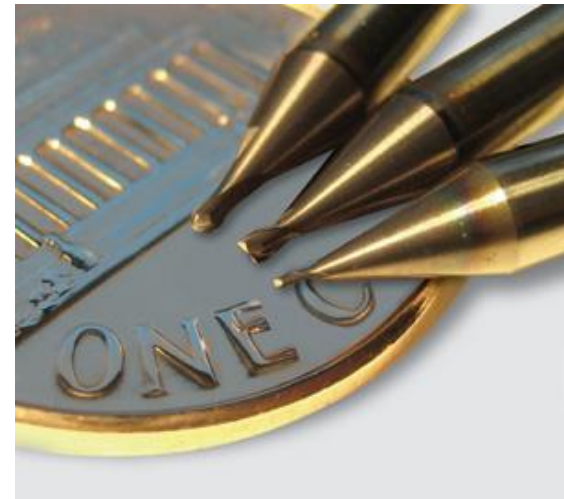


Diamante

FORNECEDORES

ABC Itamarati (importa EUA)
Arssystem (importa Coréia do Sul)
Guhring (fabrica)
Iscar (importa Israel)
Mitsubishi (fabrica)
Ontime (importa Itália)
OSG (fabrica e importa Japão)
Ventec (importa Holanda, EUA)
Walter (fabrica)
YG1 (fabrica e importa Coréia do Sul)

Sandvik
Seco Tools
Tungaloy
Kyocera



CENTROS DE MICROFRESAMENTO

Precisão de posicionamento: $0,1 \mu\text{m}$

Alta rotação do *spindle* (turbinas a ar)

Maioria de 3 eixos

Estabilidade térmica

Alta resolução linear e rotacional

Alta rigidez estática e dinâmica

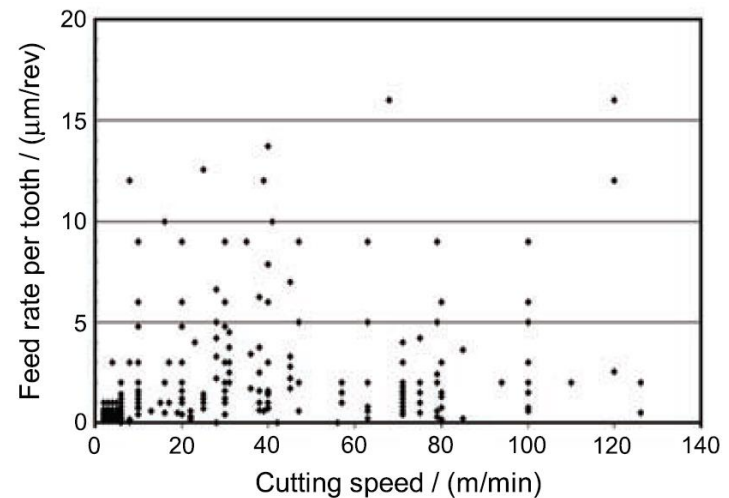
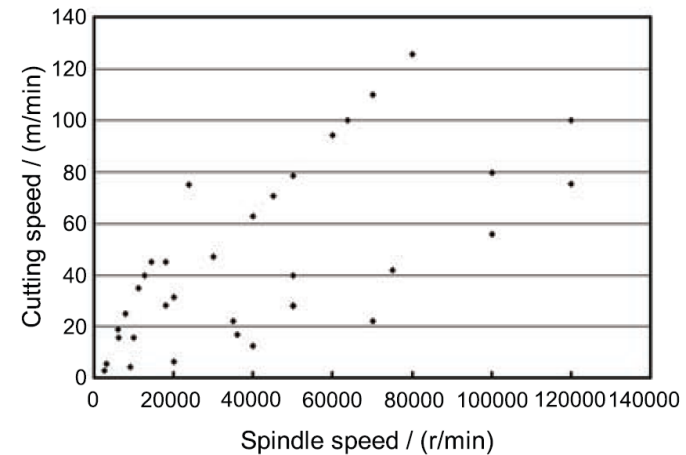
Sistemas de controle rápidos e precisos

Eixos com motores lineares

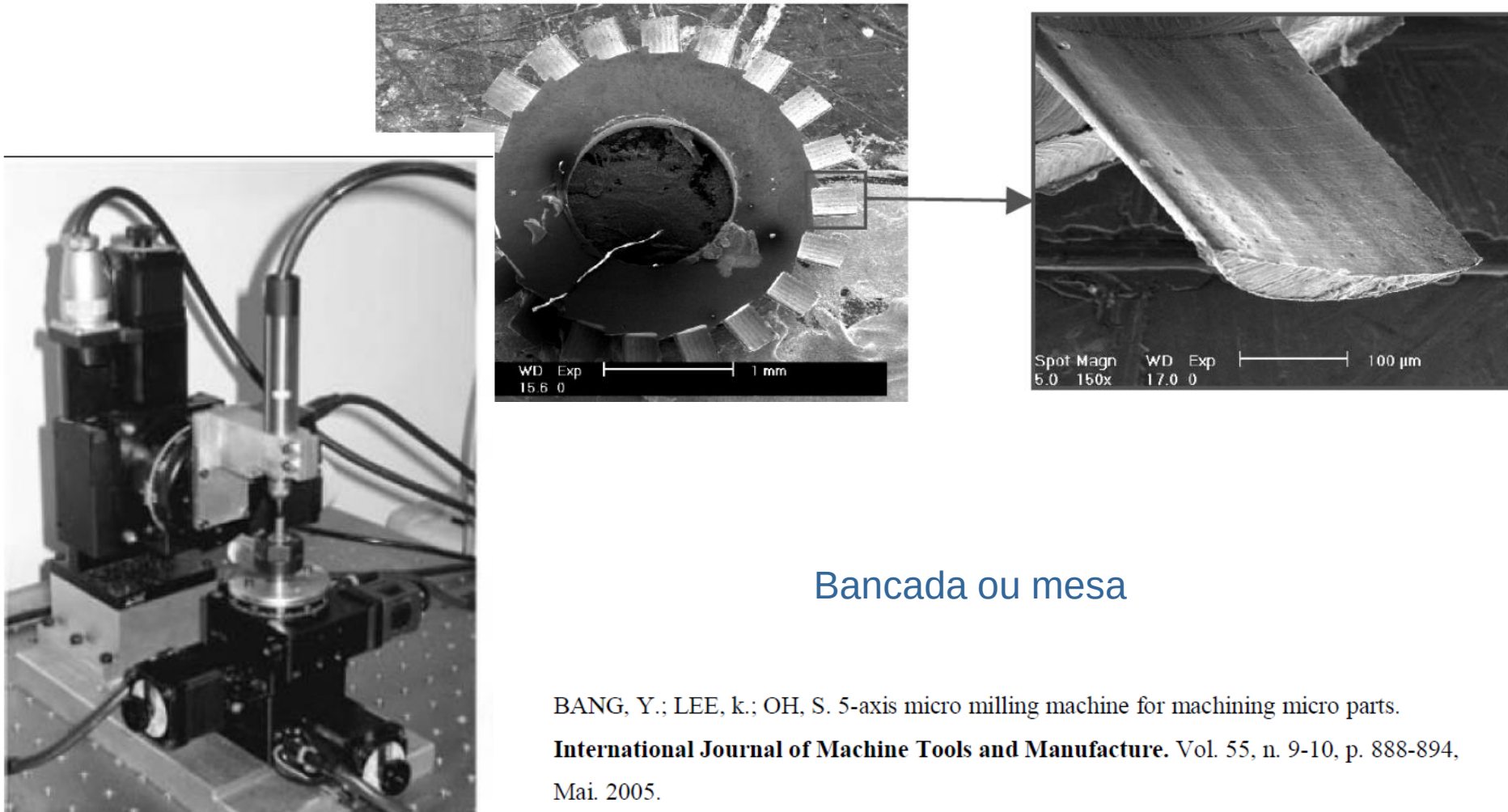
Batimento do *spindle* $< 1 \mu\text{m}$

Mancais magnéticos no *spindle*

Variação de temperatura $< 0,1 ^\circ\text{C}$



CENTROS DE MICROFRESAMENTO



Bancada ou mesa

BANG, Y.; LEE, k.; OH, S. 5-axis micro milling machine for machining micro parts.
International Journal of Machine Tools and Manufacture. Vol. 55, n. 9-10, p. 888-894,
Mai. 2005.

FORNECEDORES



Fanuc

Kern



Makino



FORNECEDORES

Tornos



Mori Seiki



MikroTool



FORNECEDORES



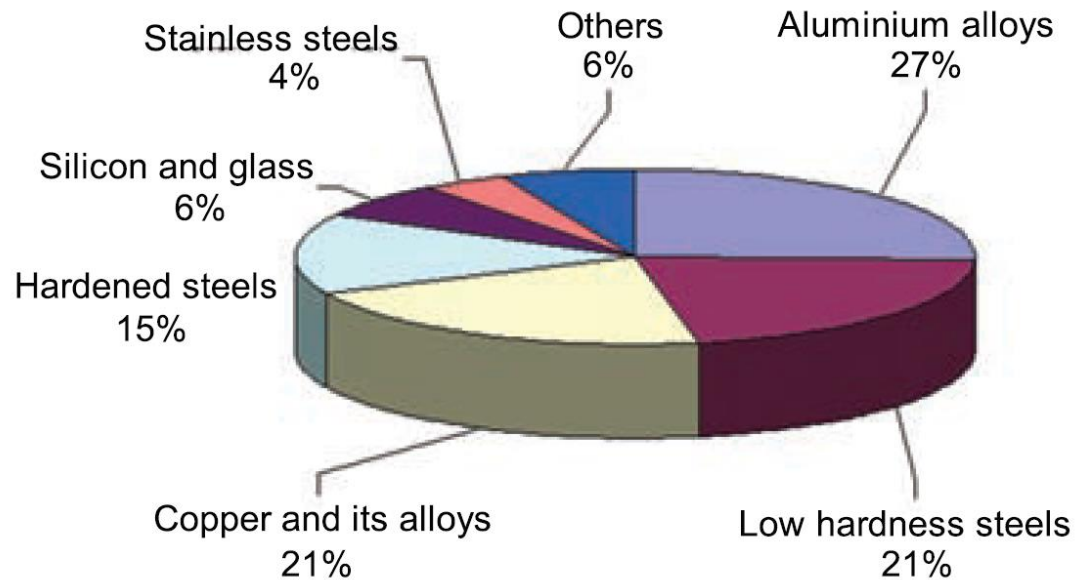
Willemin-Macodel

Minitech



Minitech GX 5 Axis CNC

MATERIAL DA PEÇA



M.A. Câmara *et al.*: J. Mater. Sci. Technol., 2012, 28(8), 673–685.

TAKÁCS, M.; VERŐ, B.; MÉSZÁROS, I. Micromilling of metallic materials, *Journal of Materials Processing Technology*. Vol 138, n. 1-3, p. 1-4, Jul. 2003.

Rugosidade

Flexão + Desbalanceamento

Avanço por dente

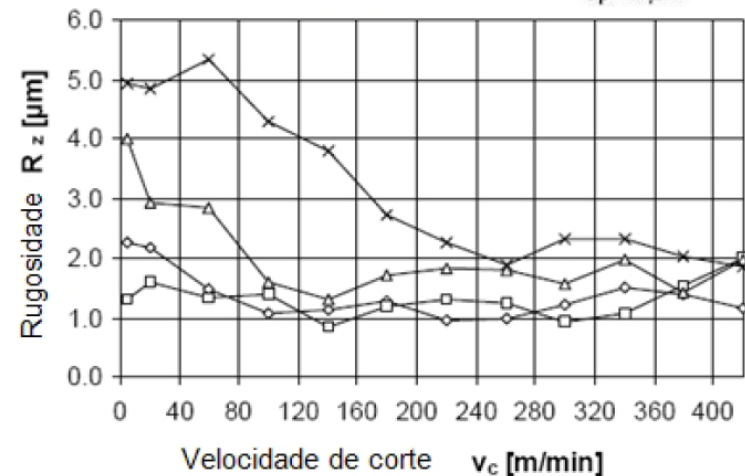
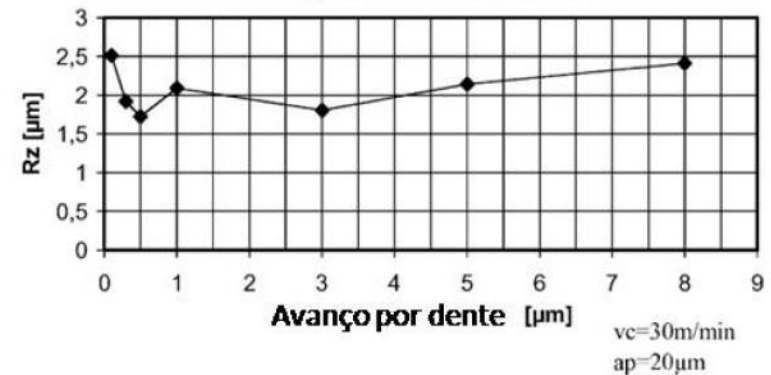
Velocidade de corte

$R_a = 0,1$ a $1 \mu\text{m}$



SIMONEAU A.; NG E.; ELBESTAWI M.A. Surface Defects During Microcutting. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. Vol. 46, n. 12-13, p. 1378-1387, 2006b

Rugosidade Superficial



WEULE, H.; HUNTRUP, V.; TRITSCHLER, H. Micro-cutting of steel to meet new requirements in miniaturization. *Annals of CIRP*. Vol. 50, n. 1, p. 61-64, 2001.

ACABAMENTO DA PEÇA

Rebarba: Principal problema

Para diminuir

Revestimento

Fluido

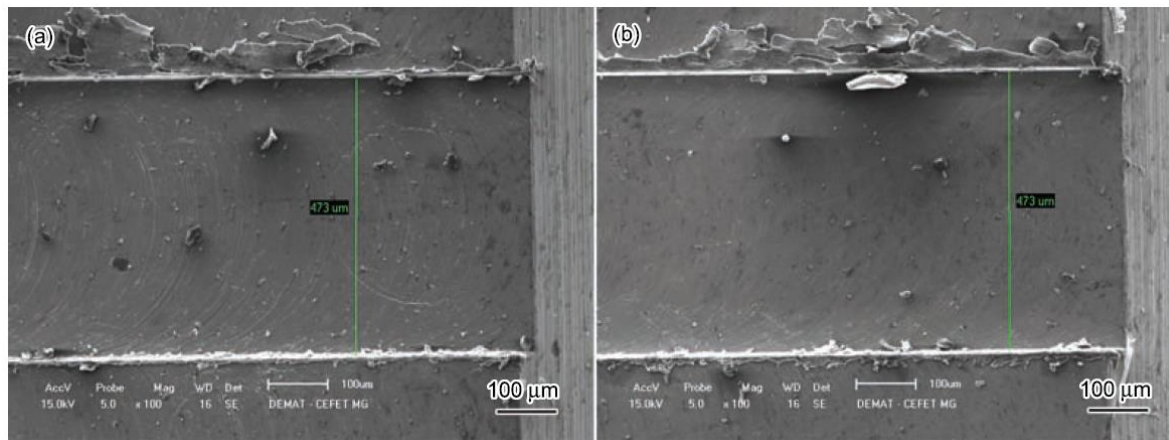
Maior avanço

Para aumentar

Corte concordante

Plowing

Desgaste



Al 6262-T5 com 50 e 25 $\mu\text{m/z}$

M.A. Câmara *et al.*: J. Mater. Sci. Technol., 2012, 28(8), 673–685.

CENÁRIO NACIONAL

Peças Ø 5 x 50 mm e 50 x 50 x 50 mm

Máquinas em geral: 16%

Transportes: 12%

Moldes e matrizes: 11%

Máquinas agrícolas: 10%

Energia hidrelétrica: 3%

Aeronáutica: 3%

Açúcar e álcool: 3%

Siderurgia: 2%

Petróleo e gás: 2%

Naval: 2%

Energia eólica: 1%

Outros: 35%

Metalurgia

Alimentos

Sensores

Caldeiraria

Automotivo

Linha branca

Ferramentas elétricas

Indústria de fertilizantes

Modelismo

Defesa

Ferramentarias

Fundições

Manutenção em geral

Construção civil

Gráficas

Revista Máquinas e Metais (ano 48, nº 560, set/2012)

EMPRESAS PESQUISADAS

Insegurança do mercado interno

Transferência de tecnologia

Mão-de-obra

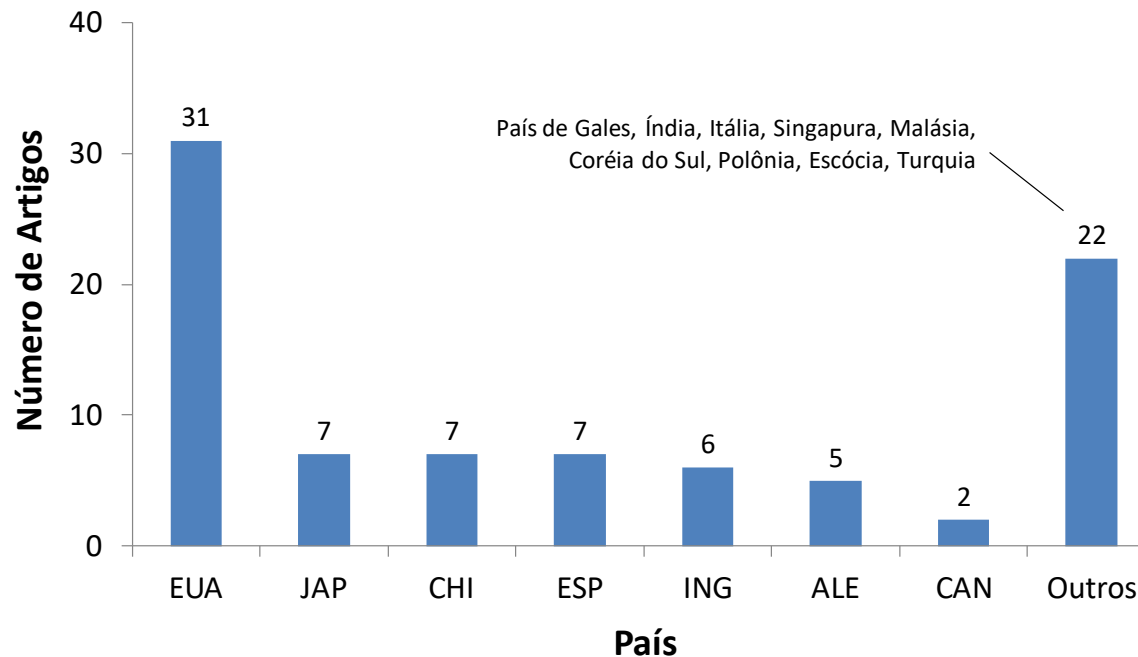
Início no segmento

Procura de clientes

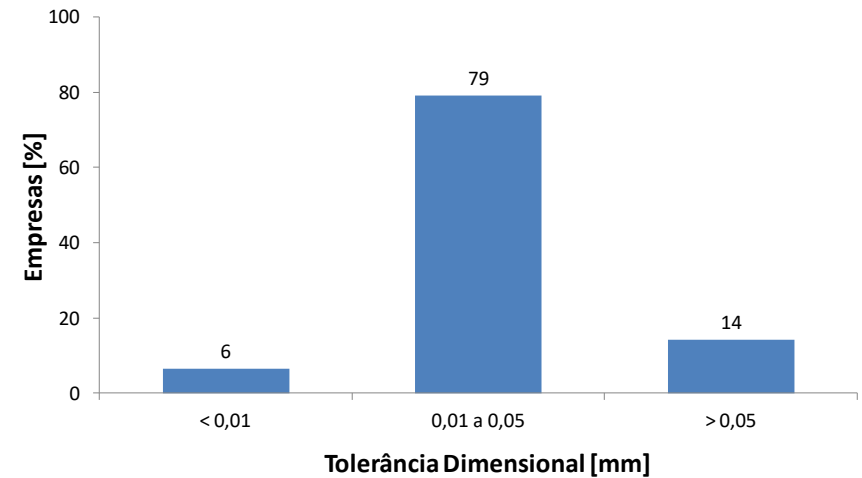
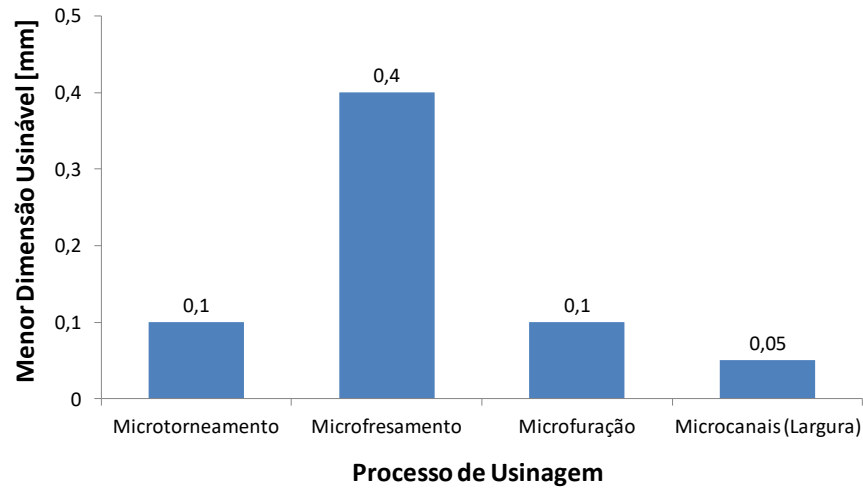


PESQUISAS

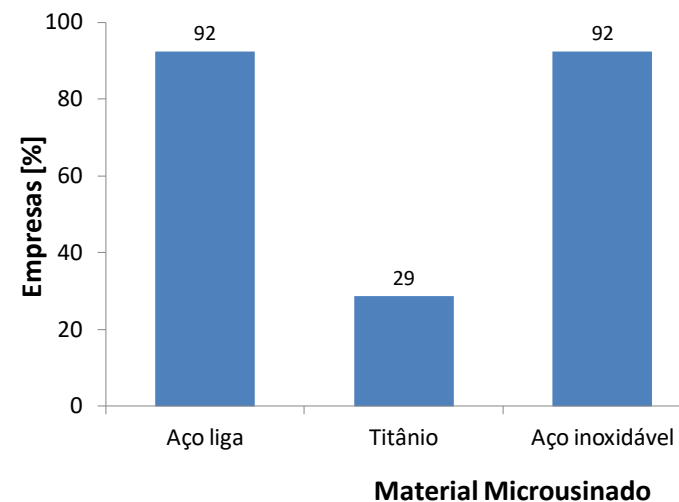
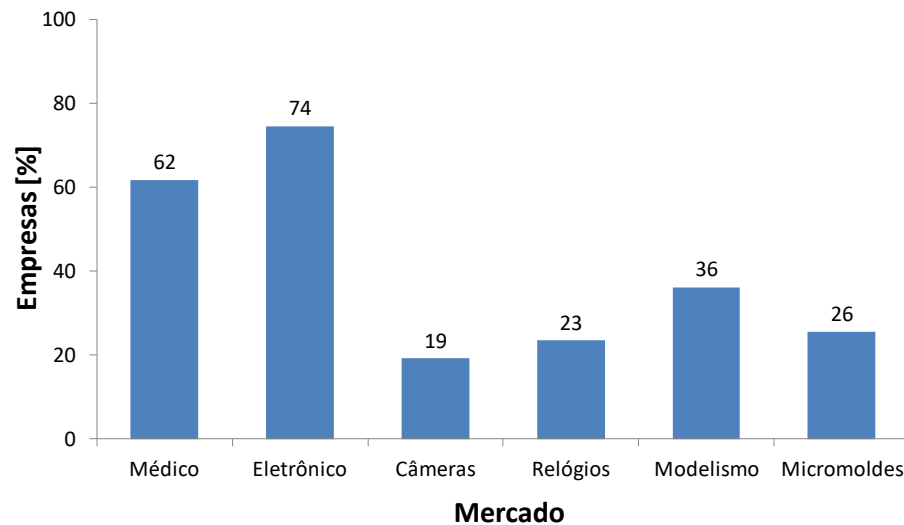
China, EUA, Índia, Canadá, Turquia, Espanha, Itália, Alemanha, Japão, outros.



PROCESSOS E TOLERÂNCIAS



MERCADO E MATERIAL DA PEÇA





EESC • USP

Escola de Engenharia de São Carlos
Universidade de São Paulo

MERCADO NACIONAL



PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA

Empresa Telefone	Dimensões das peças rotacionais (mm)		Dimensões das peças prismáticas (mm)			Operações de microfuração e microusinagem de canais (mm)			Máquinas utilizadas								Mercado(s) em que atua					Materiais que usina				
	Menor diâmetro	Menor comprimento	Menor comprimento da peça	Menor largura da peça	Menor altura da peça	Menor diâmetro de furo	Menor largura de canal	Tolerância dimensional: +/-	Tornos do tipo suíço	Tornos automáticos	Tornos CNC	Centros de usinagem horizontais	Centros de usinagem verticais	Eletroerosão por penetração	Eletroerosão a fio	Outras	Indústria médica/odontológica	Componentes eletrônicos	Modelismo	Micromoldes	Outros	Aços-liga	Titânio	Aços inoxidáveis	Outros	
AJW (11) 4032-1845	2	1	1	1	1	0,5	0,5	0,01			✗		✗		✗			✗			✗	✗	✗	✗	✗	
Fermam (47) 3350-3900	2	1	2	2	1	1	1	0,01			✗		✗	✗	✗	✗					✗	✗		✗		
Gross (47) 3521-7294	0,3	0,4	0,4	0,1	0,1	0,4	0,4	0,01							✗						✗	✗	✗	✗	✗	
Imeca (31) 3355-2566	5	5	5	5	5	1	0,5	0,05			✗	✗		✗		✗					✗	✗		✗	✗	
Liessi (11) 2304-5240	2	1	8	8	8	0,25	0,5	0,005			✗		✗			✗	✗	✗			✗	✗		✗	✗	
Rapid (11) 5548-0199	3	2	4	4	4	0,5	0,5	0,02		✗	✗						✗					✗		✗	✗	
ReiBrag (11) 4032-6481	1	5	3	2	5	0,5	0,5	0,005						✗	✗	✗	✗	✗		✗		✗		✗	✗	
Usilab (41) 3023-1486	0,2	0,2	0,5	0,5	0,5	0,2	0,3	0,01		✗	✗		✗				✗	✗			✗	✗	✗	✗	✗	
Usitim (47) 3312-2000	1	2	3	2	2	0,4	0,3	0,005	✗	✗	✗					✗	✗	✗			✗	✗		✗	✗	
Vianatool (11) 2606-5910	1	1	1	1	1	0,3	0,3	0,02						✗	✗		✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
W.J.A. (11) 99852-7889	2	5	2	3	3	0,5	0,6	0,02		✗				✗	✗			✗		✗	✗	✗		✗	✗	
Zavatin (14) 3452-1872	4	10	10	5	5	1	1	0,01			✗		✗				✗				✗	✗		✗	✗	

FORNECEDORES DE MICROFERRAMENTAS

Sandvik Coromant: segmento promissor no país (catálogo exclusivo)

Walter do Brasil: potencial de crescimento no país (microbrocas e microfresas)

Seco Tools: lançou microfresas

Tungaloy Brasil: lançou microbarras antivibratórias para torneamento interno

Kyocera do Brasil: faturamento dobrou até 2014

Mitsubishi: mercado mundial significativo e em desenvolvimento do Brasil

PERSPECTIVAS NO BRASIL

Tecnológico

A produção em larga escala de microcomponentes nos próximos anos tem sido apontada como um desafio na indústria

Escolas profissionalizante têm recém adquirido equipamentos e acessórios para microusinagem (SENAI)

Científico

Universidades: pesquisa (UFRJ, UFU, UNICAMP, USP-São Carlos)

Centro de pesquisa: soluções tecnológicas (IPT, CTI)