

INFLUÊNCIA DO TEOR DE CARBONO NA USINABILIDADE DO AÇO DE CORTE-FÁCIL ABNT 12L14

André Bueno Sampaio, andrebuenosampaio@yahoo.com.br¹
Rosemar Batista da Silva, rosemarbsilva@yahoo.com.br¹
Álison Rocha Machado, alisonm@mecanica.ufu.br¹
Marcelo Nascimento de Souza, mnascimento28@yahoo.com.br¹
Nelis Evangelista Luiz, nelis.luiz@sinimplante.com.br²

¹ Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem - Campus Santa Mônica - 38400-100 - Uberlândia - MG - Brasil

²SIN - Sistema de Implante - São Paulo - SP

Resumo: Os aços de corte-fácil correspondem a um tipo de material especialmente projetado para dar máxima resposta em operações de usinagem. O objetivo principal deste trabalho é analisar a influência dos elementos residuais Cr, Ni e Cu (elementos que não são adicionados intencionalmente em processos metalúrgicos simples) na usinabilidade do aço de corte-fácil de baixo carbono ABNT 12L14. Nove diferentes corridas, com diferentes teores de elementos residuais, foram produzidas, sendo todas com composições químicas dentro da especificação de norma, possibilitando a comparação dos resultados entre elas. Uma corrida extra com teor de carbono no nível alto foi produzida, permitindo levar em consideração a influência deste importante elemento químico na usinabilidade do material. As variáveis de saída utilizadas para quantificar a influência dos elementos residuais foram: vida de ferramenta (teste Volvo), temperatura de corte, rugosidade da superfície e força de usinagem, visto que já foram detectados em outros trabalhos que pequenas variações de residuais influenciam diretamente nestes parâmetros. A vida de ferramenta foi baseada na medição do desgaste de flanco máximo no processo de fresamento frontal com ferramenta de aço-rápido e todos os parâmetros do processo estabelecidos pela norma VOLVO. Para a análise da influência dos elementos residuais na temperatura de usinagem, foi utilizado o método do termopar ferramenta-peça, que possibilita determinar os valores de temperatura gerada na interface cavaco-ferramenta no processo de usinagem. Para medição das componentes da força de usinagem foi utilizada uma plataforma dinamométrica da Kistler, e para análise da rugosidade o parâmetro utilizado foi o Ra. Os resultados mostraram que tanto os elementos químicos residuais como o carbono apresentaram influências significativas na usinabilidade do material.

Palavras-chave: Elementos químicos residuais, Teor de carbono, Aços de Corte-fácil, Usinabilidade

1. INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação do projeto

A maior parte de todos os produtos industrializados em alguma de suas etapas de produção sofre algum processo de usinagem. As peças fabricadas por processos de usinagem podem ser constituídas dos mais diferentes tipos de materiais, dentre esses materiais, os aços se destacam consideravelmente. Os aços são ligas metálicas de ferro e carbono, com percentagens deste último variáveis entre 0,008 e 2,11%, é atualmente a mais importante liga metálica, sendo empregada de forma intensiva em numerosas aplicações tais como máquinas, ferramentas, em construção, etc .

Com o advento dos fornos de fusão a arco elétrico, a maioria das aciarias não integradas passou a trabalhar com matéria a partir de sucata. A utilização da sucata, do ponto de vista ambiental, é bastante vantajosa, sendo que assim o aço passa a ser um material reciclável. Porém, esta sucata quando utilizada para reciclagem traz consigo uma diversidade de elementos químicos que não são previstos na composição original dos aços, tais elementos são denominados elementos químicos residuais.

Quanto mais o aço é reciclado, maior é a quantidade de residuais encontrados em sua composição, e, além disso, a remoção desses elementos não é feita através de um processo metalúrgico simples, o que encarece bastante o custo de fabricação do aço. A questão é a seguinte, a presença desses elementos residuais na composição do aço, interfere consideravelmente nos processos de usinagem, e, apesar de já se ter conhecimento sobre este problema, existem ainda poucos trabalhos na literatura a respeito da influência dos elementos residuais na usinabilidade dos aços.

Para peças feitas de aços de engenharia, não é incomum, que os custos de usinagem representem cerca de 50% do custo final de produção (Apple, 1999). Por isso têm crescido em grande escala as pesquisas nas indústrias siderúrgicas visando a obtenção de aços especiais, que proporcionem um menor custo na fabricação de um componente usinado. Entre esses aços especiais têm-se os aços de corte-livre, que são aqueles projetados com o objetivo de obter máximo desempenho em operações de usinagem. De especial importância são os aços de corte-livre baixo carbono que respondem pelo maior volume consumido dentro deste grupo de aço. Os usuários deste aço verificaram grande variabilidade de usinabilidade entre lotes distintos, apesar de estarem dentro da mesma especificação. Acredita-se que as variações na composição química sejam responsáveis por estas variações na usinabilidade destes aços (Mill & Redford, 1983). Sabe-se que os elementos residuais endurecem o aço, causando uma redução na vida da ferramenta durante a usinagem, e é por isso que encaixe o processo.

Diante do fato de que composição química destes aços pode afetar diretamente no processo de usinagem e, consecutivamente no orçamento das empresas, foi desenvolvido um projeto com a finalidade de estudar a influência dos elementos residuais (Cu, Ni, e Cr) na usinabilidade dos aços de livre corte de baixo carbono. Este projeto conta com um trabalho realizado no LEPU (Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem) da Universidade Federal de Uberlândia, desenvolvido pelo professor Álisson Rocha Machado que orientou o mestrado e doutorado de Marcelo Nascimento Souza e Nelis Evangelista Luiz, respectivamente. Neste trabalho foram analisados nove lotes de materiais com composições químicas previamente definidas.

O material da peça utilizado foi um aço de-corte-fácil com 9 níveis residuais de Cr, Ni, Cu diferentes, fornecidos pela Aços Villares em forma de barras cilíndricas com 1000 mm de comprimento e diâmetro de 52,9 mm. A Tabela (1) mostra a composição química dos 9 materiais analisados neste trabalho.

Tabela 1. Composição química dos materiais conforme o fabricante.

| Material | %C | %Si | %Mn | %P | %S | %Cr | %Ni | %Cu | %Mo | %Al | %Pb | %N2 |
|----------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|--------|
| A | 0,090 | 0,03 | 1,24 | 0,046 | 0,273 | 0,15 | 0,08 | 0,26 | 0,020 | 0,001 | 0,280 | 0,0079 |
| B | 0,140 | 0,03 | 1,20 | 0,045 | 0,280 | 0,09 | 0,17 | 0,18 | 0,020 | 0,001 | 0,270 | 0,0084 |
| C | 0,072 | 0,02 | 1,21 | 0,044 | 0,284 | 0,09 | 0,17 | 0,25 | 0,020 | 0,001 | 0,250 | 0,0080 |
| D | 0,085 | 0,02 | 1,25 | 0,047 | 0,272 | 0,10 | 0,08 | 0,11 | 0,010 | 0,001 | 0,240 | 0,0070 |
| E | 0,077 | 0,02 | 1,24 | 0,050 | 0,277 | 0,16 | 0,09 | 0,08 | 0,010 | 0,001 | 0,250 | 0,0080 |
| F | 0,084 | 0,02 | 1,23 | 0,048 | 0,297 | 0,10 | 0,08 | 0,27 | 0,030 | 0,001 | 0,230 | 0,0086 |
| G | 0,078 | 0,03 | 1,25 | 0,051 | 0,273 | 0,18 | 0,17 | 0,17 | 0,030 | 0,001 | 0,260 | 0,0072 |
| H | 0,077 | 0,02 | 1,22 | 0,045 | 0,295 | 0,13 | 0,12 | 0,21 | 0,03 | 0,001 | 0,24 | 0,0086 |
| I | 0,078 | 0,03 | 1,25 | 0,052 | 0,279 | 0,19 | 0,18 | 0,26 | 0,040 | 0,001 | 0,250 | 0,0083 |

Como se pode observar na Tabela (1), a segunda corrida (Material "B") apresentou teor de carbono muito superior aos das outras corridas, o que influenciou consideravelmente os resultados dos testes realizados. Foi a partir dessa observação é que houve a necessidade de um projeto complementar, que visou repetir os testes referentes à segunda corrida, porém com um material cujo teor de carbono estivesse dentro da mesma faixa de variação a que pertenciam os materiais das outras corridas.

Com isto, o mesmo fornecedor de matéria-prima, Aços Villares, produziu um novo lote de barras cilíndricas com composição química similar a das outras corridas Tabela (2).

Tabela 2. Composição química do material para nova "Corrida B", conforme o fabricante.

| Material | %C | %Si | %Mn | %P | %S | %Cr | %Ni | %Cu | %Mo | %Al | %Pb | N2 ppm |
|-----------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------|------|--------|
| 12L14 "B" | 0,094 | 0,02 | 1,07 | 0,045 | 0,291 | 0,09 | 0,18 | 0,15 | 0,01 | 0,001 | 0,26 | 0,0088 |

Portanto, este trabalho visa repetir os testes referentes à corrida B, com carbono dentro da faixa de teores igual aos demais, para eventualmente corrigir distorções causadas pelo alto teor de carbono desta corrida original. Para isso, serão refeitos os testes de vida (norma VOLVO, 1989), realizado por Souza (2006), os testes de força e temperatura realizados por Luis (2007). Foram monitorados a rugosidade da superfície e todos os valores de força, temperatura e desgaste foram utilizados para efeito de comparação com as outras 8 corridas já testadas nos trabalhos de Evangelista (2007) e por Souza (2006). Pretende-se com isto analisar e discutir sobre a influência do teor de carbono na usinabilidade do aço ABNT 12L14.

1.2. Conceito de Aço de Livre-Corte ABNT 12L14

Os aços de livre corte ou aços de corte-fácil correspondem a um tipo de material especialmente projetado para dar máxima resposta em operações de usinagem. Estes aços são ligas ferro-carbono (com baixo ou médio teor de carbono) e normalmente são adicionados enxofre (para formação de sulfetos de manganês) e chumbo (Pb) em sua constituição

(Bas, 1995). Estes elementos são considerados aditivos de corte-fácil que promovem a melhoria da usinabilidade, a adição de chumbo propicia a lubrificação da aresta de corte das ferramentas, permitindo o aumento das velocidades de usinagem.

Estes aços são utilizados na produção seriada de peças de pequenos e médios portes. Em função do balanceamento químico e da adição de Pb na composição química, estes aços apresentam cavacos quebradiços durante a usinagem, o que proporciona a obtenção de peças com ótimo acabamento superficial e baixo consumo de ferramentas. Além de conter aditivo de Pb, os aços decorte-fácil são resulfurados e refosforados, a composição química nominal destes aços compreende os seguintes elementos Tabela (3):

Tabela 3. Composição química do ABNT 12L14 conforme SAE J403

| SAE/AISI/ABNT | C máx. | Si máx. | Mn | P | S | Pb |
|---------------|--------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 12L14 | 0,15 | 0,05 | 0,85 - 1,15 | 0,04 - 0,09 | 0,26 - 0,35 | 0,15 - 0,35 |

2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

O procedimento experimental para a realização deste trabalho está dividido em 3 etapas: teste VOLVO, ensaios de força e ensaios de temperatura.

2.1. Primeira etapa: Teste VOLVO

Esta etapa consiste na descrição do teste VOLVO, os equipamentos, as ferramentas utilizadas e os parâmetros utilizados, bem como os corpos de prova para a realização deste teste de acordo a norma VOLVO (The Volvo Standard Machinability Test, "Std. 1018.712", 1989).

A máquina-ferramenta utilizada para o processo de fresamento frontal foi uma fresadora CNC, modelo Interact 4, fornecida pela Romi, que possui sistema de bombeamento de fluido de corte, 7,5 CV de potência em seu eixo árvore e variação contínua de rotação (40 a 4000rpm) e avanço (0 a 4800 mm/min).

As ferramentas de corte são barras de aço-rápido com dimensões quadradas de 16 mm de lado e 80 mm de comprimento, adaptadas a um cabeçote porta ferramenta especialmente desenvolvido de acordo com a norma. Foram utilizadas três ferramentas, pois assim, foi possível fazer a média entre os valores de desgaste de cada uma delas e obter um resultado mais confiável. A Figura (1) mostra a ferramenta utilizada nos testes.



Figura 1. Ferramenta de HSS utilizada no teste VOLVO.

O material dos corpos de prova utilizados foi aço ABNT 12L14 (nova corrida B), com dimensões de 50 mm de diâmetro por 150 mm de comprimento.

As condições de corte utilizadas nos ensaios foram são mostradas na Tabela 4, a seguir:

Tabela 4. Condições de corte utilizadas no teste VOLVO.

| | |
|----------------------------|----------------|
| Rotação | 500 rpm |
| Vc (Velocidade de Corte) | 78,5 m/min |
| f (Avanço) | 0,1 mm/rotação |
| Vf (Velocidade de Avanço) | 500 mm/min |
| ap (Profundidade de Corte) | 1 mm |

O critério de fim de vida utilizado nos testes foi o desgaste de flanco medido a cada 5 passadas da ferramenta, até que se atinja 0,7 mm (de acordo com a norma). Este processo de medição foi realizado com o auxílio de um equipamento estéreo-microscópio com câmera digital integrada da marca Olympus, que é interligado a um software analisador de imagens, todo este aparato também é disponibilizado pelo laboratório. Os valores obtidos no microscópio foram anotados em uma tabela e posteriormente analisados para determinação do Índice "B".

Nesta etapa foi monitorada como variável de saída o volume de material removido (cm^3) quando a ferramenta atinge o limite de 0,7 mm de desgaste de flanco máximo. O índice B é determinado em um diagrama de velocidade de corte versus volume de material removido em escalas logarítmicas Figura (2), nesta escala o aço de corte livre SAE 1112 tem um índice 100.

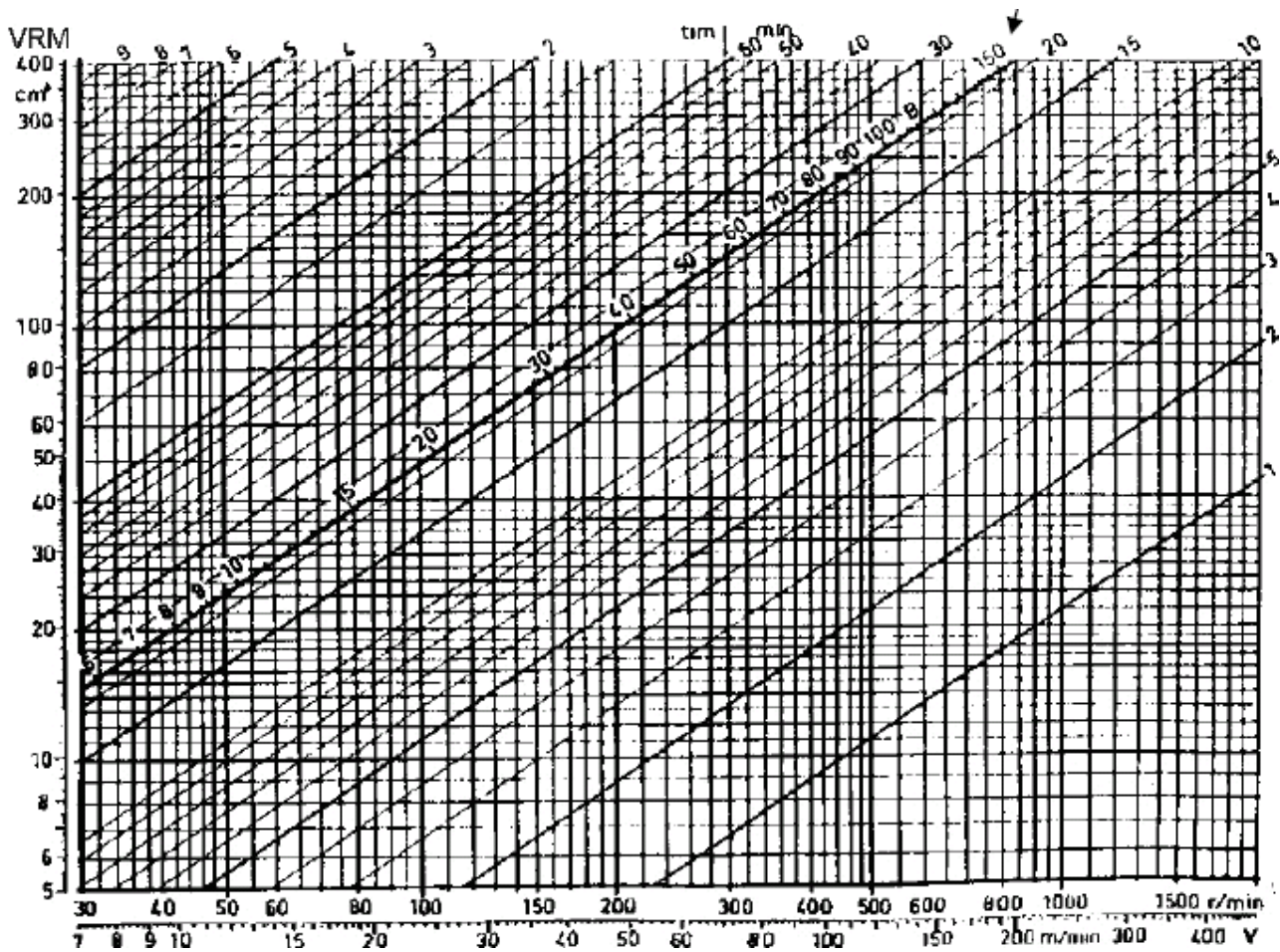


Figura 2. Diagrama de Determinação do índice B (Volvo, 1989).

Para uma melhor precisão, deve-se realizar no mínimo 3 testes e no máximo 6 testes nas mesmas condições para cada velocidade de corte empregada, onde é calculada a razão entre volume mínimo (abaixo da linha de referência) e volume máximo (acima da linha de referência) de material em cada teste, a Tabela (5) fornece a regra para determinação do número de testes. Mais detalhes sobre este teste podem ser encontrados nos trabalhos de Souza (2006).

Tabela 5. Regra para determinação do número de testes em cada velocidade de corte (Volvo, 1989).

| Min/máx | Número de sub-testes |
|-----------|-------------------------|
| 1,0-0,93 | Três |
| 0,93-0,87 | Quatro |
| 0,87-0,81 | Cinco |
| 0,81-0,75 | Seis |
| <0,74 | Material não apropriado |

Onde Min/máx são valores obtidos da relação da maior quantidade de material removido pela menor quantidade.

2.2. Segunda etapa: Ensaios de Força

Os ensaios de força foram realizados no torno Revolution RV-220 com rotação máxima de 2500 rpm. Para captação do sinal de força, o laboratório disponibiliza de um dinamômetro, composto por uma plataforma piezelétrica (Kistler 9265) e um amplificador de sinais (Kistler 5070-A). Os corpos de prova utilizados são barras cilíndricas de 500 mm de comprimento e 50mm de diâmetro.

O tempo de aquisição do sinal variou de acordo com as condições de corte usadas, sendo menores para valores de avanço e rotação mais elevados. A Figura (3) mostra o esquema montado para aquisição da força de usinagem.

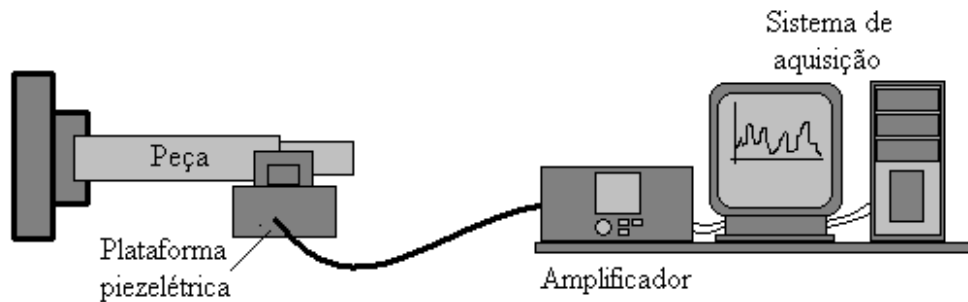


Figura 3. Ilustração esquemática do aparato experimental para aquisição do sinal de força de usinagem.

Apenas nesta etapa foi também monitorada a rugosidade superficial (R_a) utilizando o rugosímetro Taylor Hobson Surtronic 3. O *cut off* usado foi de 0,8mm (seguindo orientação da norma ISO 4287 (2000)).

2.3. Terceira etapa: Ensaios de Temperatura

Esta etapa apresenta o procedimento adotado para a realização dos ensaios de temperatura de usinagem, o método do termopar ferramenta-peça. As dimensões dos corpos de prova são mostradas na Figura 4.

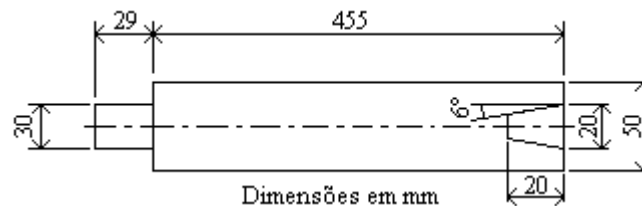


Figura 4. Detalhes do corpo de prova para os ensaios de temperatura de usinagem.

Para os testes de temperatura somente foram realizados os ensaios nas regiões de baixas velocidades de corte, devido ao fato de a ferramenta (aço-rápido) não resistir às regiões de altas temperaturas. O termopar utilizado para calibração era constituído de aço-rápido e aço ABNT 12L14, e a curva de calibração usada para converter o sinal captado de [mV] para [°C] foi a mesma obtida com a calibração do termopar fabricado com o material da corrida H (Naves et al, 2006), representada pela Equação (1). A obtenção do sinal em milivolts para calibração do termopar foi feita através de um sistema de aquisição constituído por um voltímetro digital (Agilent 34970A), um forno de resistências e um termopar previamente calibrado (cromo-alumínio).

$$Temperatura[^\circ C] = 489,41 \times Tens\tilde{a}o[mV] - 370,87 \quad (1)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Teste VOLVO

Percebeu-se dos resultados obtidos que o desgaste de flanco aumenta de acordo com o tempo de usinagem. As três ferramentas usinaram cerca de 120 min, até que atingissem o desgaste de flanco máximo ($VB_{B\max} = 0,7$ mm).

Através do diagrama de velocidade de corte *versus* volume de material removido em escalas logarítmicas, foram retirados os valores de índice “B” para as três ferramentas utilizadas no teste, assim como representado na Tabela (6).

Tabela 6. Valores de índices de usinabilidade “B”

| | Volume de Material Retirado | Índice "B" |
|--------------|-----------------------------|------------|
| Ferramenta 1 | 225,4 cm ³ | 94,5 |
| Ferramenta 2 | 219,52 cm ³ | 93,6 |
| Ferramenta 3 | 217,56 cm ³ | 92,7 |
| Média | 220,83 cm ³ | 93,6 |

Como a percentagem de elementos residuais da nova corrida não apresentou mudança significativa em relação à percentagem da corrida “B” original (Tabela 7), percebeu-se que o fato de o índice “B” do novo material ter aumentado, evidenciando uma usinabilidade pouco melhor, deveu-se possivelmente à influência do teor de carbono que foi reduzida de 0,046% em relação ao teor de carbono da corrida “B” original.

Tabela 7. Comparação entre os resultados obtidos entre as corridas “B” nova e original.

| Materiais | Teor de Carbono (%) | % de residuais (Cr+Ni+Cu) | Índice “B” |
|-------------------------------------|---------------------|---------------------------|------------|
| Corrida B original (alto teor de C) | 0,14 | 0,44 | 92,6 |
| Corrida B nova (baixo teor de C) | 0,094 | 0,42 | 93,6 |

3.2. Ensaios de Força, Temperatura de Usinagem e Rugosidade da Superfície

Nas Figuras 5 e 6 são mostrados os resultados da força de corte em função da profundidade de corte e avanço, respectivamente, geradas durante a usinagem do Aço ABNT 12L14 com baixo e alto teor de carbono (alto e baixo teor C). Observa-se que em geral relativas maiores forças de corte foram produzidas quando se usinou o aço com maior teor de carbono. Essa diferença é mais significativa para valores intermediários de profundidade de corte e avanço.

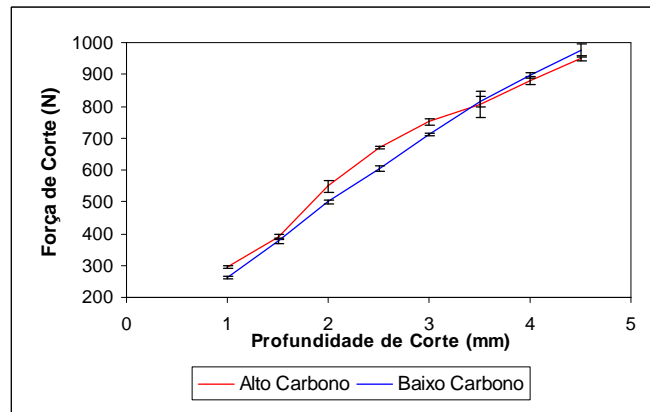


Figura 5. Força de Corte x Profundidade ($V_c=141\text{m/min}$; $f=0,138\text{mm/rot}$)

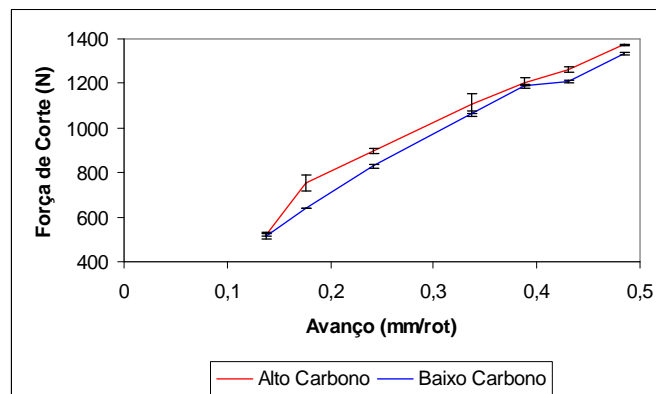


Figura 6. Força de Corte x Avanço ($V_c=141\text{m/min}$; $a_p=2\text{mm}$)

Em relação à velocidade de corte (Figura 7), nenhuma afirmação pode ser feita sobre a influência do teor de carbono. Interessante observar que ao se aumentar a velocidade de corte, os valores de força produzidos também aumentaram, o que pode ser verificado para ambos os aços, tal característica pode estar ligada a composição química do material.

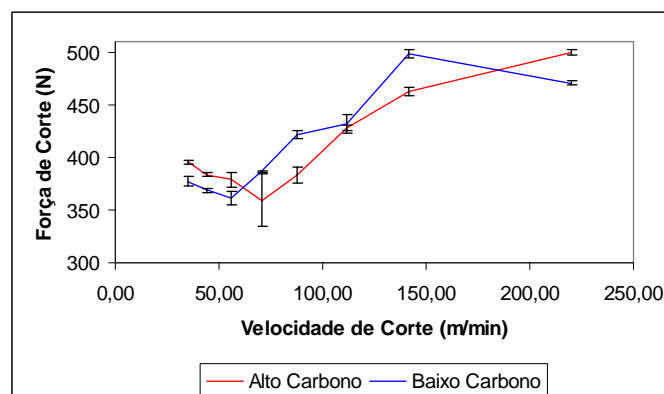


Figura 7. Força de Corte x Velocidade ($f=0,138\text{mm/rot}$; $a_p=2\text{mm}$)

Nas Figuras 8 a 10 são mostrados os resultados de rugosidade da superfície (R_a) em função da profundidade de corte, avanço e velocidade de corte, respectivamente, geradas durante o torneamento do Aço ABNT 12L14 com baixo e alto teor de carbono (alto e baixo teor C). Observa-se em geral que quanto maior a profundidade de corte, e quanto menor o avanço, menores são os resultados de rugosidade, evidenciando um melhor acabamento, porém, quanto à influência do teor de carbono, nada se pode afirmar ao certo, pois ao comparar as duas curvas, percebe-se que os resultados estão na mesma região de incerteza.

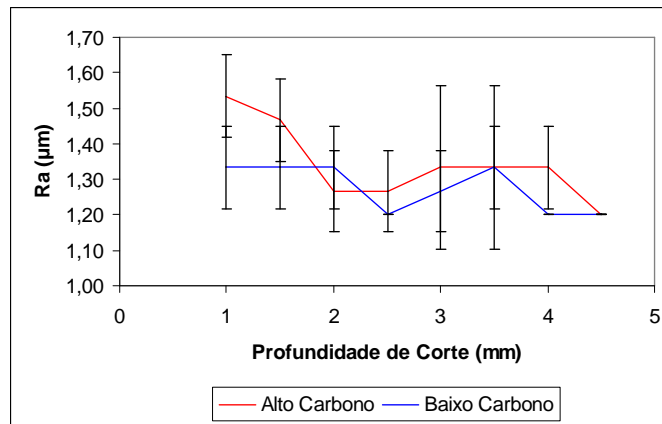


Figura 8. Rugosidade x Profundidade ($V_c=141\text{m/min}$; $f=0,138\text{mm/rot}$)

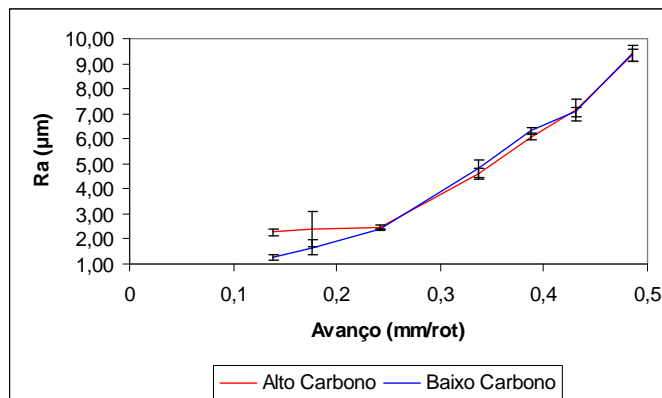


Figura 9. Rugosidade x Avanço ($V_c=141\text{m/min}$; $A_p=2\text{mm}$)

Ao contrário do que ocorreu quando analisada a influência do teor de carbono no material quanto à variação do avanço e da profundidade de corte em função do R_a , percebe-se ao observar o gráfico da Figura 10, que para valores intermediários de velocidade de corte o teor de carbono interferiu de alguma maneira nos parâmetros de rugosidade, evidenciando um melhor acabamento para o torneamento do aço de maior dureza (alto C), além disso, é possível verificar, que quanto maior o valor da velocidade de corte, melhor é o acabamento, para ambos os materiais.

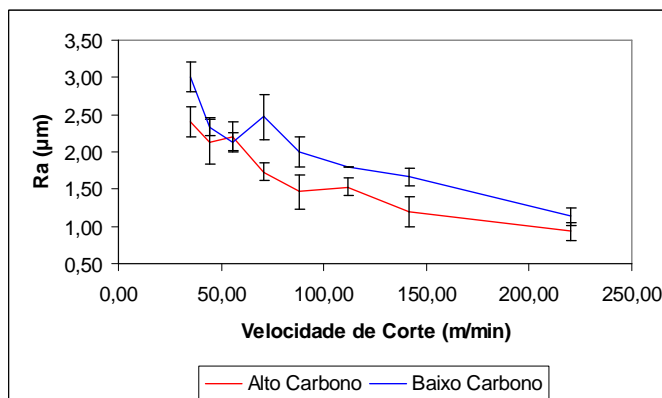


Figura 10. Rugosidade x Velocidade ($f=0,138\text{mm/rot}$; $a_p=2\text{mm}$)

Nas Figuras 11 a 13 são mostrados os resultados da temperatura de corte em função da profundidade de corte, avanço e velocidade de corte, respectivamente, geradas durante o torneamento do Aço ABNT 12L14 com baixo e alto teor de carbono (alto e baixo teor C). Em geral, ao analisar estes resultados, verifica-se nitidamente que maiores valores de temperatura são produzidos quando se usina o aço de mais alto teor de carbono, para quaisquer que sejam as variações de profundidade, velocidade de corte e avanço.

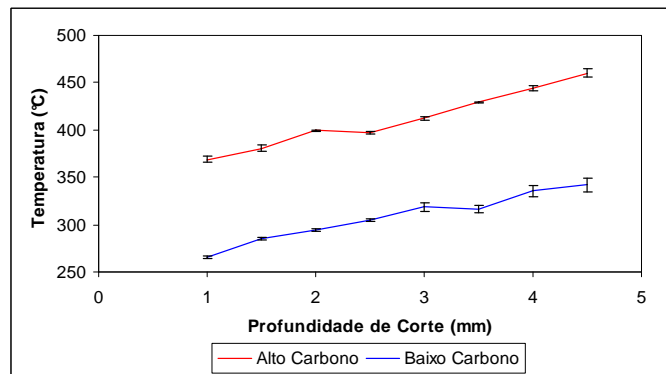


Figura 11. Temperatura X Profundidade ($V_c=56\text{m/min}$; $f=0,138\text{mm/rot}$)

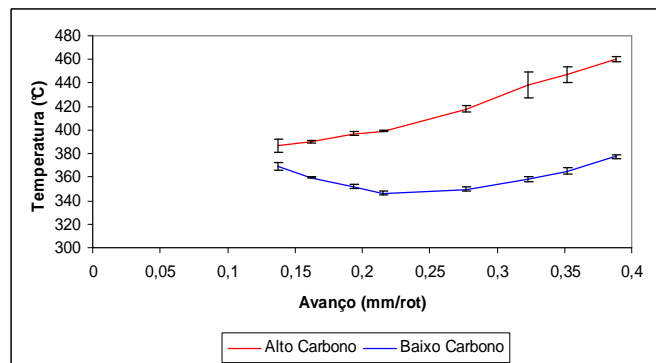


Figura 12. Temperatura X Avanço ($V_c=56\text{m/min}$; $A_p=2\text{mm}$)

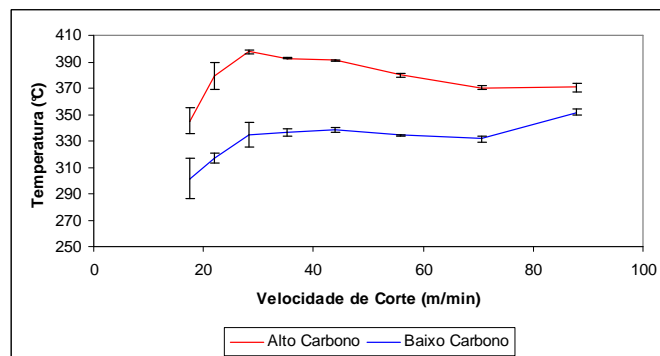


Figura 13. Temperatura X Velocidade ($f=0,138\text{mm/rot}$; $A_p=2\text{mm}$)

4. CONCLUSÕES

A execução deste trabalho apresentou resultados satisfatórios que correspondem e complementam a literatura. É interessante observar que ao se usinar aços de mesma classificação, pode-se encontrar variações nas escalas de usinabilidade, variações estas presentes possivelmente devido ao processo de fabricação do aço, cabe às aciarias controlar a composição do aço, porém, trata-se de um processo muito complexo.

A influência que os elementos residuais (Cu, Ni e Cr) exercem na usinabilidade do aço, foi investigada e teorizada por Souza Marcelo (2006) e Evangelista Luiz (2007). A faixa de teores de carbono dos aços ABNT 12L14 utilizados no projeto está entre 0,07% e 0,14%, mesmo se tratando de um aço de baixos teores de carbono, os resultados obtidos deixaram bem claro que esta diferença entre os limites da faixa (0,07%), também influencia em sua usinabilidade.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem as seguintes empresas e instituições pela contribuição:

- ✓ **AÇOS VILLARES**
- ✓ **SANDVIK Coromant**
- ✓ **CNPq**
- ✓ **IFM**

6. REFERÊNCIAS

- Apple, C. A. The Relationship between Inclusions and the Machinability of Steel. Mechanical Working and Steel Processing Proceedings, pp 415-429, 1989.
- Bas, J., A Usinabilidade dos Aços Especiais, Relatório Interno Gerdau S.A, Charquea, Rs, 1995.
- Chiaverini, V. Aços e ferros fundidos: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos. 7.ed. ampl. e rev. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2002. 599 p.
- DeArdo, A.J., Garcia, C.I, A Better way to assess Machinability, American Machinist, may 1993.
- Evangelista, N.L. “Influência de elementos residuais na usinabilidade do aço de corte-fácil de baixo carbono”, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil 2007.
- Ferraresi, D. Fundamentos da usinagem dos metais. São Paulo: Blucher, 1977. 751 p.(Volume 1)
- ISO (International Standard Organization) “Geometrical product specification (GPS). Surface texture. Profile method. Terms, definitions and surface texture parameters”, ISO 4287, 2000.
- Longbottom, J. M.; Lanham, J. D. Cutting temperature measurement while machining – a review. Aircraft Engineering an Aerospace Technology: An International Journal. 77/2 (2005) 122-130.
- Machado, A., R., Silva, M., B., Usinagem dos Metais, EDUFU, 8º versão, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Abril de 2004.
- Mill, B. and Redford, A.H, Machinability of Engineering Materials, Apliede Science Publishers, London and New York Pp 98-107, 1989.
- Naves, V. T. G.; Evangelista Luiz, N.; Machado, A. R.; Dantas, N. O. “Calibração de um sistema Termopar Ferramenta-Peça para medição de temperatura de usinagem”. 16º POSMEC – Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Uberlândia. Faculdade de Engenharia Mecânica. Uberlândia, 2006.
- Souza, M.N. “Influência de elementos residuais na usinabilidade do aço de corte-fácil de baixo carbono – Teste Volvo 1989”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil 2006.
- The Volvo Laboratory for Mfg Research, Trollhattan, Sweden, The Volvo Standard Machinability Test, Std. 1018.712, 1989.

INFLUENCE OF THE CARBON LEVEL IN THE MACHINABILITY OF THE FREE-MACHINING STEEL ABNT 12L14

André Bueno Sampaio, andrebuenosampaio@yahoo.com.br¹

Rosemar Batista da Silva, rosemarbsilva@yahoo.com.br¹

Álison Rocha Machado, alisonm@mecanica.ufu.br¹

Marcelo Nascimento de Souza, mnascimento28@yahoo.com.br¹

Nelis Evangelista Luiz, nelis.luiz@sinimplante.com.br²

¹ Mechanical Engineering Faculty, Federal University of Uberlândia, João Naves de Ávila Avenue, 2.121, 1 "O" Block, Uberlândia, MG, Zip Code 38.408-100, Brazil.

²SIN – Sistema de Implante – São Paulo – SP

Abstract: *Free-machining low carbon steels are those specifically designed to achieve better results in terms of machinability. This work aims primarily to analyze the influence of the tramp elements levels such as Cr, Ni and Cu (elements that are not added intentionally in simple metallurgic processes) in the machinability of the free-machining steel of low carbon ABNT 12L14. Nine different batches of this material, with different content of tramp elements, were produced, in accordance with standard specification, which became possible to establish comparison of results. An additional batch of material having carbon content in high level (by about 0.14 % C) was produced, and this allowed to take into account influence of this important chemical element in machinability of this grade of free machining steel. Tool life (VOLVO standard), cutting temperature, surface finish (Ra), and cutting forces were recorded and used to determine the influence of carbon content in machinability of this material. It has been already published in literature that small quantity variation of tramp has great influence on these parameters. Tool life was based on maximum flank wear (VBmax) measurements during end milling operation with HSS tools and using all the cutting parameters in agreement with (VOLVO standard). The method of thermocouple tool-workpiece was used for monitoring the cutting temperature during machining. Cutting force component generated during the machining trials was recorded with the aid of a piezoelectric tool post dynamometer (Kistler). The results show that presence of both tramp and carbon elements can affect the machinability of this material under the conditions investigated.*

Keywords: *Tramp Elements, Carbon content, Free-machining, Machinability.*