

## UMA ANÁLISE PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DE PROCESSOS DE USINAGEM DE BAIXO CUSTO

Walquiria Santana Vilela, walquiria.vilela93@gmail.com<sup>1</sup>

Carlos Henrique Lauro, carloslauro@ufsj.edu.br<sup>1,2</sup>

Robson Bruno Dutra Pereira, robsondutra@ufsj.edu.br<sup>1</sup>

Lincoln Cardoso Brandão, lincoln@ufsj.edu.br<sup>1</sup>

Diego Carou, diecapor@gmail.com<sup>3</sup>

J. Paulo Davim, pdavim@ua.pt<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Inovação em Manufatura Sustentável - Universidade Federal de São João del-Rei, Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João del-Rei, Minas Gerais

<sup>2</sup> Universidade de Aveiro, Campus Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal

<sup>3</sup> Universidade de Vigo, Circunvalación ao Campus Universitario, 36310 Vigo, Pontevedra, Espanha

**Resumo.** Cada vez mais, a manufatura de componentes vem ser preocupando com a redução de fenômenos que possam gerar aumento nos custos. Com o avanço da Indústria 4.0, uma empresa deve integrar suas linhas de fabricação, de modo a identificar os gargalhos e defeitos. Entretanto, isso não pode impactar no custo final dos produtos. Assim, este trabalho analisa as dificuldades no emprego de um sistema de monitoramento nos processos de usinagem que seja de baixo custo. O monitoramento por meio do sinal acústico apresentou-se como uma opção de baixo custo, podendo observar variações dos parâmetros. Porém, há grandes dificuldades a serem vencidas, como, por exemplo, os sons externos (conversas, batidas, entre outros).

**Palavras chave:** Indústria 4.0; Processo de monitoramento; Sinal acústico; Baixo custo.

**Abstract.** Increasingly, the manufacture of components is being concerned with the reduction of phenomena that may generate increased costs. With the advance of Industry 4.0, a company must integrate its manufacturing lines in order to identify the bottlenecks and defects. However, this cannot impact the final cost of the products. Thus, this paper analyzes the difficulties in the use of a monitoring system in machining processes that is low cost. The monitoring by means of the acoustic signal was presented as a low-cost option, and may observe variations in the parameters. However, there is great difficulty to be overcome, such as external sounds (conversations, beats, among others).

**Keywords:** Industry 4.0, Monitoring process; Acoustic signal, Low-cost.

### 1. INTRODUÇÃO

A indústria atual de manufatura é o principal setor em desenvolvimento de países emergentes. A fabricação de peças para automóveis, por exemplo, tem sido uma grande contribuinte para o Produto Interno Bruto (PIB) de países como Brasil, Índia e China. Atualmente, o grande avanço tecnológico permitiu que sistemas ciber-físicos impulsionassem o surgimento da Indústria 4.0, que é a automatização que interconecta estruturas de comunicação e computação com operações do mundo físico, ou seja, é a combinação de tecnologias que permitam inovações para diagnóstico remoto, operação e manutenção por um método econômico e eficiente (BALOG; KNAPČÍKOVÁ, 2020).

Segundo Ferreira e Guerra (2018), no contexto da indústria 4.0, a inteligência na manufatura fornece informações por diferentes meios conectados à diferentes sistemas para gerenciar o controle de qualidade, melhorando a análise e o produto; porém, requer, absolutamente, uma metrologia inteligente e em tempo real com comunicação on-line entre medição e a produção.

Segundo Cortés et al. (2018), os processos manufatureiros, para serem inteligentes, necessitam superar três desafios; uma rápida resposta, fornecendo informações valiosas e serem sustentáveis. Já Setiawan, Angela e Irawan (2018) ressaltam que no conceito da Indústria 4.0, empresas de manufatura obtém vantagens através do uso da Internet das Coisas (Internet of Things - IoT), que se relaciona à tecnologia da informação para ajudar a resolver problemas do setor.

Entre os processos de manufatura, os processos de usinagem possuem grande destaque por serem classificados como um processo primário, além de fornecer melhor exatidão dimensional e geométrica. Embora apresente vantagens em relação a outros processos, a usinagem é um processo extremamente condicionado a condição da ferramenta de corte, pois o desgaste da ferramenta resulta em maior consumo de energia, aumento do desperdício, entre outros. Assim, diversos

autores analisaram diversas técnicas para o monitoramento da condição de ferramenta (*Tool Condition Monitoring - TCM*) (LAURO *et al.*, 2014; TETI, 1995; TETI; RUBIO; SEGRETO, 2007)

Assim, este trabalho apresenta uma proposta de um sistema de identificação de falhas nos para processos de usinagem. O projeto, que pretende ser de baixo custo, utiliza diafragmas piezoelétricos montadas no suporte de ferramenta. As variações nas frequências monitoradas serão comparadas ao desgaste da ferramenta e a superfície usinada.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Hartmann e Candy (2014), sinais acústicos podem ser usados para obter informações úteis sobre as fontes desses sinais, que são claramente diferentes, mas também podem ser usadas de forma eficaz. Os problemas nos sinais acústicos podem resultar em paradigmas complexos e intrincados para a aquisição e processamento, especialmente em ambientes barulhentos, que às vezes podem ser considerados inadequados. A exclusividade oferecida é determinada pela forma como os sinais acústicos se propagam dentro do ambiente específico.

O termo processamento de sinal acústico, embora muitas vezes esteja ligado a etapas específicas num processo geral, pode abranger muitas etapas, como aquisição e pré-processamento dos dados, podendo haver muitos cruzamentos em cada uma das seções, dependendo dos tipos de sons acústicos (ALLWOOD *et al.*, 2019).

Khan *et al.* (2019) estabelece uma sequência de passos para estudar um sinal que podem ser descritos como:

- ✓ A transmissão é o primeiro passo, é a geração dos pulsos tendendo a uma onda senoidal de fácil modelagem da onda acústica, quando comparada a ondas triangulares ou quadradas.
- ✓ O segundo passo é a recepção, quando o sinal refletido é recebido pelo transdutor. Mas o sinal recebido, em escala de volts, é muito fraco e ruidoso e não pode ser processado, necessitando passar por alguns estágios diferentes. Os autores sugerem uma amplificação do sinal em dois estágios. porque o ganho necessário para amplificar o sinal é muito alto e não pode ser fornecido em um único estágio.
- ✓ O terceiro passo é a filtragem, geralmente com filtros variáveis, para remover os ruídos.
- ✓ O quarto passo é o processamento, onde os sinais analógicos são convertidos em sinais digitais.

Para a captura de sinais acústicos, na faixa acústica entre 20 Hz a 20 kHz, faixa audível, pode ser adquirida por microfones. Para a faixa de 0 a 10 Hz, sinais sísmicos, são usadas geofones. Já a faixa entre 20 kHz a 20 MHz, sinais ultrassônicos inaudíveis, pode ser medida com sensores de cristal piezoelétrico. (HARTMANN e CANDY, 2014).

A transformada rápida de Fourier (*Fast Fourier Transform - FFT*) é uma das técnicas de conversão mais comuns que fornece informações sobre todos os componentes de frequência de um sinal acústico. O principal problema com a realização de um *FFT* é que, na maioria das vezes, as informações do domínio são perdidas em a fim de obter os componentes de frequência (ALLWOOD *et al.*, 2019).

Na retificação, Viera *et al.* (2019) monitoraram a qualidade superficial com materiais cerâmicos usando diafragma piezoelétricos comparado a um sensor de emissão acústica. O diafragma piezoelétrico, que é de baixo custo, apresenta uma viabilidade de uso no monitoramento na retificação, os valores de coerência foram superiores a 80% confrontados com o sensor de emissão acústica.

## 3. METODOLOGIA

No desenvolvimento deste trabalho, corpos de prova de liga de magnésio UNS M11917 foram utilizados devido a elevada usinabilidade, reduzindo ruídos como o desgaste da ferramenta. Os corpos de prova foram confeccionados de forma a se obter o corte contínuo e interrompido, Figura 1a. Para os ensaios, foi utilizado o centro de torneamento da Kingsbury™ modelo MHP 50, com potência máxima de 18 kW e rotação máxima de 4500 rpm. A captura de áudio foi realizada por um microfone com impedância de 2.2 kΩ à 1 kHz, sensibilidade de -62 dB e frequência de resposta de 20 a 20.000 Hz posicionado próxima a ferramenta, Figura 1b, com uma taxa de amostragem de 128 kHz e resolução de 16 bits.

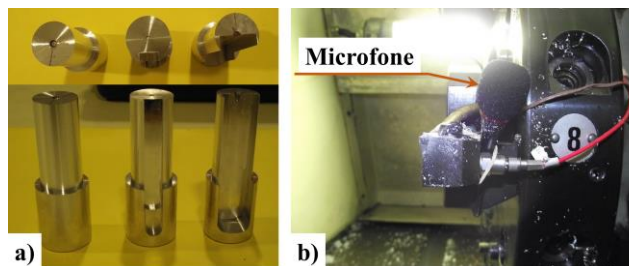


Figura 1. (a) Corpos de prova e (b) configuração dos ensaios.

Os parâmetros de corte foram fixados em velocidade de corte ( $v_c$ ) de 100 e 200 m/min, avanço de ( $f$ ) em 0,05, 0,10 e 0,20 mm/rot e profundidade de corte de ( $a_p$ ) em 0,25 mm e o inserto utilizado foi o TPGN 16 03 04 H13A da Sandvik Coromant™.

Durante o corte, foram produzidos barulhos adversos para observar a interferência desses no processo. Após a captura, os dados foram analisados em função do domínio do tempo. No domínio do tempo, foi comparada usando a raiz do valor médio (*Root Mean Square - RMS*). Por ser um estudo em andamento, nesta fase decidiu-se não aplicar filtros para compreender melhor o sinal adquirido.

#### 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A Figura 2 mostra um exemplo do sinal adquirido durante os ensaios. Observando o sinal adquirido, pode ser caracterizado por diferentes intervalos de tempo durante o processo: Intervalo a é caracterizado pelo acionamento do motor principal da máquina; Intervalo b é caracterizado pela aproximação da ferramenta; Intervalo c é caracterizado pelo corte; Intervalo d é caracterizado pelo fim de corte e o afastamento da ferramenta. Dentro do intervalo c, pode-se observar dois picos que resultam de som externos, marteladas na madeira, provocadas para observar as influências. Entretanto, quando realizada uma análise de variância da resposta em *RMS*, pode-se observar uma influência significativo do avanço e da velocidade de corte. Entretanto, esse último precisa ser melhor analisado, pois para o aumentar a velocidade de corte houve o aumento da rotação do motor.

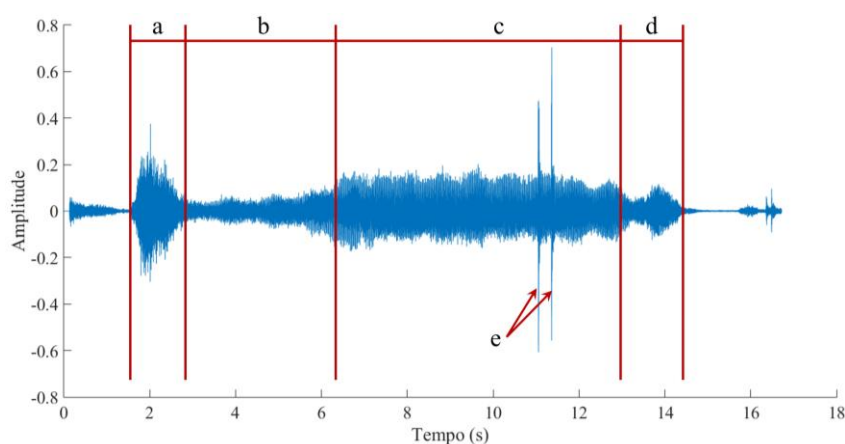


Figura 2. Classificação do sinal adquirido.

#### 4. CONCLUSÃO

O processo de monitoramento do sinal acústico usando um microfone pode trazer resultados promissores no monitoramento de um processo de usinagem. O processo pode permitir identificar anomalias durante o processo, como a entrada de parâmetros errados, por exemplo, desgaste anormal da ferramenta de corte e impedir o uso de ferramentas de corte inadequadas no início do processo. Entretanto, o processo ainda apresenta grandes lacunas para a aplicação em ambiente industrial, pois os sons externos interferem o sinal adquirido, como o ruído de outras máquinas em operação, por exemplo.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas (ABCM) pelo incentivo a pesquisa com a concessão de bolsa de Iniciação Científica.

#### 6. REFERÊNCIAS

- ALLWOOD, Gary *et al.* *Advances in Acoustic Signal Processing Techniques for Enhanced Bowel Sound Analysis*. **IEEE Reviews in Biomedical Engineering**. [S.l.]: Institute of Electrical and Electronics Engineers. , 2019
- BALOG, Michal; KNAPČÍKOVÁ, Lucia. Advances of intelligent techniques used in Industry 4.0: proposals and testing. **Wireless Networks** , 26 jun. 2019. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11276-019-02064-w>>. Acesso em: 30 set. 2019.
- CORTES, Daniel *et al.* *Integrated Product, Process and Manufacturing System Development*. jun. 2018, Stuttgart: IEEE, jun. 2018. p.1–9. 978-1-5386-1469-3. .
- FERREIRA, F.; GUERRA, H. The coordinate measuring machines, essential tools for quality control of dimensional and geometrical specifications of technical components, in the context of the industry 4.0. **Journal of Physics: Conference Series** v. 1044, n. 1, p. 012065 , jun. 2018. Disponível em: <<http://stacks.iop.org/1742-6596/1044/i=1/a=012065?key=crossref.71f075bbd44bdd7d8d05dca90a90d388>>. Acesso em: 30 set. 2019.

HARTMANN, William M.; CANDY, James V. Acoustic Signal Processing. **Springer Handbook of Acoustics**. New York, NY: Springer New York, 2014. p. 519–563. Disponível em: <[http://link.springer.com/10.1007/978-1-4939-0755-7\\_14](http://link.springer.com/10.1007/978-1-4939-0755-7_14)>. Acesso em: 28 out. 2020. 978-1-4939-0755-7.

KHAN, Shahid Aziz *et al.* Microcontroller based acoustic signal processing. 1 nov. 2019, [S.l.]: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 1 nov. 2019. p.443–447. 9781728137872. .

LAURO, C.H. *et al.* Monitoring And Processing Signal Applied In Machining Processes – A Review. **Measurement** v. 58, p. 73–86 , ago. 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224114003546>>. Acesso em: 9 set. 2014.

SETIAWAN, Ari; ANGELA, Dina; IRAWAN, Billy. Modelling of Cutting Tool Condition Monitoring System (CTCMS) to support industry 4.0. **MATEC Web of Conferences** v. 204, p. 02012 , set. 2018.

TETI, R. A Review of tool condition monitoring literature data base. **Annals of the CIRP** v. 44, n. 2, p. 659–666 , 1995.

TETI, R.; RUBIO, E.M.; SEGRETO, T. A Review of Tool Condition Monitoring Literature Data Base: 1996 – 2006. 2007, Dresden, Germany: [s.n.], 2007.

VIERA, Martin A. A. *et al.* A Time–Frequency Acoustic Emission-Based Technique to Assess Workpiece Surface Quality in Ceramic Grinding with PZT Transducer. **Sensors** v. 19, n. 18, p. 3913 , 11 set. 2019. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/19/18/3913>>. Acesso em: 28 out. 2020.

## 7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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