

ANÁLISE DE ERROS DE MEDIÇÃO DE ESFORÇOS NO ALARGAMENTO

Michel Reis Pedreira Muniz Tavares

Rolf Bertrand Schroeter

Universidade Federal de Santa Catarina

rolf.schroeter@ufsc.br

micheltavares86@gmail.com

Thaison Prando

Universidade Federal de Santa Catarina

thprando@gmail.com

Resumo. Esforços de usinagem podem servir como variáveis intermediárias nos modelos de processo de usinagem na obtenção de variáveis de maior interesse para a indústria, como tempo de vida da ferramenta e rugosidade da peça. No processo de alargamento, estes esforços podem ser de pequena ordem dadas as pequenas seções de corte utilizadas. Como consequência, aspectos do sistema de medição de esforços negligenciáveis em outros processos podem ter impacto significativo. Neste trabalho, foram realizados alargamentos utilizando uma ferramenta de aço-rápido de 9 mm de diâmetro com hélice à esquerda em uma peça de ferro fundido GG25, sendo medidos os esforços com auxílio de uma plataforma piezelétrica. Foi observada uma baixa relação sinal-ruído, o que motivou uma análise do sistema de medição a qual consistiu no uso de massas padrão, análise do sinal em vazio, aferições das frequências naturais e distância do centro da plataforma ao centro do furo alargado. Foi observado que esta última fonte de erro foi a mais significativa, pois amplifica o batimento da ferramenta e criando um sinal aparente. Além disso, foi observado que o impacto da rede elétrica e de uma frequência natural menor que a frequência de corte dos filtros analógicos é significativa. Por fim, concluiu-se que estas interferências impactaram mais significativamente no momento de corte que na força de avanço.

Palavras chave: Força de avanço. Momento de corte. FFT. Ferro fundido GG25. Sinais.

1. INTRODUÇÃO

Os esforços em processos de usinagem podem servir como indicadores de desgaste ou mesmo da quebra de ferramentas. Além disso, podem ser empregados como variáveis de entrada em modelos capazes de prever parâmetros de maior interesse para a indústria, como a rugosidade ou a integridade da superfície de um componente fabricado.

No alargamento, os esforços de usinagem são de baixa magnitude quando comparados a outros processos de usinagem, como furação e fresamento. Essencialmente, isto ocorre devido às pequenas seções de usinagem deste processo. Sendo estes esforços de pequena magnitude, durante a sua medição a relação sinal-ruído pode ter valores baixos e comprometer a determinação dos valores das componentes da força de usinagem. Logo, os sinais de força e momento obtidos em medições utilizando, por exemplo, plataformas piezelétricas, devem ser avaliados com mais rigor que, por exemplo, sinais de força obtido no processo de furação em cheio.

O objetivo do presente trabalho é apresentar uma análise dos sinais de força de avanço e momento de corte obtidos durante o alargamento a seco de peças de ferro fundido GG25 com uma ferramenta de aço-rápido. Os sinais foram filtrados utilizando-se diferentes frequências de corte e algumas fontes de ruído foram identificadas a partir da análise do sistema de medição.

2. METODOLOGIA

Foram realizados um conjunto de 9 ensaios com uma réplica cada, totalizando 18 operações, com velocidades de corte de 5, 10 e 15 m/min e avanços de 0,10, 0,15 e 0,20 mm. Cada ensaio consistiu de um alargamento a seco em uma peça de ferro fundido GG25, no qual os esforços foram medidos com o auxílio de uma plataforma piezelétrica modelo Kistler 9273. O sistema de medição foi montado conforme Tavares (2018). Para a realização dos testes, foi utilizado um alargador de aço-rápido M2 confeccionado segundo norma DIN212, com diâmetro nominal de 9,0 mm e hélice à esquerda.

Na verificação das características do sistema de medição, foi utilizado um martelo de impacto Piezoletronics® PCB 086C04 equipado com uma ponta de bronze e sem contrapeso para aferir as frequências naturais. Foram utilizadas massas padrão para gerar um momento e uma força na direção do avanço da ferramenta com o intuito de aferir a perda de carga (*drift*) dos amplificadores. A interferência da rede elétrica foi obtida através da transformada rápida de Fourier

(FFT) de um sinal obtido sem submeter a plataforma a esforços. Por fim, para avaliar a interferência da distância do centro do furo ao centro da plataforma, foi utilizado um alargador também do tipo norma DIN212, mas com diâmetro 18,60 mm, a fim de elevar os valores dos esforços, facilitando assim a compreensão do sinal.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 1 é apresentado um dos sinais de momento de corte no domínio do tempo (Fig. 1-a) e no domínio da frequência (Fig. 1-b), bem como o sinal da força de avanço também nos domínios do tempo (Fig. 1-c) e da frequência (Fig. 1-d) para um ensaio realizado com velocidade de corte de 15 m/min e avanço da ferramenta de 0,20 mm. O sinal foi truncado de tal maneira que todos os gráficos representam apenas o momento de penetração da ferramenta na peça.

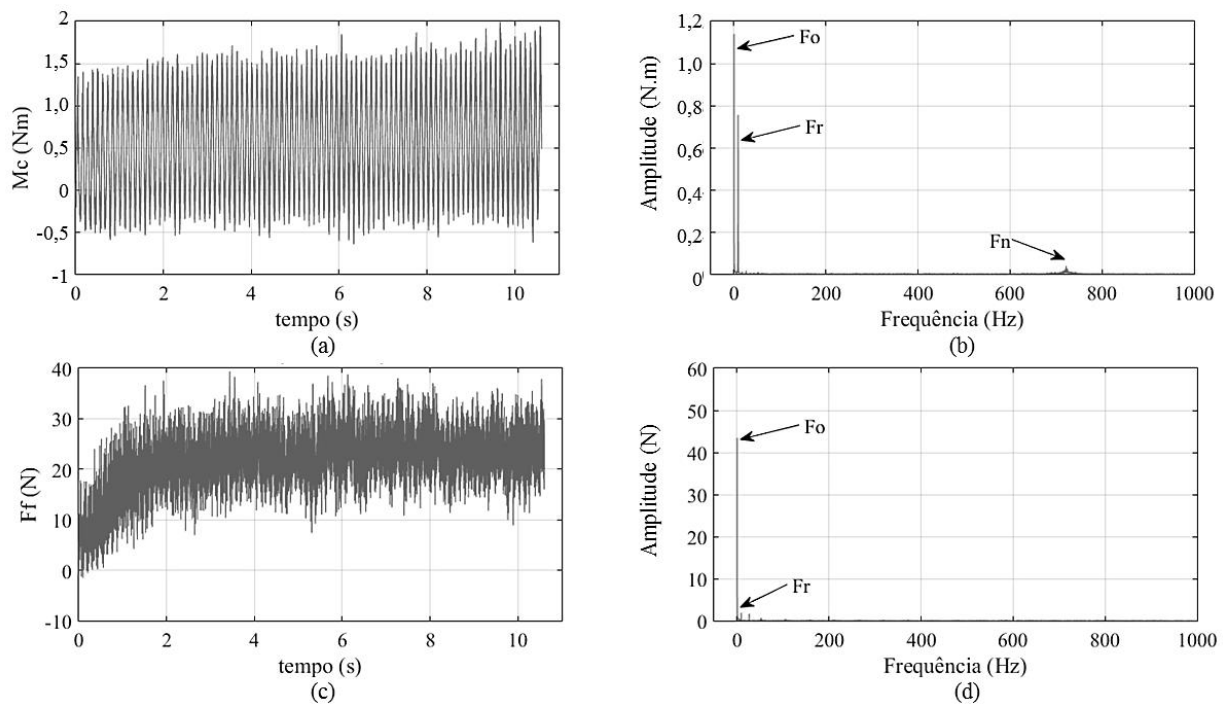


Figura 1. (a) Momento de corte no domínio do tempo (a) e da frequência (b). Força de avanço no domínio do tempo (c) e da frequência (d). Frequência de aquisição de 10 kHz, frequência de corte de 1 kHz e truncamento na região de penetração do alargador com velocidade de corte de 15 m/min e avanço de 0,20 mm.

É possível observar três picos no domínio da frequência: na frequência zero (F_0), representando uma componente DC do sinal conforme esperado pela literatura (Wang *et al.*, 2017), na frequência de rotação (F_r), indicando a presença de batimento da ferramenta e próximo a 720 Hz (F_n). Uma vez que a componente DC representa o corte, o sinal completo foi filtrado com um filtro passa-baixas de frequência de corte 3 Hz e dividido em quatro regiões conforme a Fig. 2. O gráfico desta forma se assemelha ao esperado pela literatura (Narimani e Mathew, 1996).

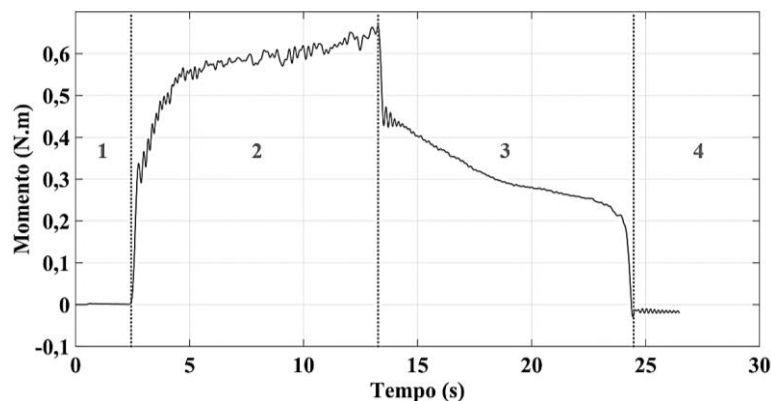


Figura 2. Sinal do momento de corte filtrado com filtro passa-baixas com frequência de corte de 3 Hz (Tavares, 2018).

1. **Região de aproximação da ferramenta** – compreende o intervalo de tempo entre o início da medição e o contato da ferramenta e a peça.
2. **Região de alargamento** – compreende o período em que ocorre o contato da ferramenta com a peça até o instante em que o pré-furo é alargado em 20 mm de seu comprimento pela ferramenta.
3. **Região de retorno da ferramenta** – intervalo entre o instante em que a ferramenta começa a se mover no sentido contrário ao avanço até o momento em que não há mais contato da ferramenta com a peça.
4. **Região de afastamento** – intervalo de tempo entre a perda de contato da ferramenta com a peça até o desligamento do sistema de aquisição de medição.

Foram realizadas outras duas filtrações com filtros do tipo passa-banda, sendo uma banda em torno da frequência de rotação e outro em torno de 720 Hz. A primeira filtração mostrou que o sinal possui uma amplitude bem definida nessa frequência (Fig. 3-a) e de valor próximo a 0,75 N.m na região de alargamento, sendo portanto superior aos valores da Fig. 2 na mesma região. A segunda exibe uma amplitude variável de maneira aparentemente aleatória, de menor valor, mas ainda assim com significância (Fig. 3-b).

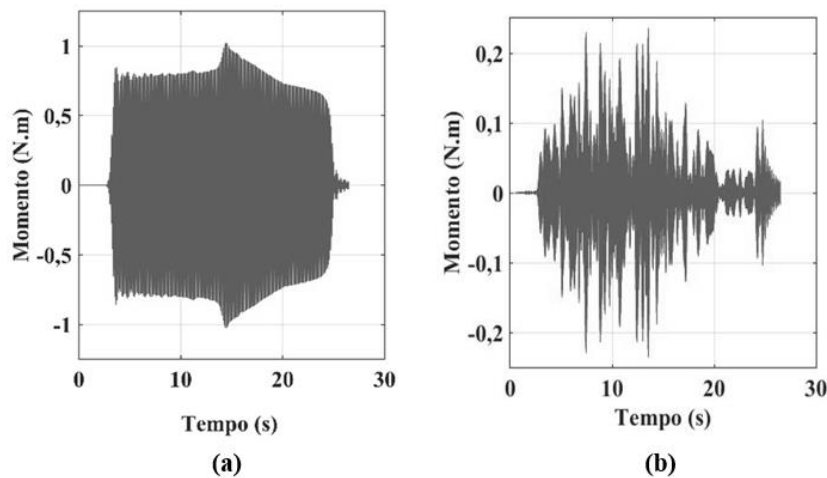


Figura 3. Sinal após aplicação do filtro passa-banda entre as frequências: (a) 7 e 10 Hz e (b) 718 e 725 Hz (Tavares, 2018).

Estas observações motivaram o estudo das características do sistema de medição, como a frequência natural e a perda de carga (*drift*). Dentre as diversas medições conduzidas, variando o fator de sensibilidade e a escala dos amplificadores (parâmetros ajustáveis do equipamento), foram obtidos os resultados para os amplificadores utilizados na medição do momento de corte (Fig. 4-a) e da força de avanço (Fig. 4-b).

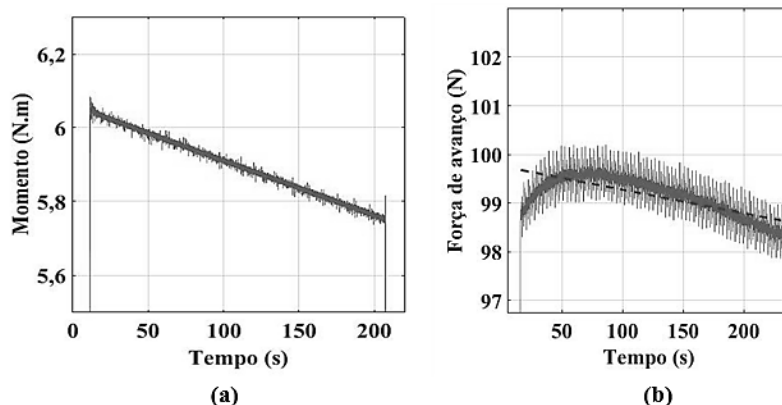


Figura 4. *Drift* dos sinais dos amplificadores do (a) momento de corte para um valor esperado em torno de 6 N.m e da (b) força de avanço para um valor esperado de 98,7 N (Tavares, 2018).

O sinal no amplificador dedicado ao momento de corte notoriamente decai de forma linear. O *drift* do amplificador usado para a força de avanço decai de forma não linear, indicando uma falha em um dos componentes eletrônicos do amplificador segundo manual do equipamento. Apesar deste comportamento, o sinal divergiu do esperado em torno de 2N sendo, portanto, aceitável em virtude da ordem de grandeza das forças de avanço envolvidas.

Esta variação também ocorreu ao longo de um período longo quando comparado ao tempo de processo. Dados os valores obtidos para o *drift* dos sinais, as dispersões não podem ser explicadas pelo mesmo.

A estimativa da frequência natural na direção do momento de corte com o martelo de impacto revelou que os valores de amplitude observados em torno de 720 Hz de fato estavam correlacionados com a frequência natural do sistema no sentido do momento de corte. O valor obtido em experimento usando o martelo de impacto foi em torno de 740 Hz. A diferença em torno de 20 Hz entre o valor esperado e o obtido pode ser atribuída à desmontagem e montagem do sistema de medição entre as operações de alargamento e os testes com o martelo, onde não houve uma sistemática que permitisse, por exemplo, assegurar o torque dos parafusos de fixação.

Na direção da força de avanço, os valores obtidos foram superiores a 1 kHz e, portanto, não foram perceptíveis ao sistema de medição que possui filtros analógicos com frequência de corte de 1 kHz. Para reduzir o impacto desta interferência seria necessário ou mudar a geometria do corpo de prova para modificar a frequência natural do sistema ou modificar a frequência de corte do filtro analógico utilizado.

A medição feita em vazio, ou seja, sem cargas aplicadas ao sistema, apresentou picos de amplitude em valores próximos a 60 Hz e seus múltiplos, conforme Fig. 6. Estes foram um indicativo da interferência da rede elétrica do local de ensaios na medição. Os valores individuais dos picos de amplitude foram de ordem mil vezes inferior ao sinal, contudo, são valores presentes não somente em uma frequência, sendo, portanto somados. O valor desta soma até a frequência de 1 kHz (frequência de corte do filtro analógico do amplificador) chega a 0,16 N.m, ou seja, mais de 25% do valor máximo do sinal da Fig. 2.

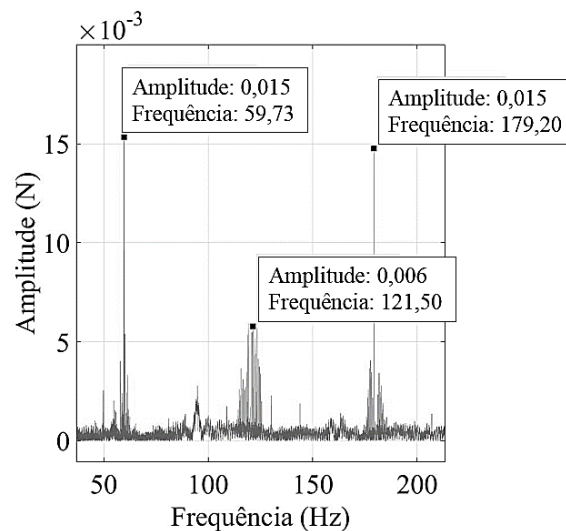


Figura 5. Valores de amplitude nas frequências múltiplas de 60 Hz (Tavares, 2018).

Por fim, foi verificada a interferência da distância do centro do furo em relação ao centro da plataforma piezelétrica, a mesma foi aferida realizando-se um furo no centro e mais outros quatro equidistantes do centro. Estes furos foram realizados com um alargador de 18,60 mm de diâmetro, visando obter valores mais significativos da componente DC do sinal. Os resultados deste teste podem ser observados na Fig. 7.

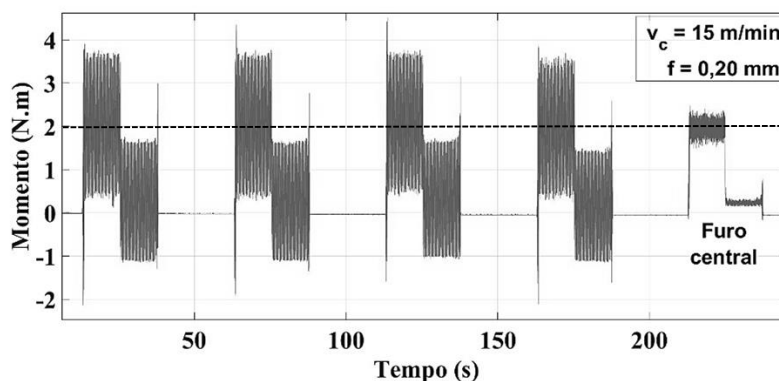


Figura 6. Comparação entre medições de momento no centro e na periferia da plataforma piezelétrica utilizando um alargador de aço-rápido de 18,60 mm de diâmetro (Tavares, 2018).

Os valores do momento de corte oscilaram em torno de 2 N.m e a dispersão aumentou nos pontos fora do centro. Isto indica que esta distância deve ser respeitada se a influência do batimento radial da ferramenta nos esforços for levada em consideração. Considerando que o valor do momento de corte é representado pela componente DC do sinal, uma média do sinal truncado na região de alargamento corresponderia ao valor do esforço, mesmo que o ensaio fosse realizado fora do centro da plataforma piezelétrica.

4. CONCLUSÕES

Medições de pequenos esforços podem sofrer impacto de diversas fontes de ruído. Dentre estas fontes, este trabalho observou o impacto do batimento da ferramenta, do *drift* do sinal, da frequência natural da bancada do sistema de medição, da rede elétrica e da distância do centro do furo alargado ao centro da plataforma piezelétrica. Esta última fonte de erro se mostrou a mais significativa sobre o sinal, pois amplifica o batimento da ferramenta criando um sinal aparente. Quando comparada ao momento de corte, a componente DC do sinal da força de avanço foi significativamente maior que as demais, demonstrando que o ruído é menos significativo para esta.

5. REFERÊNCIAS

- Narimani, R.; Mathew, P. Evaluation of Thrust Force and Cutting Torque in Reaming. 1th. ed. Sydney: Springer, 1996.
- Tavares, M.R.P.M., 2018, "Medição e modelagem dos esforços no alargamento de furos em ferro fundido GG25." [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina.
- Wang, Y.; Yang, X.; Xu, Q. Study on Cutting Force and Hole Quality of PCD Step Reamer for Reaming ZL102 Alloy in Dry and Wet Conditions. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 90, n. 5–8, p. 1693–1702, 2017.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

Machining Forces Measuring Errors Analysis in Reaming

Michel Reis Pedreira Muniz Tavares

Rolf Bertrand Schroeter

Universidade Federal de Santa Catarina

rolf.schroeter@ufsc.br

micheltavares86@gmail.com

Thaison Prando

Universidade Federal de Santa Catarina

thprando@gmail.com

Abstract. *The machining forces can be useful as intermediate variables in process models orientated to other variables, such as tool life and surface roughness, which are more desirable in the industry environment. In the reaming process, those forces can be small due to the also small machining cross section. As a consequence, the measuring system properties usually neglected in other process can have significance. In present work, it was performed reaming operations with a high speed steel tool with a 9 mm diameter right hand cut and left hand spiral in a GG25 cast iron piece. The machining forces were acquired with a piezoelectric platform. It was observed a low signal-noise ratio, which motivated an analysis of the measurement system with pieces with known masses, electrical installation noise observation, natural frequencies estimation and an evaluation of the influence of the distance between the center of the platform and center of the reamed hole. That last evaluation showed the most significant measurement error source, because it amplifies the effect of the tool eccentric, creating an apparent signal. Furthermore, it was observed that the combined impact from a low natural frequency system and the electrical installation is significant. Finally, it was concluded that the Torque is more suitable to the used measurement system than the Thrust.*

Keywords: Torque. Thrust. FFT. GG25 cast iron. Signal processing.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.