



HAL
open science

ANÁLISE DE DIFERENTES SINAIS EXPERIMENTAIS DURANTE CHATTER NO FRESAMENTO DE TOPO

Sandro Pimentel Mirres, Anna Carla Araujo, Ricardo Alexandre Amar Aguiar

► **To cite this version:**

Sandro Pimentel Mirres, Anna Carla Araujo, Ricardo Alexandre Amar Aguiar. ANÁLISE DE DIFERENTES SINAIS EXPERIMENTAIS DURANTE CHATTER NO FRESAMENTO DE TOPO. VIII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2014, Uberlandia, Brazil. hal-03219978

HAL Id: hal-03219978

<https://hal.science/hal-03219978>

Submitted on 6 May 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ANÁLISE DE DIFERENTES SINAIS EXPERIMENTAIS DURANTE CHATTER NO FRESAMENTO DE TOPO

Sandro Pimentel Mirres, samirres@hotmail.com¹

Anna Carla Araujo, anna@mecanica.ufrj.br²

Ricardo Alexandre Amar de Aguiar, raaguiar@cefet-rj.br¹

¹CEFET/RJ - PPEMM - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Tecnologia de Materiais, Av. Maracanã, 229, 20271-110 - Rio de Janeiro - RJ – Brasil.

²COPPE/UFRJ - Programa de Engenharia Mecânica, Caixa Postal 68.503 Cidade Universitária, 21945-970 Rio de Janeiro - Brasil.

Resumo: As vibrações regenerativas (ou chatter) ocorrem durante fresamento de topo produzindo acabamento superficial de má qualidade, desgaste prematuro da ferramenta e, em determinadas situações, possíveis danos à máquina e à ferramenta. O presente estudo propõe-se a analisar experimentalmente uma situação de ocorrência de chatter e identificá-lo. Para tal, são utilizados sinais de deslocamento, através de dois sensores capacitivos: um paralelo ao eixo do sentido de avanço e o outro perpendicular; sinais de forças de usinagem, medidos por um dinamômetro, e rugosidade, medida na superfície usinada com um rugosímetro. As velocidades de corte e de avanço em todos os experimentos foram mantidas, variando apenas a profundidade de corte. Os sinais adquiridos foram analisados e não foi possível fazer uma relação entre os sinais de deslocamento e força e a ocorrência de chatter, porém a rugosidade (R_a), o ruído e a aparência foram mais eficientes para identificar o efeito procurado.

Palavras-chave: Usinagem, Fresamento de topo, vibrações.

1. INTRODUÇÃO

O fresamento é considerado um dos processos de usinagem mais importantes pela sua produtividade e flexibilidade, como por exemplo, na fabricação de peças automotivas, aeroespaciais, moldes para fundição e fabricação de elementos de máquina de um modo geral. Ao longo dos anos, busca-se, através de estudos, otimizar os parâmetros de usinagem do fresamento de topo com o objetivo de evitar a ocorrência de vibrações. Um dos maiores problemas encontrados no fresamento de topo são as vibrações regenerativas, conhecidas como *chatter*, que podem ocorrer com o aumento da profundidade de corte e alteram a dinâmica da máquina, ferramenta ou peça de trabalho.

Segundo Huo e Cheng (2009), o fenômeno *chatter* é um problema de instabilidade no processo de usinagem, caracterizado por excessiva vibração indesejada entre a ferramenta e a peça, barulho alto e, conseqüentemente, uma má qualidade de acabamento superficial. Altintas *et al.* (2006) diz que a operação de fresamento de topo em mergulho pode ser usada para remoção de sobre metal de furos não passantes. Nesse caso, a espessura regenerativa do cavaco é modelada em função dos eixos laterais, vibrações axiais e de torção e da estabilidade do fresamento em mergulho formulando um problema de alto valor de quarta ordem, relacionando à espessura regenerativa do cavaco, as forças de corte e torque, e os modos estruturais da ferramenta.

Castilho *et al.* (2011) apresentou uma metodologia para avaliar os parâmetros da ferramenta usando um modelo numérico baseado no Método de Elementos Finitos (FEM). O modelo proposto foi calibrado a partir dos parâmetros dinâmicos adquiridos experimentalmente comparando os dados obtidos através do modelo FEM para um fresamento de topo. Usou o modelo de Altintas para previsão de *chatter* para comparar os dados através de gráficos construídos a partir de experimentos e simulações. Os resultados indicaram que os parâmetros obtidos pelo modelo FEM pode ser usado como modelo de literatura, para prever vibrações no fresamento de topo.

Neste trabalho procura-se encontrar uma situação em que ocorra o fenômeno *chatter* em operações do fresamento de topo observando suas variáveis de forma que possam ser mensuradas. Para caracterizar os sinais de *chatter*, se propõe estimular o surgimento do efeito durante o processo de fresamento de topo. Desta forma é apresentado um sistema de medição que proporciona ao experimentalista identificar *chatter* através das características do sinal.

2. METOLOGIA EXPERIMENTAL APLICADA À DINÂMICA DO FRESAMENTO DE TOPO

Os principais fatores a serem levados em conta na seleção das condições de usinagem no fresamento são: profundidade de usinagem a_p (mm), espessura de penetração (mm), velocidade de corte v_c (m/min), o diâmetro da ferramenta d (mm) e o avanço por dente a_d (mm/rot), que determinam a velocidade de avanço v_a (mm/min) e a velocidade de rotação n (rpm) usados na máquina-ferramenta.

O avanço por dente influencia diretamente a força de usinagem e possibilita uma remoção contínua do cavaco, durante várias rotações ou cursos da ferramenta.

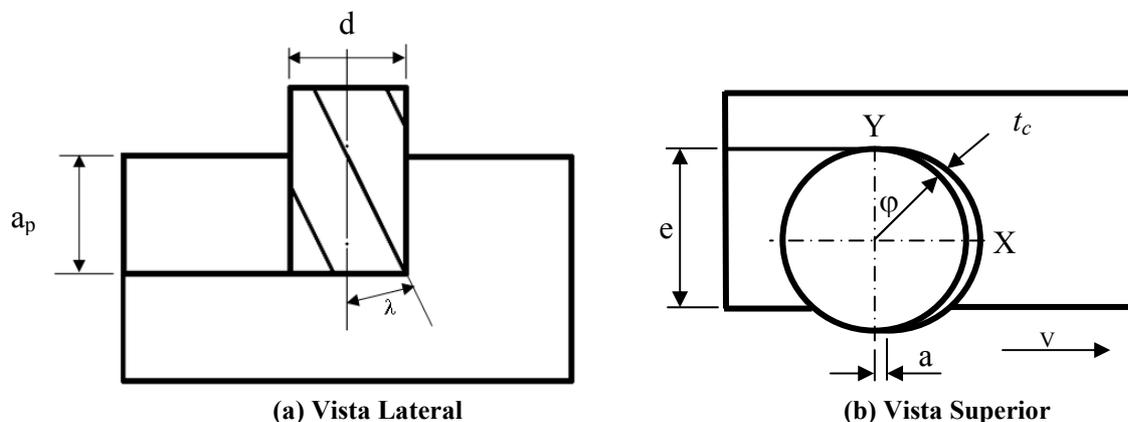


Figura 1. Geometria do Fresamento de topo.

A espessura do cavaco no fresamento de topo pode ser calculada pela Eq. (1). A mesma fornece a espessura do cavaco indeformado t_c para cada ponto da aresta de corte em função da posição angular (ϕ) do ponto e do avanço por dente no modelo que considera a ferramenta rígida para o cálculo de forças de usinagem. A Figura 1b apresenta a variação da espessura do cavaco em cada instante durante o corte (Araujo, 1999).

$$t_c = a_d \cdot \text{sen}(\phi) \quad (1)$$

Quando a ferramenta é suficientemente rígida para que as forças de usinagem modifiquem a posição da ferramenta, a força de usinagem no fresamento de topo é calculada considerando a variação da área de corte. A espessura do cavaco t_c variando durante o corte como representado na Eq. (1) altera a área de corte proporcionando variação nos esforços de corte de forma periódica podendo ser obtida pela Eq. (2).

$$dF = K \cdot dA = K \cdot t_c \cdot d \cdot a_p \quad (2)$$

Em situações onde a ferramenta é flexível, a força resultante do processo de usinagem modifica a posição ($x(t)$, $y(t)$) do centro da extremidade da ferramenta e causa uma alteração do avanço por dente. Para uma ferramenta com uma aresta de corte, ao retornar à mesma região na volta posterior, a ferramenta encontra ainda uma alteração de material proveniente da remoção a mais ou a menos realizada pela sua última passada na região. Este mecanismo, representado na Fig. 2, é chamado de vibração regenerativa, ou *chatter*.

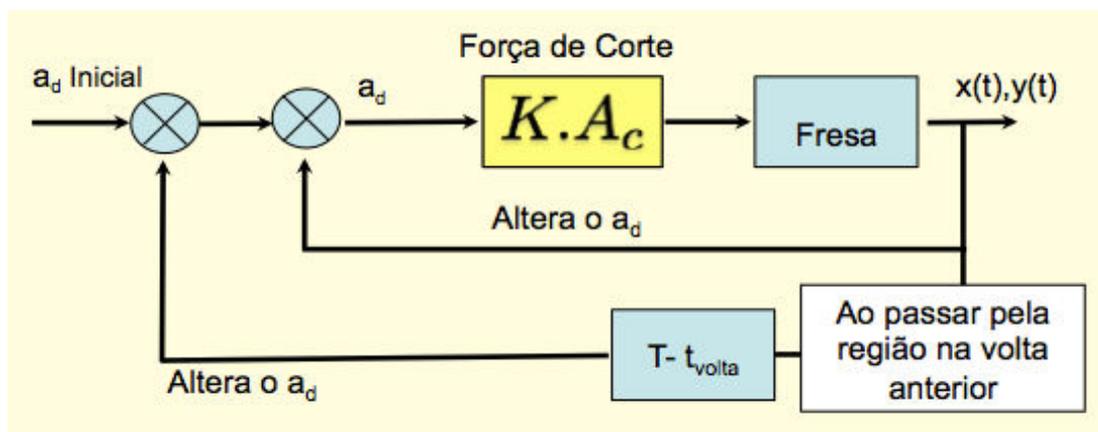


Figura 2. Efeito regenerativo.

2.1. Pré-testes

Com o objetivo de caracterizar os sinais de *chatter* estimulando o surgimento do efeito durante o processo de fresamento de topo, foram realizados os testes preliminares. Os ensaios foram realizados em fresamento de topo com corte concordante, sem fluido de corte. Os ensaios de usinagem foram conduzidos em uma fresadora ferramenteira de usinagem convencional, marca NARDINI Diplomat 3001, modelo FVF-2000. Para a usinagem dos corpos de prova em Alumínio, utilizou-se uma fresa de topo em aço rápido ao cobalto, XP – referência C-247 - sem revestimento – ângulo de hélice 30° - com o diâmetro do corte de 6 mm, comprimento de corte de 12,7mm, quatro arestas cortantes e com canal de posicionamento, que foi montada com um comprimento em balanço de 42 mm. Cada corpo de prova foi devidamente catalogado para que se pudesse efetuar uma rastreabilidade dos experimentos com maior confiabilidade.

Tabela 1. Parâmetros de corte para os pré-testes.

Variáveis de Entrada	Condições de Usinagem		
	1	2	3
Avanço por dente [mm/dente]	0,025	0,045	0,0644
Profundidade de corte [mm]	4,0	8,0	12,0
Velocidade de corte [m/min]	65	70	75

Foram realizados testes preliminares a fim de encontrar uma situação de ocorrência de *chatter* empregando os parâmetros de corte da Tab. 1. A condição 3 foi a que apresentou a ocorrência de *chatter* utilizando o sentido de corte concordante sem adição de fluido de corte.

2.2. Delineamento dos Experimentos

Com o objetivo de analisar a influência de cada um dos parâmetros nas forças de corte, o procedimento foi elaborado a partir de um delineamento experimental com 6 níveis e 1 variável, a profundidade de corte a_p . A Tabela 2 apresenta os valores da variável utilizada nos testes. Em todos os testes, a velocidade de corte foi igual a 75 m/min e o avanço, igual 0,063mm/dente. Foram realizadas, pelo menos, duas réplicas por teste e todas as réplicas de todos os testes foram realizadas de forma aleatória. Os experimentos foram planejados usando uma forma de execução aleatória, de maneira a evitar o mascaramento dos resultados.

Tabela 2. Testes realizados no fresamento de topo.

Parâmetros de corte			
Sequência dos testes	Profundidade de corte(a_p)	Sequência dos testes	Profundidade de corte(a_p)
1	12 mm	10	4 mm (Réplica 2)
2	10 mm	11	10 mm (Réplica 2)
3	8 mm	12	10 mm (Réplica 3)
4	6 mm	13	8 mm (Réplica 3)
5	4 mm	14	12 mm (Réplica 3)
6	2 mm	15	2 mm (Réplica 2)
7	6 mm (Réplica 2)	16	6 mm (Réplica 3)
8	12 mm (Réplica 2)	17	2 mm (Réplica 3)
9	8 mm (Réplica 2)	18	4 mm (Réplica 3)

2.3. Equipamentos de Medição de Força, Deslocamento e Rugosidade

Durante os experimentos principais, foi realizada a medição dos deslocamentos e das forças em condições reais de funcionamento da máquina. A medição de deslocamento da ferramenta exigia que a mesma fosse efetuada em dois eixos perpendiculares de forma que a interseção dos eixos coincidisse com o centro da ferramenta e o plano dos sensores estivesse perpendicular ao eixo da ferramenta. Foi projetado um dispositivo específico para o experimento que atendesse essas condições.

Para aquisição dos dados de força, foi usado um dinamômetro piezelétrico marca Kistler, modelo 9257BA e um amplificador de carga de 3 canais, marca Kistler, modelo 5233A. A medição de forças pelo sistema de aquisição exigiu que a fixação do corpo de prova, como apresentado na Fig. 3a. Para conversão e transmissão dos sinais analógicos para digital, foi utilizada uma placa de aquisição de dados, marca National Instruments, modelo NI USB-6221.

Para aquisição dos dados de deslocamento, foram usados dois sensores capacitivos marca Lion Precision, modelo C23C e um amplificador de sinal, marca Lion Precision, modelo Elite Series CPL190. O posicionamento dos sensores em relação a fresa segue representado na Fig. 3b.

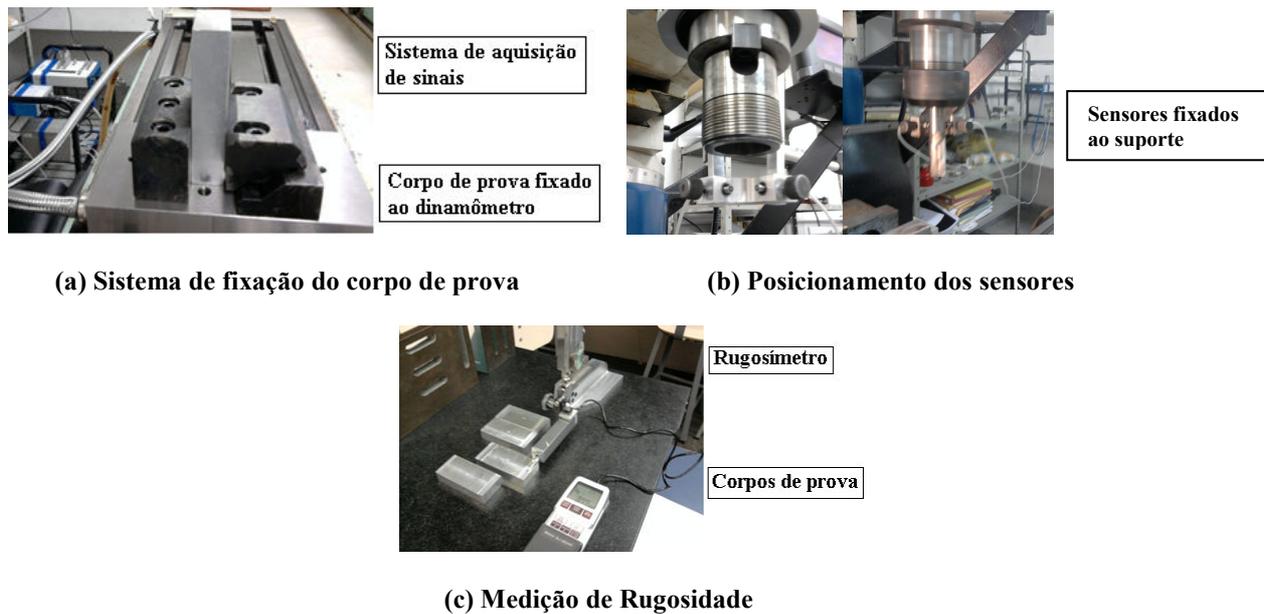


Figura 3. Sistema de aquisição de dados.

A rugosidade foi medida com um rugosímetro portátil da marca Mitutoyo modelo SJ 201 M/P, como mostra a Fig. 3c. O sistema adotado para medição segue a recomendação da norma ABNT, através da NBR ISO 4287(2002) considerando desvio médio Ra .

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Força Máxima de Usinagem e de Avanço

Em todo o tempo de corte, foram aquisitadas as forças F_x e F_y . A força F_x foi aquisitada na direção do avanço e F_y , na direção perpendicular à direção de avanço no plano de corte. A força de usinagem é o valor escalar do vetor resultante das duas componentes no tempo. A força resultante é variável, como pode ser observado na Fig. 4 que apresenta um dos testes realizados. É importante conhecer o comportamento e o valor da força máxima de usinagem durante o corte, pois ela é responsável pela deflexão elástica da peça e da ferramenta durante o corte. Foi analisado os valores da força máxima de usinagem em cada uma dos testes em uma região do corte, com mesma duração.

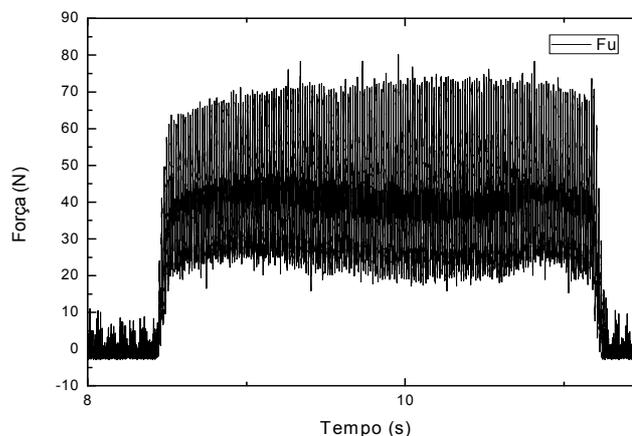


Figura 4. Força de usinagem no experimento 11 ($a_p = 10\text{mm}$).

A força de avanço é a projeção da força de usinagem no plano de trabalho, na direção de avanço, dada pela velocidade de avanço. Foram analisadas as forças de avanço e seu valor máximo, em na mesma região da força de usinagem descrita anteriormente, como forma de relacionar com o deslocamento na direção x .

A Figura 5 apresenta a história das forças de avanço F_x e F_y e a janela no tempo de análise para avaliação da força máxima. Pode-se observar na Figs. 5a e 5b um detalhe da ampliação de quatro ciclos da ferramenta para melhor compreensão e análise do comportamento das forças de corte durante a usinagem do corpo de prova gerada pelo sistema ferramenta-fixação-máquina.

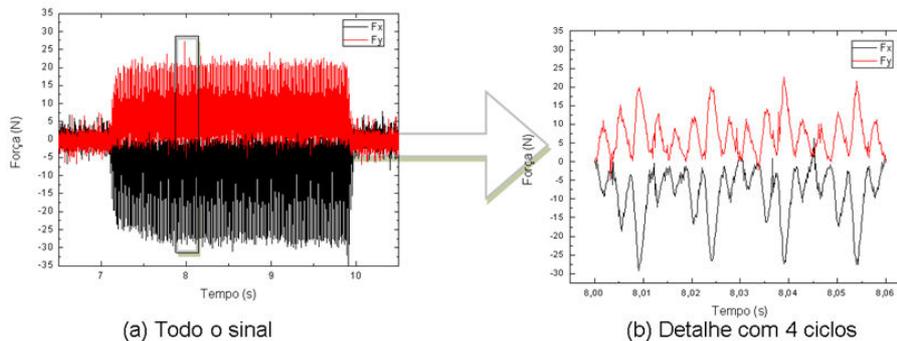


Figura 5. Componentes das forças de usinagem no experimento 11 ($a_p = 10\text{mm}$).

3.2 Rugosidade

A rugosidade R_a foi utilizada como parâmetro para indicação da existência do fenômeno chatter por refletir a textura superficial apresentada após a usinagem.

A Tabela 3 mostra os valores das forças máximas de usinagem e forças máximas de avanço e a rugosidade de cada corpo de prova no fresamento de topo, em função dos parâmetros de corte empregados para realização dos ensaios.

Tabela 3. Resumo dos resultados de força e rugosidade em cada teste.

Profundidade de Corte a_p (mm)	Força Máxima de Usinagem (N)	Força Máxima de Avanço (N)	Rugosidade Superficial em R_a (μm)	Chatter
12	76,57	60,14	5,45	Sim
10	75,26	51,60	6,28	Sim
8	57,30	43,98	7,60	Sim
6	41,61	33,37	5,20	Sim
4	52,03	45,57	1,89	Não
2	33,40	27,16	0,65	Não
6	51,36	41,13	4,51	Sim
12	82,67	64,22	4,76	Sim
8	57,30	46,45	5,32	Sim
4	47,01	35,89	2,75	Sim
10	75,62	61,43	2,98	Sim
10	71,38	55,77	4,89	Sim
8	58,33	46,21	5,31	Sim
12	81,36	62,58	2,60	Sim
2	33,38	25,36	0,83	Não
6	52,83	42,28	3,25	Sim
2	36,22	29,45	1,09	Não
4	49,57	42,73	2,32	Não

As forças de corte causam deflexões na ferramenta gerando um desvio de excentricidade tornando o corte instável e aumentando a rugosidade da superfície usinada. Como pode ser visto na Tab. 3, quanto maior a força de usinagem maior o valor da rugosidade superficial. O surgimento do efeito *chatter*, durante os ensaios, ocorreu nos experimentos com profundidade de corte maior que 4 mm, pois nessas condições a usinagem apresentou ruído acentuado, que caracteriza o fenômeno.

Na Tabela 3 pode-se relacionar profundidade de corte com força máxima de usinagem para caracterizar o efeito *chatter*. Nesses experimentos verificou-se o aumento das forças de usinagem, do curso gerado pela ferramenta durante a usinagem e o deslocamento da ferramenta nas coordenadas x e y e também a rugosidade da superfície produzida pelo fresamento de topo. O comportamento das forças de usinagem foi monitorado de uma extremidade a outra da usinagem do corpo de prova.

Observando a curva de tendência da rugosidade e da força máxima em função da profundidade é possível perceber maior aproximação da curva de força máxima em função da profundidade de corte, como é apresentado na Fig. 6a.

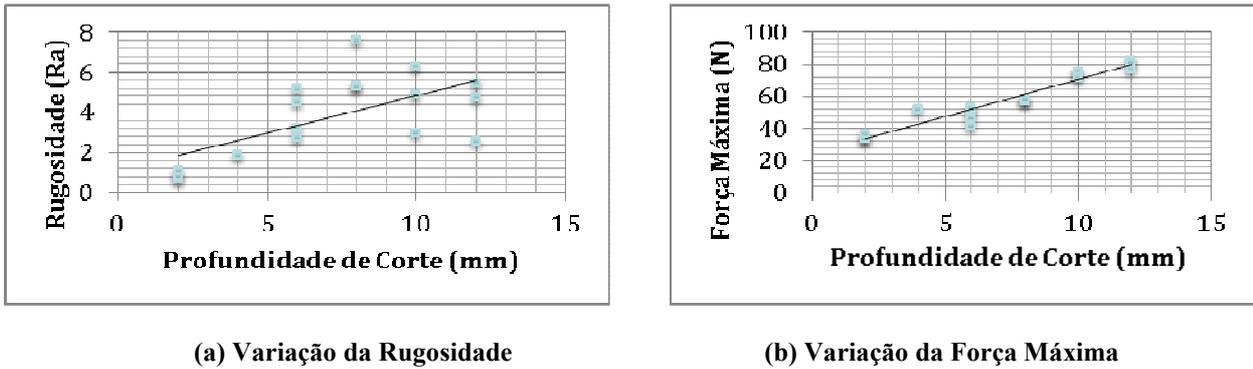


Figura 6. Curvas de tendência encontradas a partir dos resultados experimentais.

3.3 Deslocamento da Ferramenta

O deslocamento da ferramenta durante o corte é causado pela oscilação das forças de corte, porém, em função do posicionamento desalinhado com o eixo de rotação, é possível que haja variações no sinal do sensor capacitivo.

Os sinais de deslocamento foram medidos nas direções x e y e processados para análise. Como exemplo, a Fig. 7 apresenta os sinais de deslocamentos obtidos no teste 11, em uma região de quatro ciclos. Os ciclos analisados nesta seção são os mesmos onde foram analisadas as forças de corte, com o objetivo de estabelecer uma relação entre as forças e os deslocamentos.

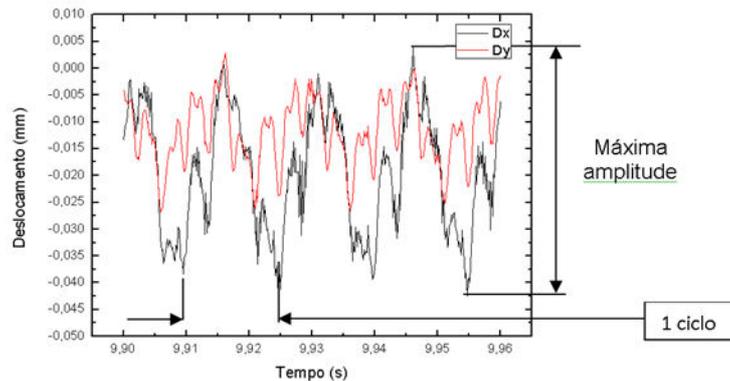


Figura 7. Variação do deslocamento em quatro ciclos (11).

É possível identificar que a máxima amplitude deste caso é de 0,046mm na direção x . O mesmo procedimento é realizado com todos os testes e apresentados na Tab. 4.

Tabela 4. Deslocamentos máximos da ponta da ferramenta durante o corte.

a_p (mm)	Deslocamento no eixo x (mm)	Deslocamento no eixo y (mm)	Chatter	a_p (mm)	Deslocamento no eixo x (mm)	Deslocamento no eixo y (mm)	Chatter
12	0,048	0,025	Sim	4	0,034	0,021	Não
10	0,054	0,032	Sim	10	0,040	0,026	Sim
8	0,036	0,022	Sim	10	0,042	0,028	Sim
6	0,038	0,019	Sim	8	0,032	0,021	Sim
4	0,037	0,022	Não	12	0,045	0,030	Sim
2	0,034	0,023	Não	2	0,030	0,024	Não
6	0,034	0,021	Sim	6	0,035	0,021	Sim
12	0,044	0,030	Sim	2	0,032	0,024	Não
8	0,033	0,020	Sim	4	0,036	0,022	Não

Pode-se definir os deslocamentos x e y como a posição que a ferramenta ocupa em cada instante nos eixos x e y , durante a realização do experimento, e a excentricidade como o movimento realizado pela ferramenta em torno de seu próprio eixo durante um ciclo e é atribuída à amplitude do deslocamento da ferramenta efetuando o corte.

A partir dos sinais de deslocamento em x e y , como o exemplo apresentado na Fig. 7, é possível analisar a o comportamento da trajetória da ferramenta, como apresenta a Fig. 8. As maiores variações de deslocamento foram encontradas no eixo x que é paralelo ao sentido de avanço.

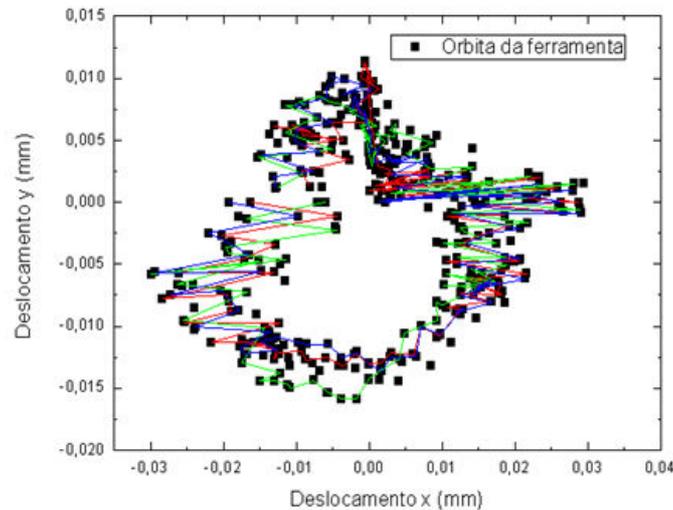


Figura 8. Trajetória Composta pelos Deslocamentos x e y no Experimento 11.

A Figura 9 mostra a curva de tendência para os deslocamentos nos eixos x e y em função da profundidade de corte.

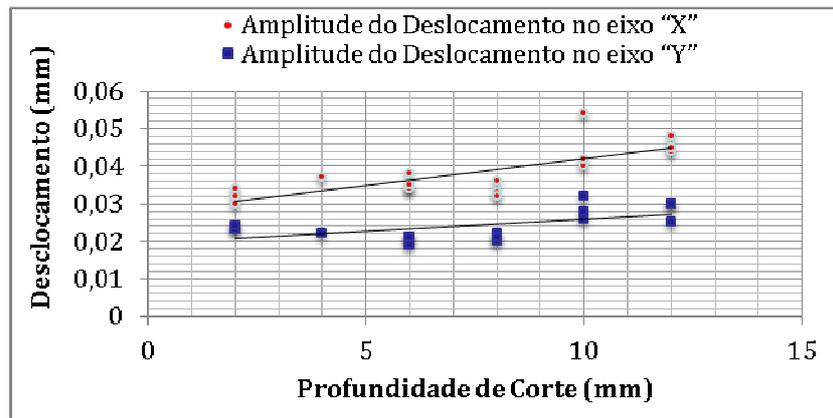


Figura 9. Deslocamento máximo em cada experimento.

A Tabela 5 apresenta o raio médio da órbita das trajetórias (similares à apresentada na Fig. 8 para todos os testes) nas situações: em vazio, em usinagem e a diferença entre elas. Na primeira coluna, o raio da órbita é chamado de excentricidade da ferramenta, pois neste momento não ocorre o corte e esta variação é um reflexo apenas da fixação deslocada da ferramenta em relação ao eixo de rotação da fresa. Na segunda coluna, o raio da órbita é medido durante o fresamento, e portanto apresenta a medida da deflexão da ferramenta, provocada pela força de usinagem, mais a excentricidade. Na terceira coluna, é apresentada esta diferença que é, supostamente, a parcela referente à deflexão da fresa.

Tabela 5. Variação da excentricidade da ferramenta durante o corte.

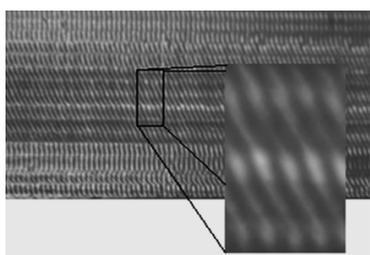
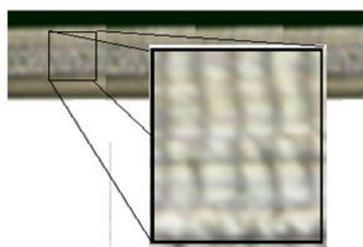
a_p (mm)	Excentricidade da Ferramenta A (mm)	Ferramenta em Corte B (mm)	Diferença de A e B relacionada com a deflexão (mm)	a_p (mm)	Excentricidade da Ferramenta A (mm)	Ferramenta em Corte B (mm)	Diferença de A e B relacionada com a deflexão (mm)
12	0,0054	0,0356	0,0302	4	0,0048	0,0185	0,0138
10	0,0061	0,0356	0,0295	10	0,0055	0,0235	0,0179
8	0,0057	0,0300	0,0243	10	0,0056	0,0229	0,0172
6	0,0047	0,0193	0,0146	8	0,0059	0,0200	0,0141
4	0,0085	0,0223	0,0138	12	0,0062	0,0281	0,0219
2	0,0064	0,0293	0,0230	2	0,0056	0,0188	0,0132
6	0,0058	0,0209	0,0151	6	0,0057	0,0230	0,0174
12	0,0051	0,0282	0,0231	2	0,0066	0,0174	0,0112
8	0,0063	0,0202	0,0139	4	0,0049	0,0186	0,0137

3.4 Aspecto da Superfície

De acordo com KAKINUMA Y. *et al.* (2011), em operações de fresamento com ferramentas de corte intermitente, as marcas deixadas pela ferramenta podem se apresentar de várias formas. Na ocorrência do *chatter*, as marcas deixadas na superfície são inclinadas em relação ao eixo do sentido de avanço e as marcas que se apresentam de forma perpendicular ao sentido de avanço são vibrações forçadas. A frequência de rotação da ferramenta tende a estabelecer uma sincronização com as frequências autoexcitadas provenientes do *chatter*. Segundo ALTINTAS *et al.* (2006), no fresamento de topo, com ferramenta de ponta esférica com raios ou de ponta plana, que é o caso estudado por este artigo, o fenômeno *chatter* ocorre quando a superfície usinada é áspera e o corte gera um ruído elevado.

Na realização dos testes que empregaram profundidade de corte de 6 a 12 mm observou-se as principais características do fenômeno *chatter*: ruído elevado, vibrações no sistema ferramenta-fixação-máquina e acabamento áspero da superfície usinada. Como exemplo, a Figura 10(a) apresenta o aspecto da superfície usinada do corpo de prova após realização do teste 1. Pode-se observar que as marcas são profundas e inclinadas em relação ao sentido de avanço.

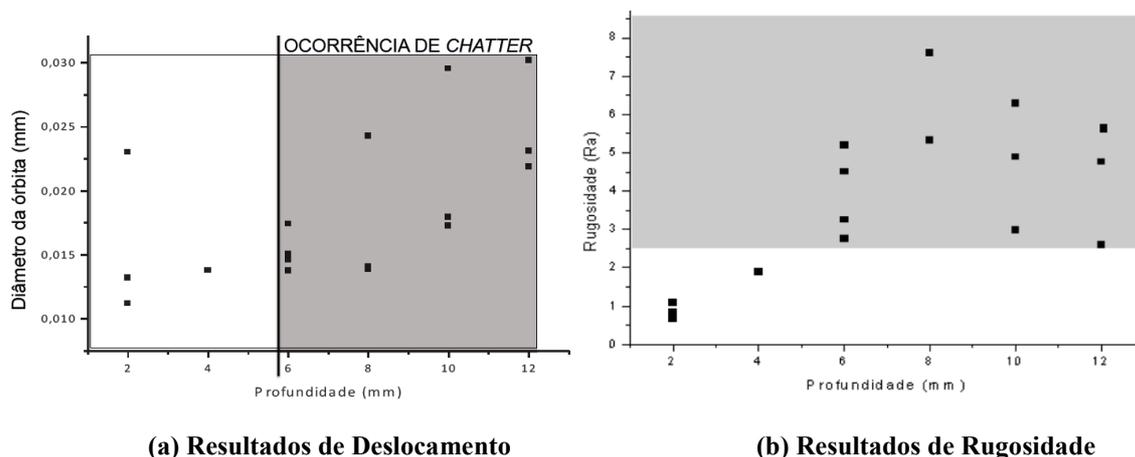
Nos testes com a profundidade de corte de 2 e 4 mm não foi observada a presença de ruído e as marcas deixadas pela ferramenta foram perpendiculares ao sentido de avanço, o que não é característico do fenômeno *chatter*. Observou-se no aspecto da superfície apresentada na Fig. 10b que as marcas deixadas pela ferramenta são diferentes, nesse caso elas se apresentaram de forma perpendicular ao eixo de avanço da peça. A qualidade superficial encontrada neste caso (teste 17) foi de $1,09\mu\text{m}$, enquanto que o da superfície apresentada na Fig. 10a (teste 1) foi de $5,45\mu\text{m}$.

(a) $a_p = 12$ mm - com *chatter*(b) $a_p = 2$ mm - sem *chatter*Figura 10. Aspecto da superfície em dois experimentos com e sem indicação de *chatter*.

4. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS COM E SEM CHATTER

Como forma de comparação entre os resultados, com e sem o fenômeno *chatter*, foram relacionados os diâmetros da trajetória da ferramenta encontrados nos experimentos com as variações de profundidades de corte com o objetivo de identificar a ocorrência do evento, objeto desta pesquisa. A Figura 11a ilustra a região de instabilidade da ferramenta que gera variação no diâmetro. Percebe-se que não há um valor de corte para o diâmetro da órbita de deslocamento. Logo, não poderia se identificar o *chatter*, neste caso, observando os valores máximos de deslocamento. Porém, pode-se verificar que existe ocorrência de um maior número de valores acima de $0,015$ mm.

Porém, observando os resultados apresentados na Fig. 11b, os resultados que apresentaram *chatter* produziram superfícies com rugosidade superficial maior que $2,5\mu\text{m}$. Este valor poderia identificar a ocorrência do *chatter*.



(a) Resultados de Deslocamento

(b) Resultados de Rugosidade

Figura 11. Regiões escuras representam testes com presença de *chatter*.

5. CONCLUSÕES

O presente estudo apresenta resultados experimentais que avaliam a ocorrência de chatter com o objetivo de identificar este fenômeno no decorrer da pesquisa científica. Foram utilizados sinais de deslocamento, sinais de forças de usinagem e as medidas de rugosidade e verificação do aspecto da peça. O parâmetro de corte utilizado como fator nos experimentos foi a profundidade de corte, determinado em 6 níveis.

O objetivo inicial da pesquisa foi identificar se haveria durante o processo de corte utilizando, portanto, os sinais de deslocamento e força que são adquiridos concomitantemente ao processo de corte. Porém, as melhores indicações de chatter, nos testes aqui apresentados, utilizaram a rugosidade, um aspecto que só pode ser medido nas peças após o processo, quando já não se pode mais interferir na ocorrência do fenômeno.

A partir dos resultados apresentados no artigo podem-se destacar as seguintes conclusões:

- O aumento da profundidade de corte induziu o aparecimento do fenômeno *chatter*.
- Os ensaios realizados em regiões de profundidade de corte com chatter apresentaram as maiores forças de usinagem, como é esperado a partir do aumento da área de corte. Porém, não foi possível identificar um padrão de oscilações que caracterizasse o sinal de *chatter*, o que era esperado.
- Os sinais de deslocamento apresentaram valores maiores na região de chatter. Porém, a partir dos valores da deflexão da ferramenta não foi possível, com os dados obtidos neste estudo, fazer uma relação entre o sinal do deslocamento e o efeito *chatter*.
- Os resultados de rugosidade (Ra), de ruído e a aparência da superfície foram mais eficientes para identificar o efeito procurado. A rugosidade superficial poderia ser usada como parâmetro de identificação da ocorrência do fenômeno *chatter*, para este caso, para valores acima de 2,5 μ m.

7. REFERÊNCIAS

- Abu-zahra N. H. and Lange, J. H., 2002, "Tool Chatter Monitoring in Turning Operations Using Wavelet Analysis of Ultrasound Waves": The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 20, pp. 248-254.
- Altintas, Y and Ko, J. H., 2006, "Chatter Stability of Plunge Milling", British Columbia, Vancouver, Canadá.
- Altintas, Y., 2000, "Manufacturing automation Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC" Design. Cambridgen Press.
- Araujo, A. C. M., 1999, "Estudo das Forças de Usinagem no Fresamento de Topo", Dissertação de Mestrado (Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE-UFRJ. Rio de Janeiro, RJ – Brasil.
- Budak, E. and Altintas, Y., 1995, "Analytical Prediction of Stability Lobes in Milling", Annals of the CIRP, Vol. 44, pp. 357-362.
- Budak, E., Tunç, L. T., Alan, S. and Özgüven, H. N., 2012, "Prediction of Workpiece Dynamics and its Effects on Chatter Stability in Milling", CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 61, pp. 339-342.
- Castilho, A. V., 2011, "Experiment and Numerical Analysis of End Milling Tools Dynamic Parameters", XXI Congresso de Engenharia Mecânica, Natal, RN, Brasil.
- Ferraresi, D., 1977, "Fundamentos da Usinagem dos Metais", São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda., pp. 30-754.
- Guenza, J. E., 2008, "Análise do Desempenho do Fresamento em Altas Velocidades de Corte do Ferro", Dissertação de M.Sc., UTFPR/PR/ PPGEM, Curitiba, PR, Brasil.

- Huo, D. and Cheng, K., 2008, "A Dynamics-driven Approach to the Design of Precision Machine Tools for Micro-Manufacturing and its Implementation Perspectives". Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, Vol. 222, pp. 1-13.
- Mirres, S. P., 2013, "Análise Experimental da Dinâmica do Corte no Fresamento de Topo", Dissertação de M. Sc, CEFET/RJ - PPEMM -, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Kakinuma, Y., Sudo, Y. and Aoyama, T., 2011, "Detection of Chatter Vibration in end Milling Applying Disturbance Observer", Annals-Manufacturing Technology, Vol.60, pp. 109-112.
- Quintana, G. and Ciurana, J., 2011, "Chatter in Machining Processes: A Review". International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol.51, pp. 363-376.
- Rao, S. S., 2008, "Vibrações Mecânicas", São Paulo, Pearson Prentice Hall, pp.15-100.
- Sandvik Cormant, Manual técnico. Web site: <http://www.coromant.sandvik.com.br>, visitado em 30 de março de 2010.

8. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

ANALYSIS OF DIFFERENT EXPERIMENTAL DATA DURING CHATTER IN END MILLING OPERATION

Abstract. *The regenerative chatter or vibration occur during end milling, as in other machining processes, producing poor quality surface finish, premature tool wear and, in certain situations, and possible damage to the machine tool. The present study aims to study a situation of occurrence of chatter and identify it by comparing the signals with no vibrations. As a comparison are used: displacement signals via two capacitive sensors: one parallel to the axis of the forward direction and the other perpendicular; signals machining forces, measured by a dynamometer, and roughness, measured with a machined surface roughness. It was observed by the machined surface and the noise which was the occurrence of chatter in experiments with depths of cut of 6 to 12 mm. Sought to recognize patterns that identify the emergence of autoexcitadas vibrations, which can be used in the future to control the process and remove it from a volatile region into a region of stability. The aquisitados signals were analyzed and it was not possible to make a relationship between displacement and force signals and the occurrence of chatter, but the roughness (R_a), noise and appearance were more efficient to identify the intended effect.*

Keywords: *Machining, Milling top, vibrations*