

COMPONENTES DA FORÇA DE USINAGEM NO TORNEAMENTO DE LIGAS NÃO FERROSAS E AÇOS ABNT 1020 e 1045.

Jean Robert Pereira Rodrigues¹
José Roberto Pereira Rodrigues²
Jose Carlos Sousa dos Santos³
Alexandre Sordi⁴

jrobert@fem.unicamp.br
jroberto@fem.unicamp.br
jcarlos@fem.unicamp.br
asordi@fem.unicamp.br

^{1,2, e 3} Departamento de Engenharia de Materiais - Faculdade de Engenharia Mecânica - UNICAMP, Rua Mendeleiev, s/n - Cidade Universitária "Zeferino Vaz" Barão Geraldo, 13083 – 970 – CP 6122 - Campinas – SP.

⁴ Faculdade de Engenharia Mecânica - UNICAMP, Rua Mendeleiev, s/n - Cidade Universitária "Zeferino Vaz" Barão Geraldo, 13083 – 970 – CP 6122 - Campinas – SP.

Resumo: *Este trabalho investiga o efeito do avanço, do fluido de corte e do material da peça sobre as componentes da força de usinagem no torneamento. Os ensaios cobriram condições de corte recomendadas pelo fabricante das ferramentas e alguns testes utilizaram um fluido de corte comercialmente disponível, além de utilizar ferramentas de metal duro com e sem recobrimento. Os resultados obtidos revelam concordância com as descrições da literatura.*

Palavras-chave: *Usinagem, Torneamento, Ligas não ferrosas, Aço, Fluido de Corte.*

1. INTRODUÇÃO

O torneamento é um processo de usinagem largamente utilizado nas indústrias para a produção das mais variadas peças e componentes. No objetivo de se obter informações para um maior entendimento sobre este processo, torna-se interessante fazer o estudo das forças de usinagem, (Derrien ⁽¹⁾ e Shaw ⁽²⁾)

Conhecendo-se as forças atuantes sobre a ferramenta de corte, pode-se não só estimar a potência necessária à realização do corte, como também dispor de valores importantes para a construção de máquinas -ferramentas rígidas capazes de garantir uma melhor performance.

As forças de usinagem influenciam o desenvolvimento de mecanismos de desgaste e podem determinar o colapso da ferramenta de corte (Mills ⁽³⁾ e Kitagawa ⁽⁴⁾). O monitoramento de forças tem-se constituído um valioso instrumento de controle do desgaste das ferramentas de corte. As forças de usinagem podem ainda representar um índice de usinabilidade e funcionar como parâmetro para controle adaptativo de processo (Machado et al ⁽⁵⁾ e Ferraresi ⁽⁶⁾).

Análises científicas da usinagem dos metais, também requerem conhecimentos das forças, e nos últimos 90 anos muitos dinamômetros capazes de medir forças com considerável precisão foram desenvolvidos (Trent et al ⁽⁷⁾ , Rodrigues et al ⁽⁸⁾). O presente trabalho tem como objetivo estudar as componentes da força de usinagem no torneamento de ligas não ferrosas e aços ABNT 1020 e 1045.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

No presente trabalho foram utilizados os seguintes equipamentos: Um torno IMOR - MAXI - II -520; Um dinamômetro KISTLER tipo 9443B; Um amplificador multicanal tipo 5019A; Um microcomputador AT 486 equipado com uma placa de aquisição de dados e programa para leitura e conversão dos dados de (pC) para (N). Já os parâmetros, o materiais da peça, o fluido de corte bem como as ferramentas são apresentados abaixo.

Parâmetros variados:

- vc (16 a 222 m/mim)
- f (0,138 a 0,277 mm/rev)
- ap (0,5 a 3 mm)
- rp (0,4 ; 0,8 ; 1,2 mm)

Materiais da peça:

- *Bronze* ϕ 1 ½" x 300 mm;
- *Latão* ϕ 1 ½" x 300 mm;
- *Cobre* ϕ 2" x 300 mm
- *Alumínio* ϕ 2" x 300 mm;
- *Aço ABNT 1020* ϕ 2" x 300 mm;
- *Aço ABNT 1045* ϕ 3" x 300 mm.

Fluido de corte:

- Emulsionável com concentração 5% -Dromus Bx

Ferramentas:

- *Metal duro classe ISO P20 com revestimento (TiN) - SPUN 1203 08*
- *Metal duro classe ISO P20 sem revestimento - SPUN 1203 08*
- *Metal duro classe ISO P20 com revestimento (TiN) -TPMR 1603 04*
- *Metal duro classe ISO P20 com revestimento (TiN) -TPMR 1603 08*
- *Metal duro classe ISO P20 com revestimento (TiN) -TPMR 1603 12*

O programa utilizado para a aquisição dos dados foi configurado para fazer 150 leituras a cada teste. Cada teste foi repetido três vezes e foi tomado como resultado, a média aritmética dos três valores. Na figura 1 é apresentado a montagem do sistema usado para a realização dos ensaios.

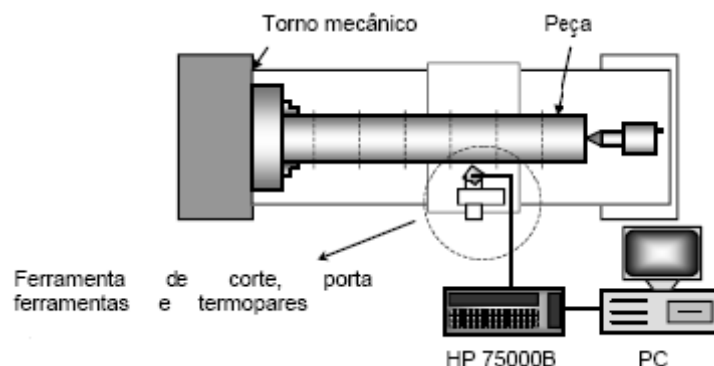


Figura 1. Montagem do sistema de medição de forças, ao lado do torno.

Para os testes onde eram consideradas as variações do avanço foram utilizadas os mesmos parâmetros de corte em três condições distintas: teste com ferramentas revestidas e a seco, teste com ferramentas revestidas com fluido de corte e o teste com e ferramentas não revestidas e a seco. O

objetivo foi comparar o efeito de fluido na força de corte, bem como também ferramentas com e sem revestimento no torneamento a seco.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Efeito do Avanço

A variação das forças de corte com o avanço para os diversos materiais testados está ilustrada nos gráficos das figuras 2(a) à 2(f). Observa-se que em todos os teste, seja ele com uso de ferramentas com ou sem revestimento, ou com e sem uso de fluido de corte, um aumento nos valores do avanço implica em conseqüente aumento na força de corte. De fato, tal comportamento já era esperado, uma vez que um incremento no avanço proporciona direta elevação da área de contato entre o cavaco e a ferramenta.

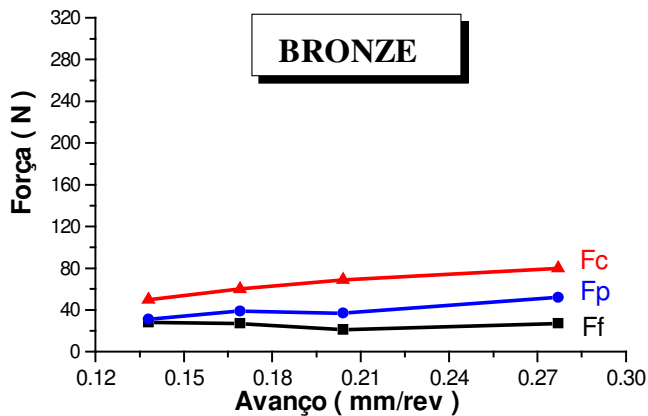
Força de corte x Avanço

Ferramenta sem revestimento e a seco.

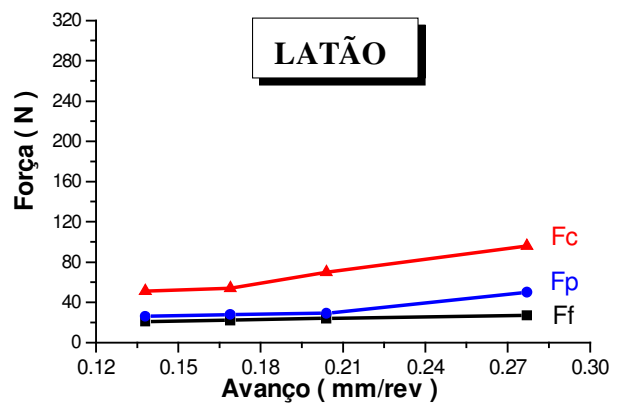
$V_c = 96 \text{ m/mim}$

$a_p = 0,5 \text{ mm}$

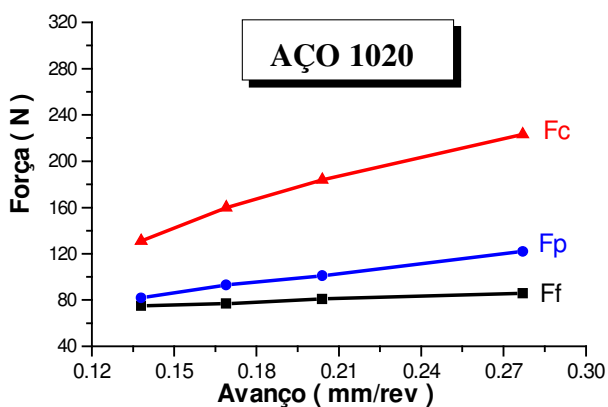
$f = (0,138 \text{ a } 0,277 \text{ mm/rev})$



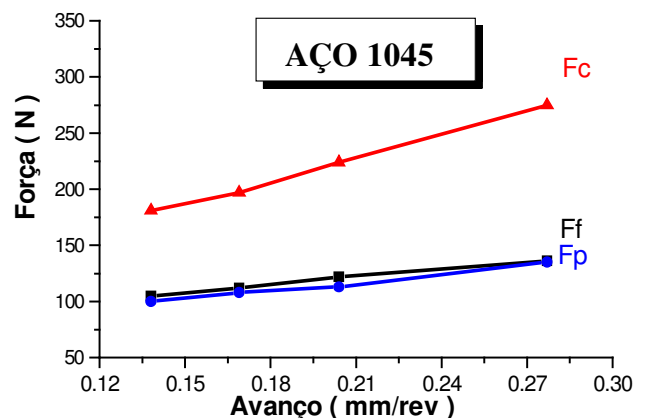
(a)



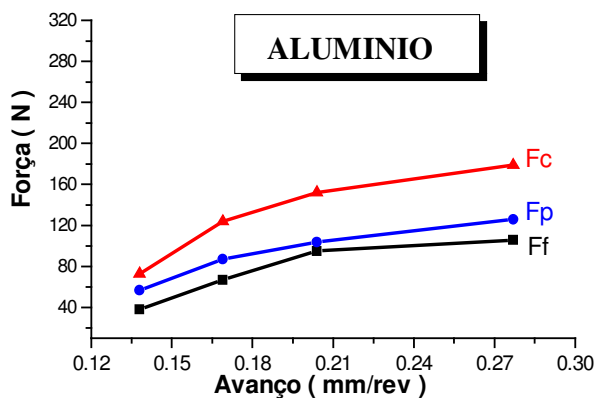
(b)



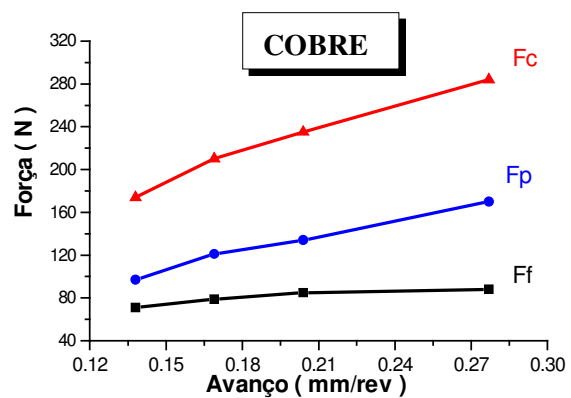
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 2. Variação das forças de corte com o avanço para os diversos materiais testados : a) Bronze , b) Latão, c) Aço 1020 , d) Aço 1045, e) Alumínio e f) Cobre.

3.2. Uso do Fluido de Corte

A fim de estudar seu efeito sobre a força de corte para o diversos materiais o fluido de corte tipo Emulsionável concentração 5% (Dromus Bx Shell), foi utilizado mantendo-se constante os demais parâmetros. Os resultados obtidos estão plotados nas figuras 3(a) à 3(f).

O efeito do uso de fluido de corte sobre a força de usinagem, pode ser avaliado sob dois aspectos: Caso o fluido apresente uma ação refrigerante mais pronunciada do que sua ação lubrificante, haverá uma redução na temperatura de usinagem, tendo como consequência um aumento de resistência ao cisalhamento do material nas zonas de cisalhamento, necessitando para isso, mais energia e força de usinagem mais alta, para promover o cisalhamento do material nas zonas de cisalhamento. Efeito contrário, é observado quando o fluido age de maneira predominantemente lubrificante, uma vez que uma redução da área de contato cavaco-ferramenta, é esperado devido a deposição de um filme (seja por ataque químico, ou por adsorção física) que permite que a área de contato cavaco-ferramenta seja reduzida (Marchado et al ⁽⁵⁾).

O comportamento geral das curvas, revela uma tendência de aumento da força de corte quando utilizando-se fluido de corte.

A análise das figuras 3(a) à 3(e) evidenciam a observação de uma ação prioritariamente refrigerante por parte do fluido de corte. É possível notar, porém, na figura 3(f), que a usinagem do cobre, o fluido de corte reduziu a força de corte. Este material por possuir alta ductilidade apresenta normalmente, grande comprimento de contato cavaco-ferramenta. O fluido de corte mesmo a alta velocidade, nas condições testadas, teve ação lubrificante e reduziu as forças.

Avanço X Força de corte

Ferramenta com revestimento

$V_c = 96 \text{ m/mim}$ $a_p = 0,5 \text{ mm}$ $f = (0,138 \text{ a } 0,277 \text{ mm/rev})$

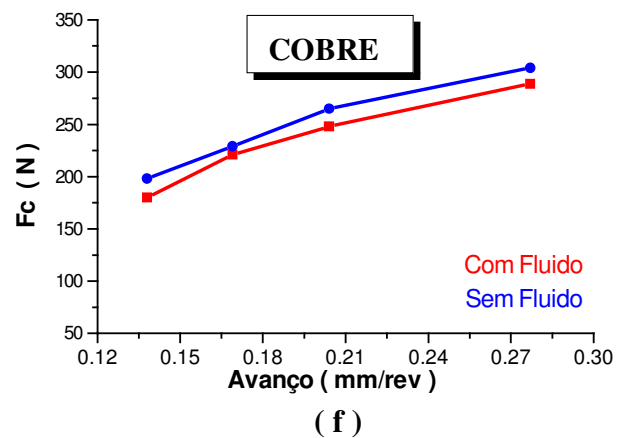
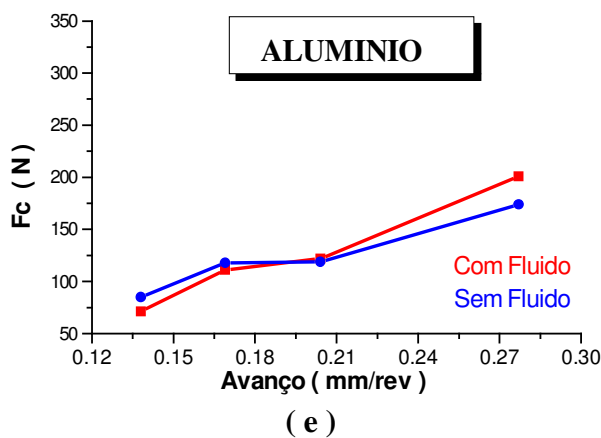
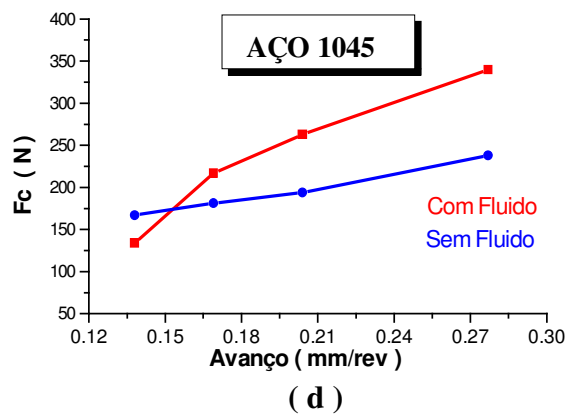
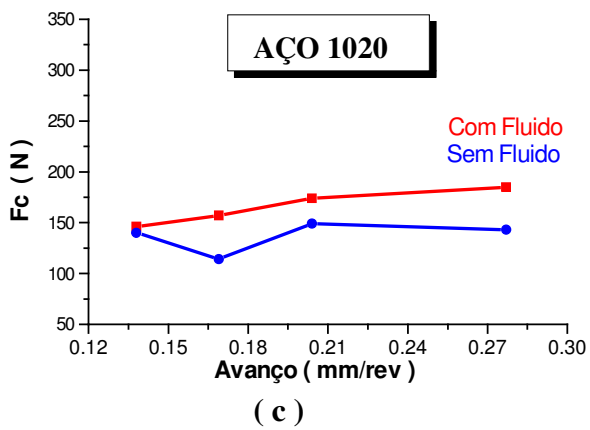
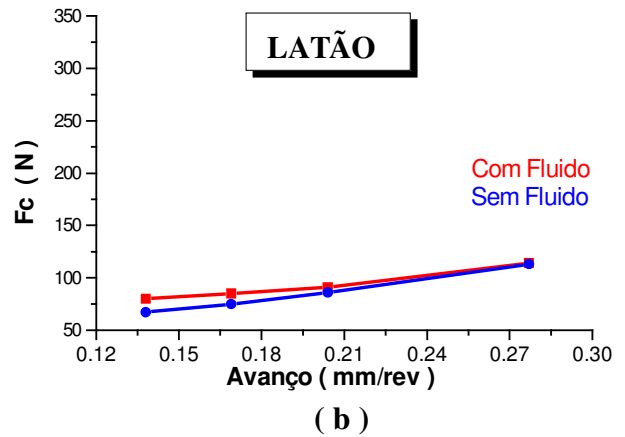
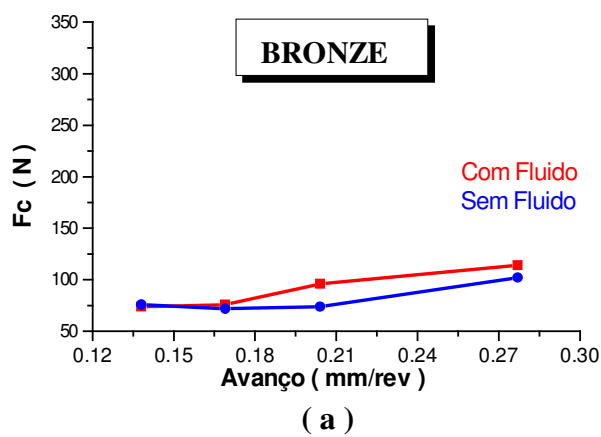


Figura 3. Efeito do uso de fluido de corte sobre a força de corte para : a) Bronze e b) Latão, c) Aço 1020 , d) Aço 1045, e) Alumínio e f) Cobre.

3.3 Tipo de Ferramenta (com e sem revestimento)

Os resultados apresentaram que a força de corte (F_c) na metade dos materiais bronze, latão e cobre foram maiores com o uso de ferramentas com revestimento.

A afinidade química do material da ferramenta com o material da peça, pode atuar principalmente na área de contato cavaco – ferramenta sob duas condições: Se a tendência for promover uma zona de aderência estável e forte, a força de usinagem poderá ser aumentada (Figura 4 (a), 4 (b) e 4 (f)), Se a tendência for diminuir a atrito na interface, evitando as fortes ligações de aderência, a área de contato cavaco - ferramenta poderá ser reduzida, diminuindo assim a força de usinagem. É o que acontece para a outra parte dos materiais (Figura 4 (c) ; Figura 4 (d) e Figura 4 (e)). Sabe-se que o revestimento de TiN foi desenvolvido especialmente para a usinagem de materiais ferrosos, justamente por ser eficiente na redução das condições de aderência e, portanto, do atrito. Pelos resultados apresentados, verifica-se que o revestimento de TiN não se mostrou eficiente para os metais à base de cobre (bronze, latão e o próprio cobre). Possivelmente a afinidade deste revestimento com o cobre é maior, aumentando a aderência e conseqüente as forças de corte.

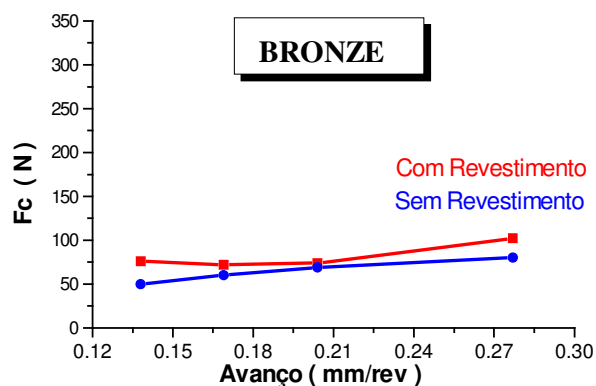
Avanço x F_c

Sem fluido de corte

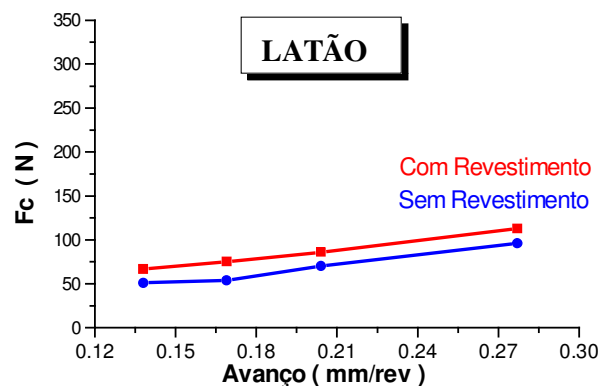
$V_c = 96$ m/mim

$a_p = 0,5$ mm

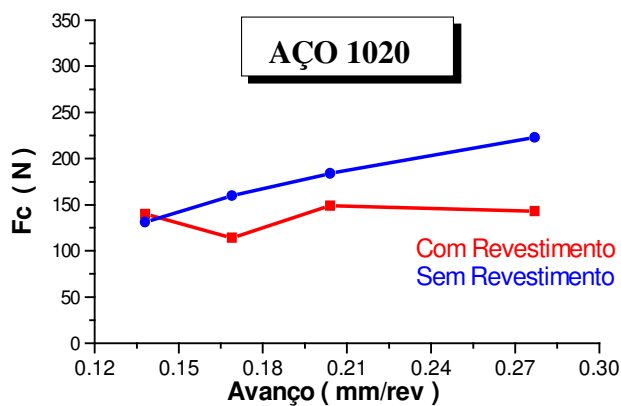
$f = (0,138$ a $0,277$ mm/rev)



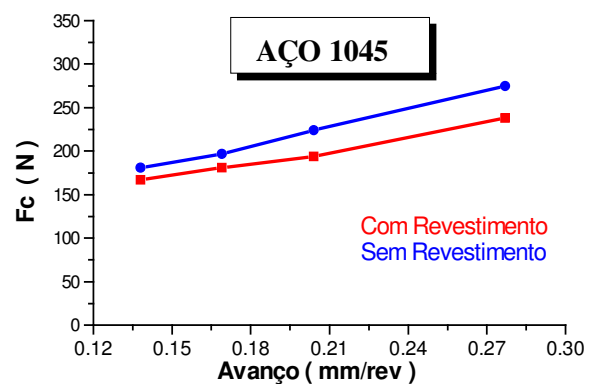
(a)



(b)



(c)



(d)

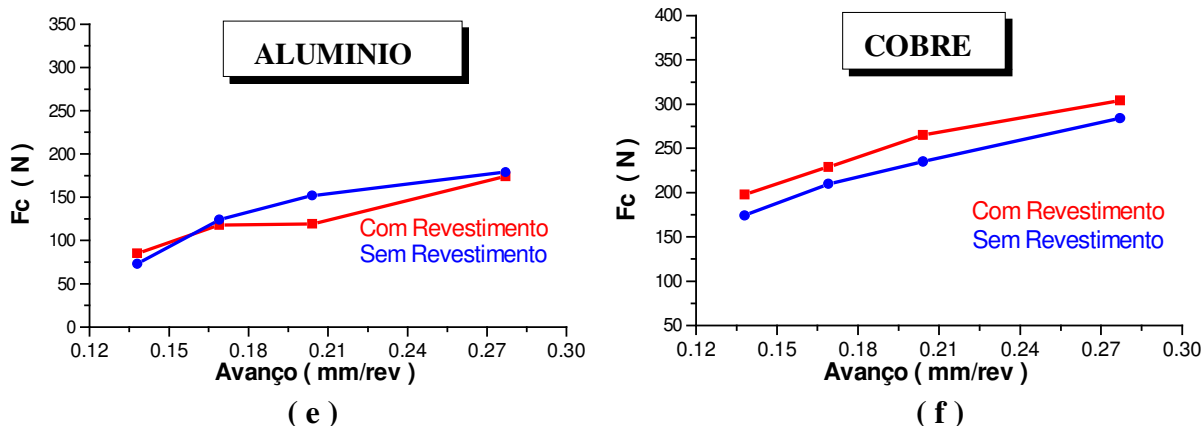


Figura 4. Resultados obtidos com ferramentas com e sem revestimentos sobre a força de usinagem para as amostras : a) Bronze e b) Latão, c) Aço 1020 , d) Aço 1045, e) Alumínio e f) Cobre.

3.4 Material da Peça

Vieira et al ⁽⁹⁾ , destacam que de maneira geral, quanto maior a resistência do material ao cisalhamento nos planos de cisalhamentos, maior a força de usinagem. Entretanto, a ductilidade do material pode alterar a área da seção de corte, alterando também a força de usinagem. Aqui, mais uma vez, o efeito do parâmetro estudado sobre a força pode ser explicado por sua influência na área de contato cavaco-ferramenta, isto é, por seu efeito de maior restrição à livre movimentação do cavaco sobre a superfície de saída da ferramenta, decorrente do aumento desta área.

Os gráficos das figuras 5 (a) à 5 (c), ilustram o comportamento observado da força de corte, quando usinando as amostras com diferentes valores de avanço de corte. Observa-se que o latão apresenta apresentar uma baixa forças de corte, devido a baixa resistência ao cisalhamento deste material, com uma ductilidade não tão grande como o cobre puro, indicando facilidade de usinar. Uma vez que o bronze apresenta produto de cavaco descontínuos, já o cavaco do latão é contínuo. Neste caso há uma baixa resistência ao movimento do cavaco na superfície de saída da ferramenta, reduzindo as forças de usinagem e em conseqüência uma redução na tensão de compressão no plano de cisalhamento primário, o que facilita a fratura do cavaco.

O cobre por ser um material que apresenta uma ductilidade elevada com relação ao demais, teve maiores forças de usinagem, concorrendo apenas com o aço 1045 que também apresentou forças elevadas, isto devido a grande resistência que este material oferece para ser cisalhado. Como as tensões de compressão neste planos são grandes, isto faz com que os cavacos saiam contínuo, longos e difíceis de serem controlados. Isso oferece uma grande dificuldade para que estes materiais movam-se sobre a superfície de saída, acarretando uma elevação na forcas de usinagem. No caso do Alumínio e Aço 1020 as forças de usinagem requeridas já se enquadraram em uma faixa intermediária, devido à combinação de ductilidade e resistência também destes materiais.

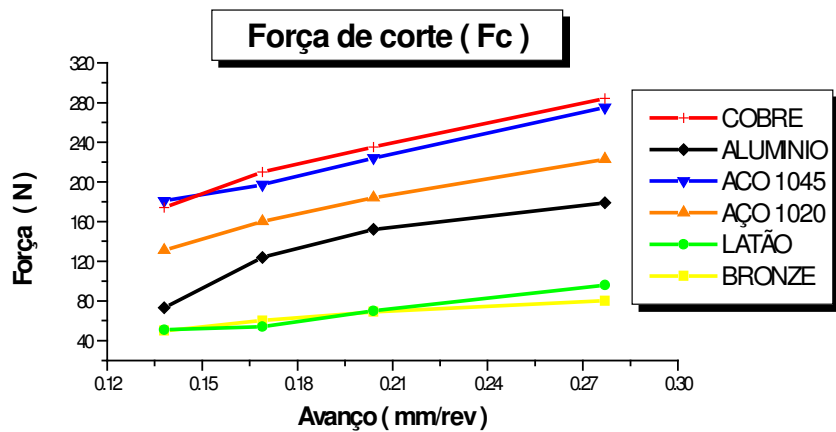
Avanço X forças de corte.

Ferramenta sem revestimento e a seco.

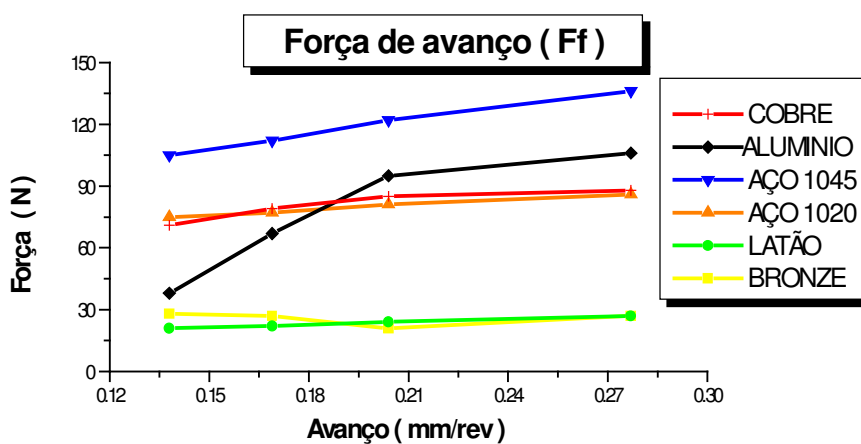
$V_c = 96 \text{ m/mim}$

$a_p = 0,5 \text{ mm}$

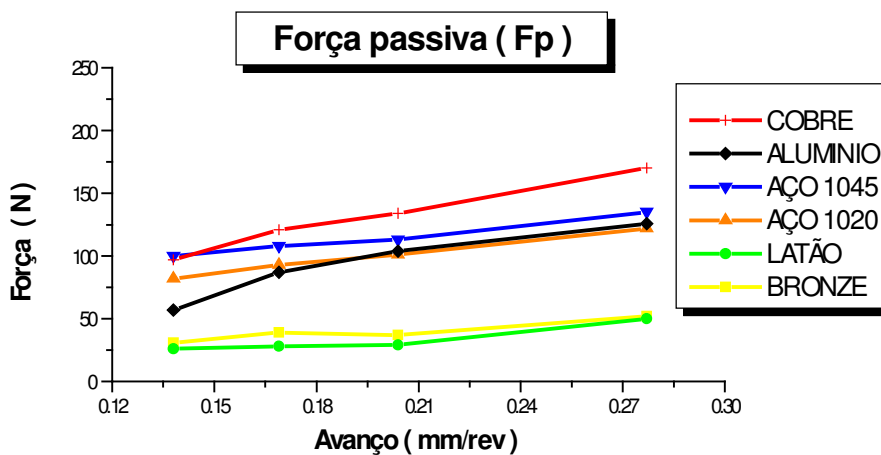
$f = (0,138 \text{ a } 0,277 \text{ mm/rev})$



(a)



(b)



(c)

Figura 5. Comportamento do material da peça observados para : a) força de corte , b) força de avanço e c)força passiva.

4. CONCLUSÕES

Pode-se concluir dos resultados obtidos que:

- Em concordância com o apontado na literatura, o aumento da velocidade de corte em geral produz uma redução na força de usinagem porém este efeito é pequeno. A profundidade de corte e avanço, provocaram um aumento na força de usinagem maior que os demais parâmetros de usinagem, durante a operação de torneamento.
- Nos testes realizados verificou-se que a força de corte (F_C) foi a maior de todas, acompanhadas pela (F_f) e (F_P), e que para valores de profundidade de corte acima de 0,5, a força de avanço (F_f) e foi maior que a força passiva (F_P).
- O fluido de corte contribuiu para obtenção de valores de força superiores aos observados nos testes à seco. Efeito contrário é observado quando o fluido age de maneira predominantemente lubrificante. Caso da usinagem do cobre.
- As forças de corte foram menores para a usinagem com ferramentas revestidas do que com as sem revestimento, quando na usinagem dos Aços ABNT 1045, 1020 e Alumínio. Efeito contrário observado quando na usinagem do Bronze, Latão e Cobre que tiveram forças maiores, Isto pode ter sido consequência da afinidade química do material do revestimento com o material da peça.
- Dependendo das condições de usinagem adotadas durante o processo de torneamento, a classificação de usinabilidade dos materiais pode mudar. Para a maioria dos teste o Cobre (alta ductilidade) e o Aço 1045 (grande resistência ao cisalhamento) tiveram as maiores forças de corte, acompanhados pelo alumínio (dúctil) e Aço 1020 (resistente ao cisalhamento), e por final o Latão e o Bronze (baixa resistência e ductilidade).

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as entidades financiadoras, CAPES e CNPq pelo suporte financeiro a pesquisa através do pagamento de bolsa.

6. REFERENCIAS

1. Derrien, S and Vigneau, J., “**High speed milling of difficult to machine alloys**”. In: A. Molinari, H. Schulz and H. Schulz, Editors. 1997.
2. Shaw, M. C., “**Metal Cutting Principles**”, Claredon Press, Oxford, 1984.
3. Mills, B. e Redford, A. H., “Machinability of Engineering Materials”, **Applied Science Publishers**, Essex England. 1983.
4. Kitagawa, T. Kubo, A and Maekawa, K., “Temperature and wear of cutting tools in high speed machining of Inconel and Ti-6Al-6V-2Sn”. **Wear** 202, 1997. p. 142-148
5. Machado, A. R., da SILVA, M. B., “**Usinagem dos Metais**”. Ed. da UFU, Uberlândia, Brasil, 1994.
6. Ferraresi, D.,, “**Fundamentos da Usinagem dos Metais**”. Ed Edgard Blücher, São Paulo, Brasil, 1977. 345p.
7. Trent, E. M., “**Metal Cutting**”, 2rd ed, Butterworth, Londo, 1984. p. 245.
8. Rodrigues, J.R.P, Rodrigues, J.R.P., “Componentes da força de usinagem no processamento de ligas não ferrosas e aços”, **Maquinas e Metais**, v.476, 2005, pp.42-53.
9. Vieira, J.M., Machado., A.R. and Ezugwu. E.O., “Performance of cutting fluids during face milling of steels”. **Journal of Materials Processing Technology.**, 16 , 2001.p. 244-251.

COMPONENT OF THE FORCES OF MACHINING IN THE TURNING OF NONFERROUS ALLOY AND STEEL.

Jean Robert Pereira Rodrigues¹
José Roberto Pereira Rodrigues²
Jose Carlos Sousa dos Santos³
Alexandre Sordi⁴

jrobert@fem.unicamp.br
jroberto@fem.unicamp.br
jcarlos@fem.unicamp.br
asordi@fem.unicamp.br

^{1,2, e 3}Departamento de Engenharia de Materiais - Faculdade de Engenharia Mecânica - UNICAMP, Rua Mendeleiev, s/n - Cidade Universitária "Zeferino Vaz" Barão Geraldo, 13083 – 970 – CP 6122 - Campinas – SP.

⁴Faculdade de Engenharia Mecânica - UNICAMP, Rua Mendeleiev, s/n - Cidade Universitária "Zeferino Vaz" Barão Geraldo, 13083 – 970 – CP 6122 - Campinas – SP.

Abstrat. *This work investigates the effect of feet rate, cutting fluids and piece material on the components of the force of machining in the tilting. The assays had covered conditions of cut recommended by the manufacturer of the tools and some tests had used a fluid of commercially available cutting, besides using hard metal tools with and without covering. The results disclose agreement with the descriptions of literature*

Keywords. *Machining, Turning, Cutting of force, Steel.*