

# ANÁLISE QUALITATIVA PARA O ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA VIBRAÇÃO NO DESGASTE DA FERRAMENTA DE CORTE EM UM PROCESSO DE FRESAMENTO FRONTAL

**André Luis Beloni dos Santos**  
**Carlos Roberto Ribeiro**  
**Marcus Antonio Viana Duarte**  
**Marcos Morais de Sousa**

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, 38400-089,  
Campus Sta Mônica, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil. E-mail: [albeloni@mecanica.ufu.br](mailto:albeloni@mecanica.ufu.br)

## Resumo

De um modo geral, os níveis de vibração mecânica gerados durante um processo de usinagem influenciam de maneira significativa os mecanismos de desgaste das ferramentas de corte. Esta contribuição ao desgaste das ferramentas torna-se ainda mais acentuada em usinagens com características de corte descontínuos, como no caso do fresamento. Este trabalho tem por objetivo estabelecer experimentalmente, através de uma análise qualitativa, a influência da vibração mecânica no desgaste das ferramentas de corte em um processo de fresamento frontal. Para a realização desta análise qualitativa, foram traçadas curvas do desgaste  $VB_{B_{max}}$  em função dos níveis de vibração obtidos por acelerômetros instalados em dois locais previamente selecionados: no mancal inferior do eixo porta fresas e na parte anterior da mesa de trabalho. Os resultados adquiridos permitiram assim, estabelecer uma tendência de comportamento entre a vibração mecânica e o desgaste das ferramentas de corte.

**Palavras-chave:** Desgaste das ferramentas de corte, Fresamento, Vibração mecânica.

## 1. INTRODUÇÃO

Particularmente, o fresamento se apresenta como um dos mais complexos processos de usinagem, devido ao grande número de variáveis que influenciam o corte e as características inerentes ao processo (corte interrompido).

Os choques mecânicos e térmicos são os principais fatores desencadeadores de avarias que levam à rejeição das ferramentas de corte (Pekelharing, 1978; Andrev, 1974; Shinozaki & Horda, 1970). Tais falhas geralmente se processam por lascamento, trincamento ou quebra das superfícies de folga e saída, e ocorrerão com maior intensidade e rapidez quanto menor a tenacidade das ferramentas de corte (Bathia et al, 1986; Zorev, 1963). Alguns fatores a serem considerados são: o tipo de material de trabalho, o avanço utilizado, a velocidade de corte, a geometria da ferramenta e a presença de vibrações, sendo que sob condições adequadas de trabalho, há quase sempre a tendência da ferramenta falhar por desgaste excessivo das arestas cortantes.

O comportamento dinâmico do conjunto ferramenta-peça-máquina durante o corte e o acabamento superficial produzido, dependem de muitos fatores que devem ser considerados, uma vez que a variação das forças de corte com o tempo podem resultar em níveis de vibração

não aceitáveis. A própria condição da máquina ferramenta e a sua rigidez podem acelerar o desgaste da ferramenta e conseqüentemente a qualidade da superfície usinada. Uma pequena folga no mecanismo de avanço, ou mesmo uma fundação mal projetada, podem originar níveis de vibração que comprometam a vida da ferramenta (Metals Handbook, 1989).

O desgaste das ferramentas de corte no decorrer da usinagem provoca um aumento da força necessária para cisalhar o material, fazendo assim aumentar a vibração no conjunto peça-ferramenta-máquina. Como a vibração não depende somente do desgaste, mas também da geometria da ferramenta, das condições de usinagem, do material da peça, do método de fresamento, além dos fatores já citados anteriormente, torna-se muito importante que se conheça a influência de cada um deles, afim de que seus efeitos possam ser minimizados.

O comportamento de alguns desses fatores em relação ao nível de vibração, são:

- O comprimento em balanço da fresa deve ser mantido o menor possível, de modo a aumentar a rigidez do sistema;
- De uma maneira geral, avanços mais elevados proporcionam menores níveis de vibração do que avanços mais baixos;
- A peça deve ser adequadamente fixada em toda a sua dimensão, evitando o corte em áreas que não sejam apoiadas em relação às forças de corte desenvolvidas;
- Um número excessivo de dentes em contato simultaneamente na peça pode causar uma pressão excessiva no corte, aumentando os esforços de corte;
- Quando possível, o uso de uma geometria positiva deve ser preferencial, o que faz reduzir as forças de corte;
- O fresamento discordante favorece o desgaste das ferramentas devido ao escorregamento relativo peça-fresa quando da entrada da ferramenta no corte, fazendo aumentar as forças no sistema. Também faz aumentar a necessidade de fixação, uma vez que as forças de corte geradas tendem a levantar a peça da mesa;
- A vibração do sistema tende a aumentar com o aumento da profundidade de corte;
- Com o aumento da dureza e do limite de resistência do material de trabalho, os níveis de vibração tendem a aumentar.

## **2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**

Para a execução dos ensaios experimentais, foi utilizada uma máquina fresadora CNC, marca Romi, modelo Interact 4, com potência máxima de 15 CV, capacidade máxima de rotação do eixo árvore de 4000 rpm e avanço rápido até 4800 mm/min, disponível no Laboratório de Pesquisa em Usinagem da UFU.

Para a medição e leitura dos valores de desgaste nas ferramentas de corte, utilizou-se um microscópio ferramenteiro dotado de micrômetros digitais.

Todos os ensaios experimentais foram realizados com pastilhas de metal duro, triplamente revestidas (TiN, TiC, TiN), marca Sandvik, de geometria ISO R245-12 T3 M-PM e classe P25.

Como porta ferramentas foi utilizada uma fresa frontal, código R260.22-080-15, diâmetro igual a 80 mm e capacidade para seis insertos, marca SANDVIK.

Todos os ensaios foram realizados segundo o método de fresamento frontal e sem a presença de fluido de corte.

O procedimento experimental adotado consistiu em levar até ao final de vida, ferramentas em quatro diferentes condições de corte ( $v_c$ ,  $f_z$  e  $a_p$ ), geradas a partir de um programa de otimização denominado INIT (Santos, 1996).

Para a inicialização do programa INIT, de maneira a gerar as condições de corte otimizadas para a realização dos testes de vida, fez-se necessário definir os intervalos de

variação máxima e mínima entre os quais os valores dos parâmetros de entrada “ $v_c$ ”, “ $f_z$ ” e “ $a_p$ ” deveriam variar (AB Sandvik Coromant, 1994). Os limites definidos para os parâmetros de corte foram:

- velocidade de corte “ $v_c$ ”: entre 150 e 350 [m/min]
- avanço “ $f_z$ ”: entre 0,10 e 0,25 [mm/dente]
- profundidade de corte “ $a_p$ ”: entre 1,5 e 2,5 [mm].

As condições de corte otimizadas, obtidas a partir do programa INIT, estão mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 – Condições de corte geradas pelo programa INIT.

Condições de corte geradas por INIT	$v_c$ ( m/min. )	$f_z$ ( mm/dente )	$a_p$ ( mm )
1	156,99	0,2311	1,523
2	329,45	0,1110	2,206
3	325,18	0,1304	1,784
4	215,00	0,1464	1,974

Para o prosseguimento do procedimento e antes da realização dos ensaios experimentais, tomou-se alguns cuidados de modo a garantir a maior confiabilidade possível nos resultados obtidos, tais como:

- verificação e inspeção dos insertos em microscópio ferramenteiro, evitando-se assim a utilização de pastilhas defeituosas ou trincadas.
- verificação com relógio comparador das variações dimensionais entre as seis pastilhas assentadas na fresa, não sendo permitida variação superior a 0,03 mm.

As medições de desgaste das ferramentas foram efetuadas ao final de um percurso de corte correspondente a um passe da ferramenta (550 mm), ou então entre intervalos de passes maiores, quando as condições de corte eram pouco severas e as variações de desgaste eram muito pequenas entre dois passes consecutivos.

Os desgastes foram monitorados em todas as seis pastilhas de corte, até que o critério de fim de vida adotado fosse alcançado em pelo menos uma delas. Neste momento o teste era encerrado e as seis arestas de corte substituídas por novas para a realização de novos ensaios em uma outra condição de corte.

O critério de fim de vida adotado foi o desgaste de flanco máximo  $VB_{B_{max}} = 0,7$  mm, uma vez que esta forma de desgaste foi a predominante em todos os testes realizados.

Face as dimensões da fresa (diâmetro de 80 mm), utilizada nesta etapa dos ensaios, e da bitola do material fornecido pelo fabricante (aço com 101,60 mm de sessão quadrada, ABNT 1045), decidiu-se efetuar os passes de corte sempre na forma de ida e volta, de modo que cada passe cortasse 50,80 mm. Isto se justifica de modo a garantir o mesmo ângulo de saída e geometria de corte nos diversos passes realizados, mantendo constantes as condições para o desgaste das ferramentas de corte.

Os níveis de vibração, medidos durante o corte e em cada passe da ferramenta, em 3 diferentes posições ao longo do comprimento fresado de 550 mm, foram obtidos pelos sensores (acelerômetros) instalados no mancal inferior do eixo porta fresas e na parte anterior da mesa de trabalho. Estes locais foram determinados através de uma análise de sensibilidade do comportamento dinâmico do conjunto máquina/ferramenta/peça utilizando funções resposta em frequência (Sousa, 1998).

As 4 condições de corte da Tabela 1 ensaiadas, que proporcionaram a obtenção dos valores de desgaste de flanco máximo da ferramenta  $VB_{Bmax}$  e vibração RMS do conjunto ferramenta/máquina/peça, deram origem a um arquivo de dados com 270 ensaios. Desse total, 138 foram decorrentes dos ensaios realizados a partir da condição de corte 1, 39 foram obtidos a partir da condição de corte 2, outros 39 obtidos a partir da condição de corte 3 e 54 testes decorrentes da condição de corte 4.

A partir dos resultados, foram traçadas curvas de desgaste  $VB_{Bmax}$  em função dos níveis de vibração medidos, buscando estabelecer uma tendência de comportamento da influência da vibração com relação ao desgaste das ferramentas  $VB_{Bmax}$ .

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Figuras de nº 1 até 4, mostram as curvas de desgaste de flanco máximo da ferramenta  $VB_{Bmax}$  em função do parâmetro: “Vibração mecânica”, medida na parte anterior da mesa de trabalho da fresadora. As curvas foram obtidas a partir dos ensaios de vida realizados para as condições de corte 1, 2, 3 e 4 da Tabela 1, respectivamente.

Analisando-se as referidas Figuras, observa-se, de uma maneira geral, uma tendência de crescimento dos níveis de vibração com o aumento do desgaste das ferramentas. Este comportamento pode ser atribuído ao crescimento das forças de corte proporcionado pelo aumento do desgaste das ferramentas. O gráfico da Figura 1, foi o que apresentou os maiores níveis de vibração em relação ao desgaste da ferramenta. Isto pode ser atribuído às características desta condição de corte (menor velocidade de corte e maior avanço), o qual favorecem a elevação dos níveis de vibração e desgaste.

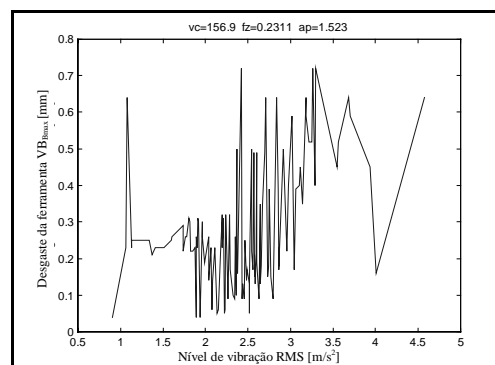


Figura 1 - Variação do desgaste de flanco máximo da ferramenta  $VB_{Bmax}$  em relação a “Vibração”, obtida a partir do ensaio de vida para a condição de corte 1.

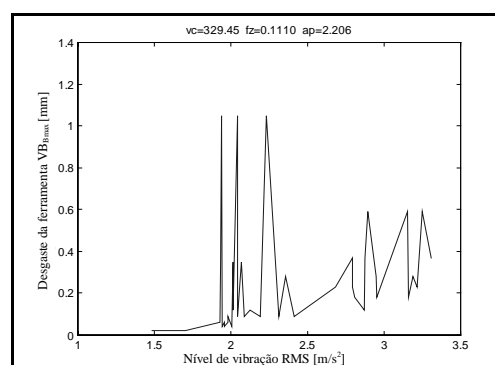


Figura 2 - Variação do desgaste de flanco máximo da ferramenta  $VB_{Bmax}$  em relação a “Vibração”, obtida a partir do ensaio de vida para a condição de corte 2.

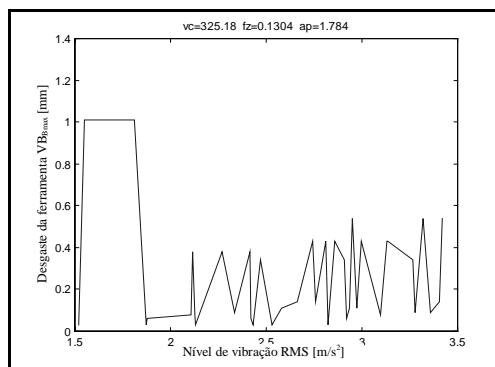


Figura 3 - Variação do desgaste de flanco máximo da ferramenta  $VB_{Bmax}$  em relação a “Vibração”, obtida a partir do ensaio de vida para a condição de corte 3.

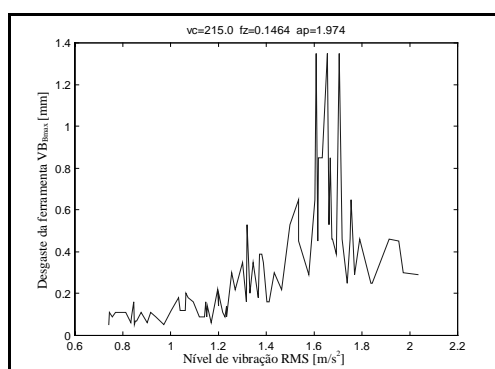


Figura 4 - Variação do desgaste de flanco máximo da ferramenta  $VB_{Bmax}$  em relação a “Vibração”, obtida a partir do ensaio de vida para a condição de corte 4.

As Figuras de nº 5 até 8, mostram as curvas de desgaste de flanco máximo da ferramenta  $VB_{Bmax}$  em função do parâmetro: “Vibração mecânica”, medida no mancal inferior do eixo porta fresas. As curvas foram obtidas a partir dos ensaios de vida realizados para as condições de corte 1, 2, 3 e 4 da Tabela 1, respectivamente.

A análise das referidas Figuras mostra a existência de uma boa correlação entre o desgaste da ferramenta  $VB_{Bmax}$  e os níveis de vibração no mancal inferior do eixo porta fresa. Verifica-se, de um modo geral, para as quatro condições ensaiadas, uma tendência de aumento dos níveis de vibração com o desgaste das ferramentas.

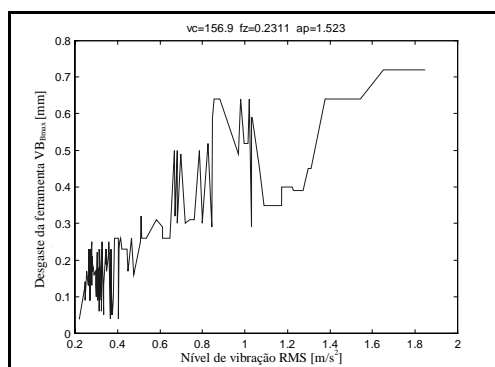


Figura 5 - Variação do desgaste de flanco máximo da ferramenta  $VB_{Bmax}$  em relação a “Vibração”, obtida a partir do ensaio de vida para a condição de corte 1.

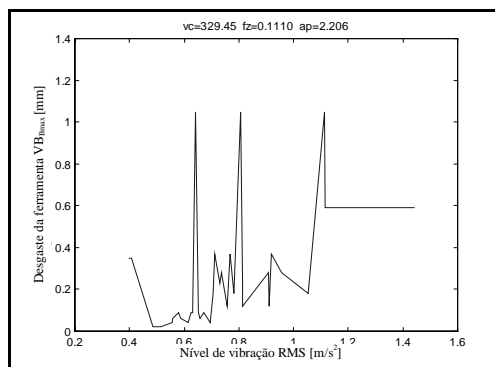


Figura 6 - Variação do desgaste de flanco máximo da ferramenta  $VB_{Bmax}$  em relação a “Vibração”, obtida a partir do ensaio de vida para a condição de corte 2.

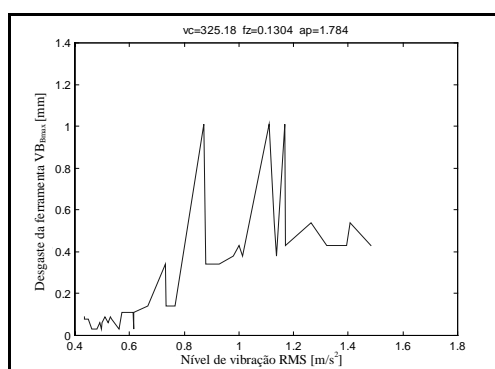


Figura 7 - Variação do desgaste de flanco máximo da ferramenta  $VB_{Bmax}$  em relação a “Vibração”, obtida a partir do ensaio de vida para a condição de corte 3.

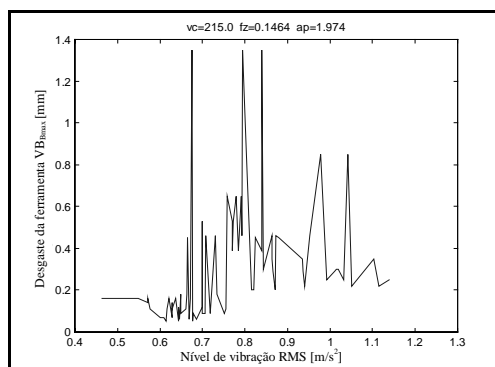


Figura 8 - Variação do desgaste de flanco máximo da ferramenta  $VB_{Bmax}$  em relação a “Vibração”, obtida a partir do ensaio de vida para a condição de corte 4.

#### 4. CONCLUSÕES

- A mesa de trabalho da fresadora mostrou-se ser um local de maior sensibilidade à detecção dos sinais de vibração do que o mancal inferior do eixo porta fresas, indicando ser este um local preferencial para a instalação de sensores em técnicas de monitoramento.

- Os resultados mostraram uma boa correlação entre desgaste das ferramentas e os níveis de vibração medidos, indicando ser possível estabelecer um procedimento de monitoramento

on-line da vibração, para a estimativa do desgaste das ferramentas de corte em um processo produtivo em fresamento.

## **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- AB Sandvik Coromant, 1994, Modern metal cutting: a practical handbook.
- Andrev, G.S., 1974, "Thermal State of Tool Cutting Edge in Intermittent Cutting", Russ. Engg. J., 54, pp 56-59.
- Bathia, S.M., Pandey, P.C. and Shaw, H.S., 1986, "The Thermal Condition of the Tool Cutting Edge in Intermittent Cutting", Wear, vol.61, pp 21-30.
- Metals Handbook, 1989, Machining, Ed. 9, ASME International.
- Pekelharing, A.J., 1978, "The Exit Failure in Interrupted Cutting", Annals CIRP, 27, pp 5-10.
- Santos, A.L.B., 1996, "Otimização de Ensaios Utilizados na Determinação dos Coeficientes da Equação Expandida de Taylor", Dissertação de Mestrado, UFU, Uberlândia, MG.
- Shinozaki, N. and Horda, M., 1970, "Thermal Stress Resistance of some Carbide and Oxide Tool Materials", Scientific papers of the Institute of Physics and Chemistry, Annals CIRP, 18, pp 555-562.
- Sousa, M.M., 1998, "Utilizando Vibração Mecânica para Monitorar o Desgaste das Ferramentas de Corte e o acabamento Superficial no Processo de Fresamento", Tese de Doutorado, UFU, Uberlândia, MG.
- Zorev, N.N., 1963, "Machining Steel with a Carbide Tipped Tool in Intermittent Heavy Cutting Conditions", Russ. Engg. J., 43(2), pp 43-47.