

A INFLUÊNCIA DA DETERMINAÇÃO DE LIMIAR A SER APLICADO NA MÉTRICA “COUNTS” NO ESTUDO DO PROCESSO DE DRESSAGEM

Thiago Glissoi Lopes, thiago.glissoi@unesp.br¹
Wenderson Nascimento Lopes, wenderson.lopes@ifpa.edu.br²
Felipe Aparecido Alexandre, felipe.alexandre@unesp.br¹
Rodrigo Sanches Rodrigues, rodrigo@unilins.edu.br¹
Pedro Cerri Giroto, pedrogirotolive@hotmail.com¹
Paulo Roberto de Aguiar, paulo.aguiar@unesp.br¹
Eduardo Carlos Bianchi, bianchi@feb.unesp.br³

¹Departamento de Engenharia Elétrica, UNESP, Av. Eng. Luiz E. C. Coube, 14-01, CEP: 17033-360, Bauru, SP.

²Instituto Federal do Pará - IFPA, Campus Parauapebas, Rodovia PA 275, s/n, CEP: 68515-000, Parauapebas, PA.

³Departamento de Engenharia Mecânica, UNESP, Av. Eng. Luiz E. C. Coube, 14-01, CEP: 17033-360, Bauru, SP.

Resumo. A dressagem é uma operação importante para o processo de retificação. Seu objetivo é recondicionar o rebolo, restaurando as condições de corte perdidas no contato entre a superfície abrasiva do rebolo e a superfície da peça após sucessivos passes de retificação. O monitoramento indireto do processo de dressagem tem sido estudado, e resultados foram obtidos, acerca da determinação do momento em que o rebolo está dressado, através da utilização da métrica “Counts” em sinais de emissão acústica filtrados em uma banda específica. A utilização da métrica “Counts” requer que um limiar seja estabelecido no sinal. Este trabalho propõe estudar, dentro de uma faixa de limiares, quais são os apropriados para serem utilizados pela métrica “Counts” na determinação do momento em que o rebolo está dressado. Ensaios de dressagem foram realizados, nos quais os sinais brutos de EA foram coletados a uma taxa de amostragem de 2 MHz. Estes sinais foram então filtrados a uma faixa específica de frequência, e a métrica “Counts” foi aplicada com diferentes limiares. Os resultados demonstraram a existência de limiares que melhor caracterizam o processo de dressagem.

Palavras chave: Dressagem. Processamento Digital de Sinais. Análise estatística. Emissão Acústica. Monitoramento.

1. INTRODUÇÃO

O monitoramento indireto de diferentes processos tem sido um recorrente tema de pesquisa (Junior et al., 2018). Para tal, análises estatísticas realizadas por meio de processamento digital de sinais obtidos do processo monitorado em tempo real são aplicadas (Moia et al., 2015). Por meio dessas análises, diversas informações relacionadas às condições a cada momento do processo são obtidas. Nesse contexto, destaca-se a análise denominada “Counts”, onde, nesta métrica, um limiar na amplitude do sinal é definido, e é mensurada a quantidade de vezes que o sinal ultrapassa esse limiar. Essa análise pode ser utilizada na quantificação de atividade acústica de um determinado sinal, possibilitando a detecção de anomalias existentes no mesmo, conforme empregado por Daddona et al., (2018). Outra aplicação, estudada por Nascimento Lopes et al., (2017), propôs um método de monitoramento que faz uso da métrica “Counts” em conjunto com análise de espectros de frequência dos sinais de emissão acústica para a determinação do momento correto em que se deve interromper um processo de dressagem.

A correta definição do limiar na amplitude do sinal, conforme visto nos resultados obtidos por Nascimento Lopes et al., (2017), tornou possível, através da métrica Counts, a determinação de condições desejadas do processo. No trabalho de Nascimento Lopes et al., (2017) o método do disco retificado proposto por Nakayama et al., (1980), e adaptado por Coelho, (1991) é utilizado para quantificar a capacidade de corte do rebolo, chamada também de agressividade. Essa técnica é utilizada para definir se o rebolo se encontra ou não em condições adequadas de corte para ser usado na retificação.

O processo de retificação é um importante processo encontrado na indústria, fornecendo a peça usinada o acabamento final (Moia, 2012). A dressagem é uma operação muito importante para alcançar estes objetivos, fornecendo ao rebolo o recondicionamento necessário para restaurar as condições abrasivas ideais para o processo de remoção de material (Diniz et al., 2013). Um slogan comum utilizado pela comunidade de retificação é: “Retificação é Dressagem” (Wegener et al., 2011). Pesquisadores da área coletam sinais de emissão acústicas e utilizam técnicas de processamento digital de sinais, como filtros digitais, para isolar informações referente: (1) a máquinas; (2) a peça de trabalho e (3) a ferramenta de corte, nesse caso o rebolo.

Utilizando um filtro passa-banda digital em um sinal de emissão acústica, conforme resultados obtidos por Alexandre

et al., (2018), torna-se possível filtrar frequências não relacionadas ao processo estudado. Possibilitando ainda a aplicação com sucesso de ferramentas estatísticas na análise de parâmetros do processo de retificação e da operação de dressagem.

A dressagem está diretamente relacionado à largura do dressador (b_d), a qual aumenta em resposta ao desgaste na ferramenta de diamante utilizada. Esta variável deve ser corretamente mensurada objetivando a obtenção da correta capacidade de corte no rebolo. Como mencionado por Hassui e Diniz, (2003), o parâmetro denominado grau de recobrimento (U_d) é obtido pela Eq. (1).

$$U_d = \frac{b_d}{S_d} \quad (1)$$

onde S_d é o avanço axial do dressador por revolução, ou passo de dressagem.

Geralmente, a operação de dressagem dos rebolos convencionais é realizada com um dressador de ponta única, o qual se destaca como sendo a ferramenta mais simples e de menor custo utilizada para este fim (Marinescu, 2016).

Este trabalho propõe o estudo para escolher o melhor limiar a ser utilizado para computar a métrica "Counts" em sinais de emissão acústica filtrados em uma faixa de frequência que melhor caracteriza a operação de dressagem de rebolos de óxido de alumínio com dressador de ponta única. Esta pesquisa é uma continuação do trabalho desenvolvido por Nascimento Lopes et al., (2017), que escolhe empiricamente o limiar utilizado para computar a métrica "Counts". No presente trabalho, vários limiares são utilizados para computar a métrica "Counts", com vistas a indicar a melhor faixa, que contém limiares a serem utilizados na obtenção de resultados confiáveis e definir quando o rebolo se encontra reconicionado para a retificação, o que não foi abordado no trabalho de Nascimento Lopes et al., (2017).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Banco de Ensaios e Procedimentos de Ensaios

O ensaio de dressagem consistiu de 31 passes ao longo da largura da superfície de corte do rebolo. Utilizou-se um dressador de ponta única do tipo diamante CVD (*Chemical Vapour Deposition*), sendo a profundidade de dressagem igual a 10 μm . Neste experimento, um rebolo de óxido de alumínio, modelo 38A150LVH com dimensões de 355.6 mm x 25.4 mm x 127 mm (especificações de dureza, grão, flange e vitrificação), da empresa NORTON, foi utilizado. Antes da realização dos ensaios, o rebolo foi desgastado e empastado a partir da retificação de peças de aço ABNT 1020 em uma retificadora tangencial plana, modelo RAPH 1055, da empresa Sulmecânica. O sistema de aquisição de dados fez uso do osciloscópio de modelo DL850, da empresa Yokogawa, para adquirir dados obtidos pelo sensor de emissão acústica (EA) acoplado a um condicionador de sinal modelo Sensis DM-42. O aparato experimental de dressagem foi montado em uma retificadora tangencial plana, modelo RAPH 1055, da empresa Sulmecânica, com o sensor de emissão acústica fixado no suporte do dressador, objetivando a detecção das ondas acústicas. Os sinais de emissão acústica foram amostrados a uma frequência de 2 MHz no intervalo de 5 segundos em que ocorreu cada passo de dressagem.

Neste ensaio, usando o método do disco retificado proposto por Nakayama et al., (1980) e adaptado por Coelho, (1991), a agressividade do rebolo foi medida em três momentos: (1) após o primeiro passe de dressagem; (2) após o decimo passe de dressagem e, por fim, (3) após o trigésimo primeiro passe de dressagem. O volume de material removido do rebolo foi estimado pela diferença de diâmetro, assim como no trabalho de Nascimento Lopes et al., (2017).

2.2. Processamento Digital de Sinais

Os sinais de emissão acústica coletados durante o processo de dressagem foram posteriormente filtrados de forma digital na faixa de frequência entre 25 – 33 kHz, utilizando-se um filtro passa-banda do tipo *Butterworth* de ordem 30 implementado no Matlab®. A seleção desta faixa deu-se seguindo o método utilizado com sucesso por Nascimento Lopes et al., (2017), na qual o espectro de frequência de sinais adquiridos no início, meio e fim do processo são analisados em busca de regiões de interesse. Os sinais de dressagem foram avaliados, de forma posterior a aplicação do filtro, por meio da métrica "Counts" em diferentes limiares. Os limiares foram definidos, imediatamente a partir do ruído, de intensidade 0,0008121V, conforme a Tab. 1.

Tabela 1. Limiares escolhidos para o estudo

Limiares Escolhidos	Primeiro Limiar	Segundo Limiar	Terceiro Limiar	Quarto Limiar	Quinto Limiar	Sexto Limiar
Amplitude do Limiar (V)	0,001	0,007	0,013	0,025	0,050	0,1

Essa estatística foi computada em blocos de 2048 amostras, que corresponde a aproximadamente 1 milissegundo, como indicado por Webster et al., (1996) em seus estudos de monitoramento do processo de retificação. Um filtro digital passa-baixa, do tipo *Butterworth* e de ordem 1, foi empregado em uma frequência de corte de 10 Hz após a aplicação da

métrica "Counts" com o objetivo de minimizar os ruídos para análise.

Após cada passe de dressagem, um vetor contendo aproximadamente cinco mil amostras foi obtido. Após os 31 vetores terem sido obtidos e filtrados na faixa de frequência especificada, uma matriz de dados foi construída. Esta matriz de dados foi utilizada para gerar um gráfico tridimensional, para cada limiar utilizado pela métrica "Counts", no qual o eixo das abscissas representa o tempo de dressagem, o eixo das ordenadas representa o número de passes de dressagem, e o eixo perpendicular a ambos representa o número de contagens (Counts).

3. RESULTADOS

Os valores de agressividade do rebolo após o primeiro, o decimo e trigésimo passe de dressagem são mostrados na Fig. 1 (c) onde também pode ser observado o volume de material removido do rebolo ao longo da operação de dressagem. Os valores aproximados de agressividade do rebolo após o primeiro e decimo passe de dressagem são, respectivamente, $0,30 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{s}$ e $2,76 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{s}$, o que equivale a um aumento de 820 % na agressividade para, aproximadamente, 10 cm^3 de material removido do rebolo. Por outro lado, para o trigésimo passe de dressagem, o valor aproximado da agressividade do rebolo é de $2,85 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{s}$ para aproximadamente 30 cm^3 de material removido do rebolo. Tomando como base o valor de agressividade medida após o decimo passe de dressagem, o aumento da agressividade do rebolo após o triplo de material removido do mesmo é de apenas 3,3 %, sendo este insignificante quando comparado com o aumento da agressividade do rebolo para os 10 (dez) primeiros passes de dressagem. Isso significa que a agressividade do rebolo é restabelecida após a remoção de 10 cm^3 de material. Esse resultado é similar aos de Nascimento Lopes et al., (2017).

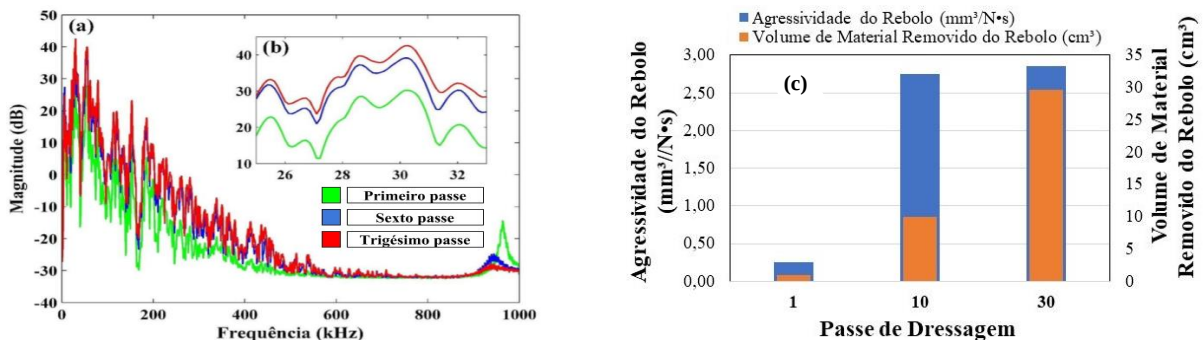


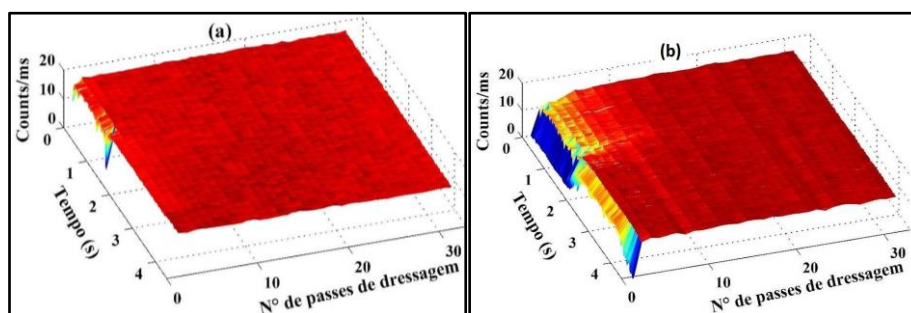
Figura 1. (a) e (b) Espectro de frequência para o 1º, 6º e 30º passes de dressagem, (c) Agressividade e volume de material removido do rebolo em função dos passes de dressagem

Na Fig. 1 (a), é possível analisar o espectro de frequência das passadas 1, 6 e 30. O primeiro passe de dressagem indica a condição de rebolo não dressado. O sexto passe de dressagem indica uma condição intermediária, onde o rebolo está sendo dressado, porém, ainda não alcançou o condicionamento necessário. O trigésimo passe de dressagem indica a condição desejada, de rebolo condicionado (dressado).

Demonstra-se na Fig. 1 (b), a faixa de frequências entre 25 – 33 kHz. Conforme pode ser observado nos espectros em questão, nesta região, a variação frequência x ganho condiz com os resultados obtidos por Alexandre et al., (2018) e por Nascimento Lopes et al., (2017), nos quais a utilização de um filtro passa-banda em uma faixa de frequências específicas possibilitou a determinação de características dos processos estudados.

Através do processamento digital de sinais via Matlab®, em análises realizadas no primeiro, sexto e trigésimos passes de dressagem filtrados na faixa de frequência de 25 -33 kHz, foi possível identificar o pico do ruído como tendo o valor de 0,0008121V. Os limiares escolhidos para aplicação no Counts encontram-se na faixa de amplitudes de 0,001V a 0,1V.

O resultado obtido após a utilização da métrica "Counts", para cada passe de dressagem, é apresentado na Fig. 2 (a) para o limiar de 0,001V, na Fig. 2 (b) para o limiar de 0,025V, na Fig. 2 (c) para o limiar de 0,05V e na Fig. 2 (d) para o limiar de 0,1V.



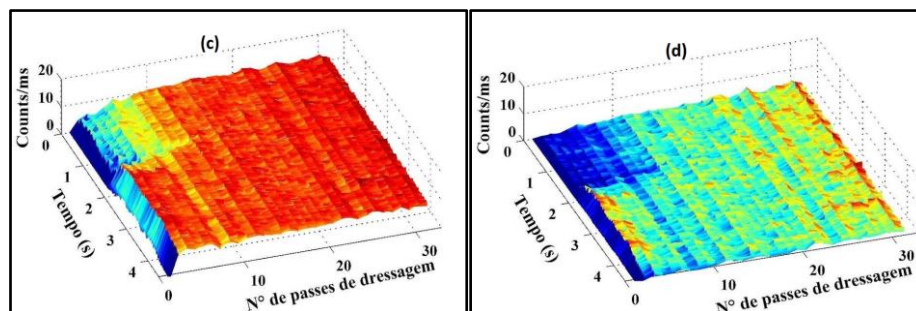


Figura 2. (a) "Counts" para o limiar de 0001V (b) "Counts" para o limiar de 0,025V, (c) "Counts" para o limiar de 0,05V, (d) "Counts" para o limiar de 0,1V.

Sendo possível observar que, para o 1º limiar, não foi possível identificar tal relação com a métrica "Counts". Este comportamento é explicado pela proximidade de tal limiar do ruído.

Para os 2º, 3º e 4º limiares escolhidos, o comportamento dos "Counts" ao longo dos nº de passes de dressagem condiz com os resultados obtidos por Nascimento Lopes et al., (2017), na determinação do momento em que o rebolo está dressado, como sendo o passe nº 10. Sendo possível observar que, no 4º limiar, uma melhor caracterização é obtida com a passada de nº 10 apresentando um resultado de "Counts/ms" com crescimento uniforme ao longo de todo o período de dressagem.

Para uma profundidade de dressagem de 10µm, o número de 10 passes de dressagem condiciona o rebolo para a retificação. Esse número foi definido nos trabalhos de Moia et al., (2015) e Nascimento Lopes et al., (2017). Para os 5º limiar, a identificação em relação ao 10º passe ficou comprometida; não sendo possível claramente distinguir, em número de "Counts" ao longo do 10º passe de dressagem.

A avaliação do 6º limiar expõe que, escolhendo um valor de 0,1V para ser aplicado na métrica "Counts", não é possível obter resultados condizentes com a identificação no 10º passe, sendo o número de "Counts/ms".

4. CONCLUSÃO

Após a aplicação das ferramentas de processamento digital de sinais, como filtros digitais e a métrica "Counts" na avaliação de diferentes limiares, tornou-se possível a obtenção de resultados que demonstram a existência de faixas de limiares, a serem aplicados na métrica "Counts" em sinais filtrados em bandas específicas, relacionadas diretamente a certas condições do processo de dressagem. Verificou-se que a métrica "Counts", quando escolhido um limiar apropriado em um sinal filtrado em uma faixa de frequências específicas, pode ser utilizada para determinar o melhor momento (em número de passes de dressagem) de interrupção da operação de dressagem, analisando-a em qualquer momento do período (em segundos) de dressagem. A faixa que contém os limiares que se demonstraram apropriados abrange desde aproximadamente nove vezes a amplitude do ruído, até aproximadamente vinte e sete vezes a amplitude do ruído, sendo este último identificado como o que apresenta uma melhor caracterização. O método apresentado neste trabalho contribui para o aprimoramento da automatização da operação de dressagem e para a otimização do processo de retificação. No entanto, os resultados apresentados foram somente validados em condições experimentais e através das ferramentas utilizadas neste trabalho. Por esta razão, estudos futuros são necessários com vista a validar este método para diferentes condições de dressagem e outras faixas de frequências.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Norton Abrasivos Ltda., do grupo Saint-Gobain, pela doação dos rebolos e a Quimatic Tapmatic do Brasil pela doação do fluido de corte. Também agradecem a CAPES e CNPq pelo suporte financeiro.

6. REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, Felipe et al. Emitter-Receiver Piezoelectric Transducers Applied in Monitoring Material Removal of Workpiece during Grinding Process. *Proceedings*, v. 4, n. 1, p. 9, 14 nov. 2018.
- COELHO, R.T. Estudo Experimental da Profundidade de Dressagem de Rebolos na Retificação de Precisão Usando o Método do Disco Retificado. 1991. Universidade de São Paulo, 1991.
- DADDONA, Dorian M. et al. Tool Condition Monitoring of Single-point Dressing Operation by Digital Signal Processing of AE and AI. *Procedia CIRP*, v. 67, p. 307–312, 2018.
- DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. *Tecnologia da Usinagem dos Materiais*. [S.l: s.n.], 2013.

- HASSUI, A.; DINIZ, A. E. Correlating surface roughness and vibration on plunge cylindrical grinding of steel. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, v. 43, n. 8, p. 855–862, 2003.
- JUNIOR, Pedro et al. Dressing Tool Condition Monitoring through Impedance-Based Sensors: Part 1—PZT Diaphragm Transducer Response and EMI Sensing Technique. *Sensors*, v. 18, n. 12, p. 4455, 16 dez. 2018.
- MARINESCU, Ioan D. *Handbook of Machining with Grinding Wheels*, Second Edition. [S.l.]: CRC Press, 2016.
- MOIA, D. F.G. et al. Tool condition monitoring of aluminum oxide grinding wheel in dressing operation using acoustic emission and neural networks. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, v. 37, n. 2, p. 627–640, 21 mar. 2015.
- MOIA, DANIELA FERNANDA GRIZZO. Aplicação de Redes Neurais Artificiais no Monitoramento da Operação de Dressagem. *Aleph*, p. 119, 6 jul. 2012.
- NAKAYAMA, Kazuo et al. Sharpness Evaluation of Grinding Wheel Face by the Grinding of Steel Ball. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, v. 29, n. 1, p. 227–231, 1980.
- NASCIMENTO LOPES, Wenderson et al. Digital signal processing of acoustic emission signals using power spectral density and counts statistic applied to single-point dressing operation. *IET Science, Measurement & Technology*, v. 11, n. 5, p. 631–636, 1 ago. 2017.
- WEBSTER, J.; DONG, W. P.; LINDSAY, R. Raw Acoustic Emission Signal Analysis of Grinding Process. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, v. 45, n. 1, p. 335–340, 1996.
- WEGENER, K. et al. Conditioning and monitoring of grinding wheels. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, v. 60, n. 2, p. 757–777, 2011.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

THE INFLUENCE OF THE THRESHOLD APPLIED IN THE “COUNTS” METRIC IN THE STUDY OF THE DRESSING PROCESS

Thiago Glisoi Lopes, thiago.glisoi@unesp.br¹
Wenderson Nascimento Lopes, wenderson.lopes@ifpa.edu.br²
Felipe Aparecido Alexandre, felipe.alexandre@unesp.br¹
Rodrigo Sanches Rodrigues, rodrigo@unilins.edu.br¹
Pedro Cerri Giroto, pedrogirotolive@hotmail.com¹
Paulo Roberto de Aguiar, paulo.aguiar@unesp.br¹
Eduardo Carlos Bianchi, bianchi@feb.unesp.br³

¹Departament of Electrical Engineering, São Paulo State University - UNESP, Av. Eng. Luiz E. C. Coube, 14-01, CEP: 17033-360, Bauru, SP.

²Department of Control and automation Engineering, Instituto Federal do Pará - IFPA, Rodovia PA 275, s/n, CEP: 68515-000, Parauapebas, PA.

³Departament of Mechanical Engineering, São Paulo State University -UNESP, Av. Eng. Luiz E. C. Coube, 14-01, CEP: 17033-360, Bauru, SP.

Abstract. Dressing is an important operation for the grinding process. Its purpose is to expose the abrasive grains of the grinding wheel, restoring its cutting potential, which was worn during the contact between the grinding wheel surface and the workpiece surface after successive grinding passes. The indirect monitoring of the dressing process has been studied, the results allow the determination of the moment when the grinding wheel is completely dressed, the "Counts" metric on acoustic emission signals filtered in a specific frequency band has been presented as a good alternative in the process monitoring. The "Counts" metric requires the establishment of a threshold in the signal. This work proposes to study which thresholds are the most appropriate to be used by the "Counts" metric in the determination of the moment when the grinding wheel is fully dressed. Dressing tests were performed, in which the raw AE signals were collected at a sampling rate of 2 MHz. These signals were then filtered in a frequency band, and the "Counts" metric was applied with different thresholds. The results demonstrated the existence of thresholds that best characterize the dressing process.

Keywords: Dressing. Digital Signal Processing. Statistical Analysis. Acoustic Emission. Monitoring.