



ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DAS AMPLITUDES DOS SINAIS DE VIBRAÇÃO EM BANDAS DE FREQUÊNCIA DE 1/3 DE OITAVA NO DESGASTE DA FERRAMENTA ‘ VB_{Bmax} ’ – PARTE 1

André Luis Beloni dos Santos

Universidade Federal de Uberlândia, FAMAT, Campus Sta Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-089, e-mail: abeloni@mecanica.ufu.br

Marcos Morais de Sousa

Universidade Federal de Uberlândia, FEMEC, Campus Sta Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-089, e-mail: mmsousa@mecanica.ufu.br

Marcus Antonio Viana Duarte

Universidade Federal de Uberlândia, FEMEC, Campus Sta Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-089, e-mail: mvduarte@mecanica.ufu.br

***Resumo.** Em todo processo de usinagem sempre ocorre o desgaste natural das ferramentas de corte. Este desgaste natural pode ser mais ou menos acentuado em função dos materiais que estão sendo usinados ou das condições de corte que são impostas durante o processo de usinagem. Dentre os vários métodos de monitoramento do desgaste das ferramentas de corte, a correlação da vibração mecânica com o parâmetro desgaste de flanco “ VB_{Bmax} ” das ferramentas, tem sido amplamente explorada por apresentar uma certa facilidade desta correlação quando são utilizados ferramentas matemáticas básicas de análise de sinais. Neste trabalho é apresentado uma análise dos sinais de vibração em bandas de 1/3 de oitava de frequência na qual mostra a tendência de comportamento das amplitudes dos sinais de vibração em função do desgaste de flanco “ VB_{Bmax} ” verificado nos incertos de metal duro revestido que foram utilizados em ensaios de fresamento frontal.*

***Palavras-chave:** nível de vibração, desgaste de ferramentas de corte, fresamento.*

1. INTRODUÇÃO

Em uma operação de usinagem por fresamento, o comportamento dinâmico do conjunto ferramenta-peça-máquina durante o corte e sua influência sobre o desgaste das arestas cortantes, dependem de muitos fatores que devem ser considerados.

A escolha de um conjunto de variáveis de corte inadequadas, por exemplo, pode levar a um aumento das forças de corte com o tempo que resulte em níveis de vibração não aceitáveis.

A própria condição da máquina ferramenta e a sua rigidez, uma pequena folga no mecanismo de avanço, ou mesmo uma fundação mal projetada, podem originar níveis de vibração que comprometam a vida da ferramenta.

O desgaste das ferramentas no decorrer da usinagem provoca um aumento da força necessária para cisalhar o material, fazendo 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 de muitos outros, torna-se muito importante que se conheça a influência de cada um deles, a fim de que seus efeitos

possam ser minimizados. Caldeirani (1998), fez um estudo a respeito da influência do posicionamento fresa-peça (distância de ajustagem “j” da Figura 1), na vida das ferramentas de corte para diversas condições de usinagem e uma dada largura de corte “ a_e ”, utilizando uma fresa de 125 mm de diâmetro. Foram realizados diversos ensaios experimentais, variando a distância de ajustagem “j” (4,75 a 32,75 mm) e os parâmetros de corte “ f_z ” e “ v_c ”, sendo feitas medições de desgaste das ferramentas para percursos de corte pré-estabelecidos. O critério de desgaste definido foi o desgaste de flanco “ VB_{Bmax} ”, sendo o seu valor de fim de vida fixado em 0,7 mm.

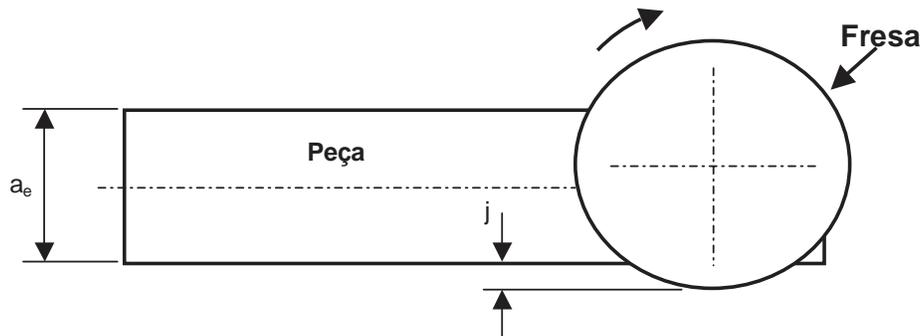


Figura 1 – Representação da distância de ajustagem “j”.

Os resultados mostraram que o aumento da distância de ajustagem “j” acarretou um aumento dos níveis de vibração e dos valores de desgaste ao longo de toda a vida das ferramentas. Os menores valores de desgaste foram verificados na usinagem com o menor valor de “j”, contrariando a literatura disponível, que recomenda o corte simétrico como aquele que deveria proporcionar os menores valores de desgaste nas ferramentas, em função de propiciar o menor ângulo de contato fresa-peça e conseqüentemente menor tempo de contato. O autor sugere que tal comportamento seria decorrente dos choques menos intensos quando da entrada da ferramenta na peça, em razão de menores valores de “j” proporcionarem um início de corte com menores espessuras de cavaco, o que evidenciaria que a intensidade dos choques na entrada do corte é, por vezes, o fator decisivo para a vida da ferramenta.

As configurações angulares entre a ferramenta e o material de trabalho também podem influir de maneira considerável no nível de vibração gerado durante o corte. O ângulo de saída efetivo γ_o , por afetar diretamente o ângulo de cisalhamento durante o processo de formação do cavaco, tem grande influência sobre a força de corte, a potência requerida e a temperatura desenvolvida na zona de corte. Quanto mais positivo, menores as forças atuantes na ferramenta e a potência requerida para o corte, embora o ângulo de saída efetivo seja limitado em magnitude pela resistência da ferramenta para uma dada operação de corte (Sandvik Coromant, 1994).

No fresamento com ferramentas do tipo frontal, o ângulo de posição (χ_r) influencia principalmente na espessura do cavaco formado, na formação de rebarbas, na direção das forças de corte e também proporcionando uma entrada da ferramenta no corte mais adequada, com menos choques e menores níveis de vibração. Também afetam diretamente a potência consumida no corte. Tomando-se como referência um ângulo de posição de 90^0 , um corte utilizando uma ferramenta com ângulo de posição de 45^0 , implicaria em um acréscimo de 10% na potência consumida. Uma ferramenta com χ_r igual a 60^0 , um acréscimo de 4%, e uma outra com χ_r de 75^0 , exigiria um acréscimo de 1,5% na potência requerida (Sandvik Coromant, 1994).

Entretanto, ângulos da ordem de 45^0 e 60^0 proporcionam à ferramenta um melhor balanceamento das forças axial e radial durante o corte, sendo adequados para operações sensíveis à ocorrência de vibrações, como aquelas com grande comprimento em balanço da fresa. Possibilitam também um melhor fluxo de cavacos, principalmente na usinagem de materiais que favorecem a obtenção de cavacos longos, permitindo portanto a utilização de avanços por dente mais elevados.

Em certas operações de fresamento existem casos que, mesmo em condições favoráveis de usinagem poderão aparecer vibrações devido a coincidência das frequências de operação com ressonâncias da máquina. Para se evitar este tipo de ocorrência (fenômeno) é possível proceder um ajuste das condições de corte ou remover as pastilhas dos alojamentos pares ou ímpares da fresa. Entretanto, torna-se mais apropriado substituir a ferramenta por outra que possua as pastilhas distribuídas de maneira não uniforme ao longo da circunferência de corte, ou seja, utilizar uma fresa de passo diferencial.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para a realização da análise da tendência de comportamento das amplitudes dos sinais de vibração em função do desgaste das ferramentas $VB_{B_{max}}$, foram ensaiadas, até o fim de vida, quatro condições de corte geradas a partir de um programa de otimização denominado INIT (dos Santos 1996).

Todos os ensaios experimentais foram realizados com uma única fresa do tipo frontal de 80 mm de diâmetro e capacidade para 6 insertos. As ferramentas utilizadas foram de metal duro, triplamente revestidas (TiN, TiC, TiN), da classe P 25. Como material de trabalho foram usadas barras de sessão quadrada de aço ABNT 1045 e bitola de 101,26 mm, que foram cortadas em tarugos de 550 mm e fixadas em um dispositivo para utilização na máquina fresadora.

Para a execução dos ensaios de fresamento, utilizou-se uma fresadora CNC Romi, com potência de 16 kW e variação contínua de velocidade e avanço, com capacidade máxima de rotação do eixo árvore de 4000 RPM, disponível no Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem da UFU (LEPU). Os valores de desgaste das ferramentas de corte ao longo dos testes de fim de vida foram obtidos em um microscópio ferramenteiro desenvolvido também no LEPU.

As medições de desgaste das ferramentas foram efetuadas ao final de um percurso de avanço 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 medidos 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 um novo teste com uma nova condição de corte. Como critério de fim de vida das ferramentas de corte, adotou-se 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.

Como não havia nenhum conhecimento a respeito do comportamento dinâmico da fresadora, de modo a se determinar os locais mais apropriados para a colocação dos acelerômetros para a medição dos níveis de vibração, foi realizado, inicialmente, um procedimento baseado no estudo das Funções Resposta em Frequência (FRFs), estimadas para 80 possíveis pontos para instalação dos sensores (Sousa, 1998). A partir daí, com base em uma análise de sensibilidade utilizando as FRF's, definiu-se o mancal inferior do eixo porta fresa e parte anterior da mesa de trabalho, como os mais adequados para a instalação dos acelerômetros (Sousa et alli, 1998). Após uma análise dos sinais adquiridos pelos acelerômetros nos dois pontos de monitoramento, verificou-se que ambos apresentavam comportamento vibracional muito semelhantes. Dessa maneira, por ser um ponto tradicional de medição de valores para controle em manutenção e também menos sensível à influência de fatores externos como o peso da peça, optou-se por utilizar os sinais de vibração monitorados pelo acelerômetro instalado no mancal inferior do eixo porta fresas (Stewart, 1977; Braun e Lenz, 1986).

Para cada passe realizado, em cada uma das quatro condições de corte ensaiadas até o fim de vida, os valores correspondentes medidos de desgaste de flanco máximo da ferramenta $VB_{B_{max}}$ e vibração RMS do conjunto ferramenta/máquina/peça foram anotados, resultando em um arquivo de dados com 96 ensaios.

O monitoramento dos sinais de vibração durante o corte foi realizado sempre na região central do comprimento fresado de 550 mm, de maneira a se evitar a interferência decorrente da entrada e saída da fresa no material de trabalho.

Com o objetivo de melhor caracterizar os sinais de vibração e visando uma maior condensação dos dados, os espectros de vibração foram obtidos nas bandas de frequência de 1/3 de oitava centradas em: 16,5; 20; 25; 31,6; 40; 50; 61,3; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 316; 400; 500; 600; 800; 1000; 1250; 1600; 2000 Hz. Uma outra justificativa importante para a utilização de bandas proporcionais se deve ao fato de valores de vibração em frequências específicas não terem nenhum significado, uma vez que são dependentes da rotação da fresa. Além disso, os valores globais são dependentes da posição da mesa e do comprimento em balanço do eixo porta fresa (Sousa, 1988).

3. RESULTADOS

A Tabela 1 mostra as condições de corte geradas pelo programa de otimização que foram utilizadas nos ensaios experimentais.

Tabela 1. Condições de corte geradas.

Condições de corte geradas por INIT	v_c (m/min.)	f_z (mm/rev.)	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

As Figuras 2 e 3 mostram o comportamento da amplitude dos sinais de vibração, nas diferentes bandas de frequência de 1/3 de oitava, em função dos valores de desgaste de flanco da ferramenta, medidos durante os ensaios de fim de vida realizados. Por terem os resultados mais significativos e representativos, são apresentados os gráficos de vibração X desgaste correspondentes às condições de corte 1 e 2 da Tabela 1.

Os valores de desgaste de flanco, colocados em ordem crescente de resposta, foram plotados em relação a cada uma das 20 bandas de frequência de 1/3 de oitava no qual o sinal de vibração foi discretizado. Os espectros de vibração foram obtidos nas bandas de frequência de 1/3 de oitava centradas em: 16,5; 25; 31,6; 40; 50; 61,3; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 316; 400; 600; 800; 1000; 1250; 1600; 2000 Hz.

Como forma de melhor caracterizar a tendência de comportamento entre os parâmetros “Vibração” e “ $VB_{B_{max}}$ ”, também foram traçadas curvas mostrando a variação dos níveis de vibração, para determinadas bandas de frequência, em relação ao desgaste das ferramentas de corte.

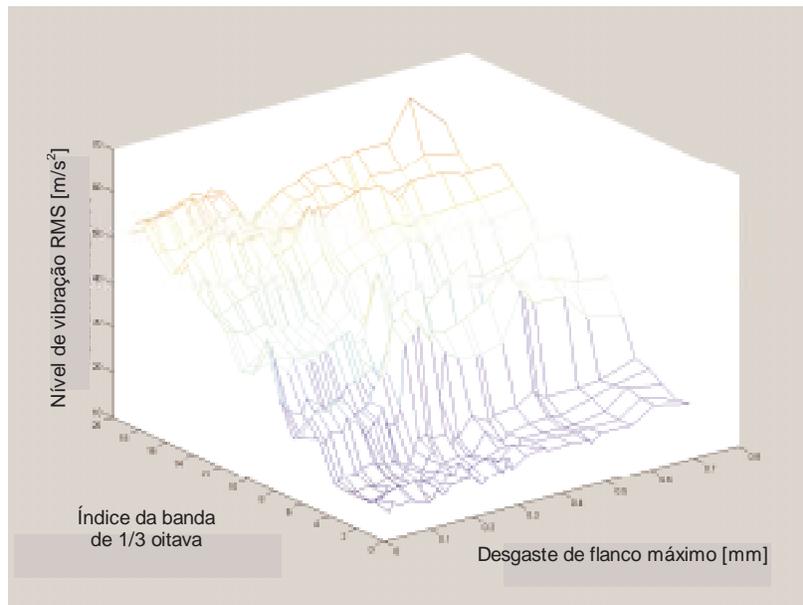


Figura 2. Curvas das amplitudes de vibração nas bandas de freqüência de 1/3 de oitava X $VB_{B_{max}}$, para os dados relativos à condição de corte 1 da Tabela 1.

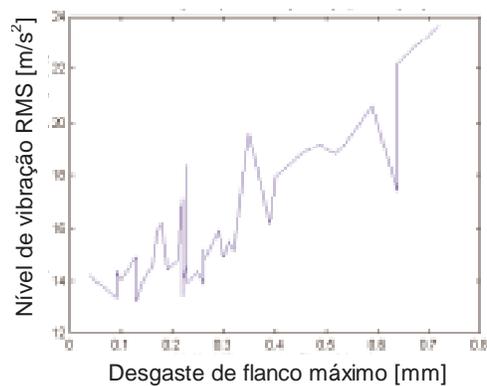


Figura 2.1. Curva da amplitude dos sinais de vibração (para a banda de 40 Hz) X $VB_{B_{max}}$, obtida a partir dos ensaios de fim de vida para a condição de corte 1 da Tabela 1.

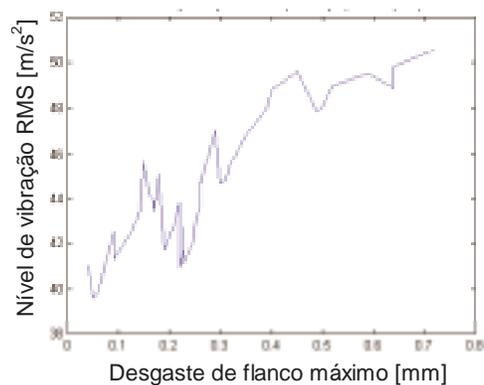


Figura 2.2. Curva da amplitude dos sinais de vibração (para a banda de 400 Hz) X $VB_{B_{max}}$, obtida a partir dos ensaios de fim de vida para a condição de corte 1 da Tabela 1.

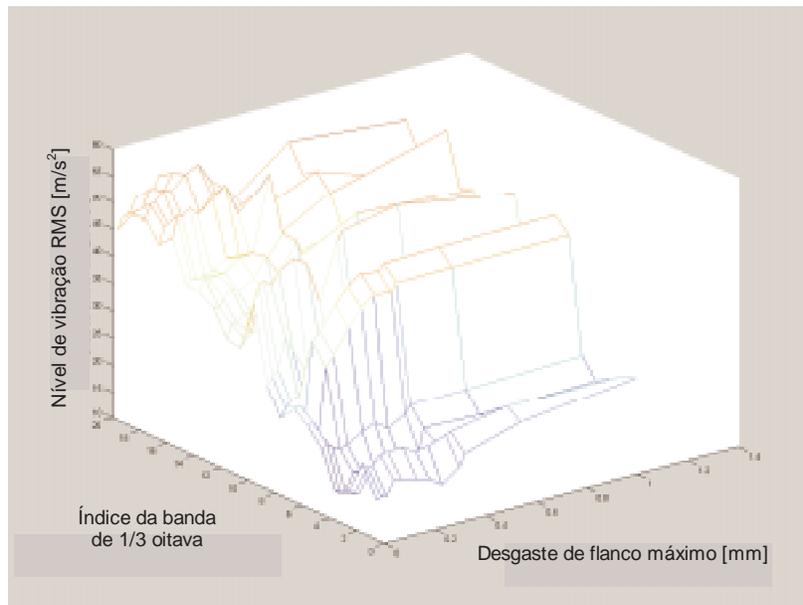


Figura 3. Curvas das amplitudes de vibração nas bandas de freqüência de 1/3 de oitava X VB_{Bmax} , para os dados relativos à condição de corte 2 da Tabela 1.

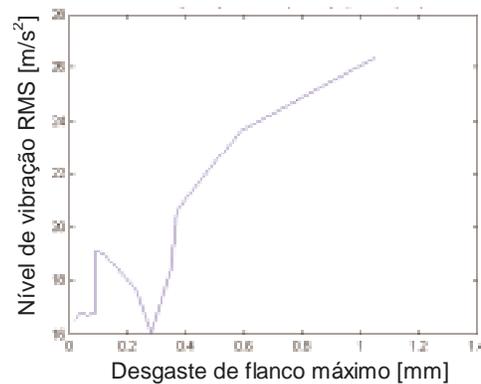


Figura 3.1. Curva da amplitude dos sinais de vibração (para a banda de 16,5 Hz) X VB_{Bmax} , obtida a partir dos ensaios de fim de vida para a condição de corte 2 da Tabela 1.

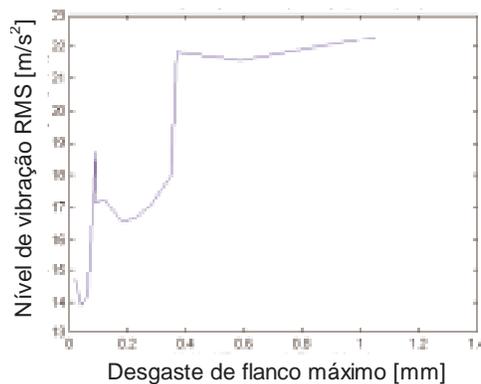


Figura 3.2. Curva da amplitude dos sinais de vibração (para a banda de 40 Hz) X VB_{Bmax} , obtida a partir dos ensaios de fim de vida para a condição de corte 2 da Tabela 1.

4. CONCLUSÕES

As amplitudes dos sinais de vibração obtidas durante a fase de ensaios, mostraram uma tendência de crescimento com o aumento do desgaste de flanco das ferramentas, nas quatro condições de corte estudadas e nas diversas bandas de frequência analisadas. Os resultados encontrados mostram que os sinais de vibração, quando discretizados em bandas de frequência de 1/3 de oitava, permitem uma visualização mais precisa das faixas de frequência onde o desgaste da ferramenta torna-se mais acentuado.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Caldeirani, J.F., 1998, “Estudo do Monitoramento do Processo de Fresamento Frontal com Fresas de Insertos Intercambiáveis”, Tese de Doutorado, UNICAMP, Campinas, SP.
- Sandvik Coromant, 1991, “Herramientas Rotativas y Plaquitas”, Dinamarca, pp. 528.
- dos Santos, A.L.B., 1996, “Otimização de Ensaios Utilizados na Determinação dos Coeficientes da Equação de Taylor Expandida”, Dissertação de Mestrado, UFU, Uberlândia, MG.
- Sousa, M.M., 1998, “Utilizando a Vibração Mecânica para Monitorar o Desgaste das Ferramentas de Corte e o Acabamento Superficial no Processo de Fresamento”, Tese de Doutorado, UFU, Uberlândia, MG.
- Sousa, M.M., Duarte M.A.V. e Machado, A.R., 1997, “Monitoramento do Acabamento Superficial no Fresamento Via Vibrações”, XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Bauru, SP.
- Stewart, R.M., 1977, “Some Usefuldata Analysis Techniques for Gearbox Diagnostics”, Proc. of Meeting on Applications of Times Series Analysis, ISVR, pp. 19.
- Braun, S. and Lenz, E., 1986, “Mechanical Signature Analysis”, Academic Press Ed., pp. 321-342.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

ANALYSIS OF AMPLITUDE BEHAVIOR OF VIBRATION SIGNAL IN THE 1/3 OCTAVE FREQUENCY BAND IN THE MAXIMUM TOOL FLANK WEAR ‘ $VB_{B_{max}}$ ’ – PART 1

André Luis Beloni dos Santos

Federal University of Uberlândia, FAMAT, Campus Sta Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-089, e-mail: albeloni@mecanica.ufu.br

Marcos Morais de Sousa

Federal University of Uberlândia, FEMEC, Campus Sta Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-089, e-mail: mmsousa@mecanica.ufu.br

Marcus Antonio Viana Duarte

Federal University of Uberlândia, FEMEC, Campus Sta Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-089, e-mail: mveduarte@mecanica.ufu.br

***Abstract.** In machining, tool wear is a natural consequence of the cutting process. However, the magnitude of the tool wear evolution is frequently emphasised according to the material used and cutting conditions imposed to the cutting. Despite of the several methods of tool wear monitoring, the correlation between vibration level and the maximum tool flank wear has been largely applied due to the relative simplicity to establish this correlation when basic mathematics tools of signal analysis are employed. The present work proposes a vibration signal analysis procedure in the 1/3*

octave frequency band, aiming the determination of the amplitude behavior of vibration signal tendency as a function of the maximum flank wear “ VB_{Bmax} ”, verified in the face milling tests carried out with coated cemented carbide.

Keywords: *vibration level, tool wear, face milling.*