

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE BROCAS REVESTIDAS E COM REFRIGERAÇÃO INTERNA NA USINAGEM DO AÇO SAE-8620

Bernardo de Oliveira Jakitsch, bejakitsch@hotmail.com¹

Luís Henrique Andrade Maia, luis.maia@pucminas.br¹

Laís Marino Brandão Pinto, laismbp@gmail.com¹

Jánes Landre Junior, janes@pucminas.br¹

Luís Felipe Prates Donato, luisfelipegbi@hotmail.com¹

¹Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Av: Dom José Gaspar, 500 - Belo Horizonte - MG 30535-901

Resumo: A indústria metal mecânica, em virtude do mercado vigente, busca melhores resultados para os seus investimentos, e com isso têm incentivado cada vez mais o desenvolvimento dos processos de fabricação, principalmente a modernização das máquinas operatrizes e a constante evolução das ferramentas de corte, conseguindo-se assim uma redução nos custos de fabricação, aumento na qualidade dos produtos, maior durabilidade na vida útil da ferramenta. Em decorrência dessa constante evolução, se propôs um estudo sobre o desempenho de brocas helicoidais, avaliando o desgaste máximo de flanco ($V_b \text{ máx}$) e monitoramento indireto da emissão acústica (EA) para avaliar características de corte do aço SAE-8620.

Palavras-chave: Emissão Acústica, Desgaste de Ferramenta, Furação, Refrigeração interna, Revestimento

1. INTRODUÇÃO

Considerando a necessidade de um modelo produtivo mais sustentável e econômico, opta-se por investimentos em técnicas que proporcionem um ganho de desempenho de todo o ferramental adotado. Sendo a usinagem o método de fabricação mais difundido no ambiente fabril, passa-se a analisar com maior critério a escolha da combinação material-ferramenta, parâmetros de corte e técnicas de monitoramento.

Sendo a furação um dos processos de usinagem mais antigos e um dos mais utilizados na fabricação de componentes mecânicos, nota-se pouca evolução no entendimento dos processos de desgaste de brocas, com exceção dos últimos anos, em que a utilização de recobrimento de brocas helicoidais com materiais mais resistentes cresceu, afinal esse processo propicia às brocas propriedades desejadas para ferramentas de corte, tais como: resistência ao desgaste, baixa afinidade química, resistência à alta temperatura de usinagem, entre outros.

Devido às vantagens que essas propriedades trazem para as ferramentas, seu estudo torna-se uma das prioridades para os pesquisadores dos processos de fabricação que visam aprimoramentos que proporcionam redução considerável de custos, por exemplo, com o aumento da vida útil do ferramental utilizado.

2. OBJETIVOS

Define-se como objetivo a avaliação, através da análise do sinal de emissão acústica, dos mecanismos de desgastes atuantes durante o processo de furação do aço SAE-8620, do desgaste da ferramenta quanto ao número de furos, e da qualidade superficial da região usinada. Dessa forma, espera-se verificar a influência dos parâmetros de corte no comportamento dos sinais monitorados e na qualidade da superfície.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Castillo (2005), os trabalhos realizados por furação com brocas consistem em usinar cavidades cilíndricas internas de tipos variados a fim de atender alguma finalidade exigida por projeto. O processo de furação é responsável por 75% do volume de material removido na usinagem de cavidades.

Diniz *et al* (2006) retrataram que o desgaste acontece na superfície de folga da broca (ferramenta), causado pelo contato direto entre peça e ferramenta. A Fig. 1 demonstra em detalhe o desgaste médio VB e o máximo VBmax nos flancos de uma broca. A medição pode ser realizada com microscópio de ferramentaria com aumento de 10 a 50 vezes.

Mesmo quando houver deformação plástica ou desgaste do gume, ou seja, retração do mesmo, a marca de desgaste deve ser medida em relação à posição original do gume considerado, sendo necessária a utilização de uma referência.

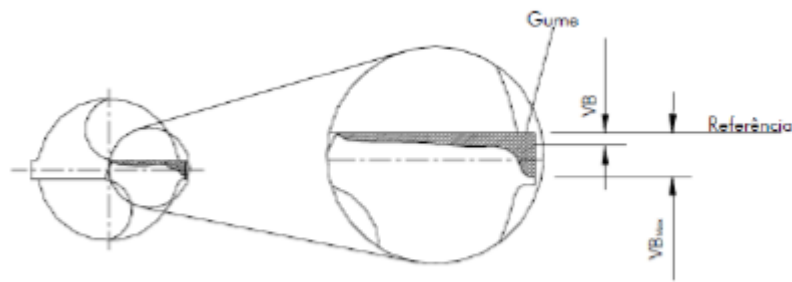


Figura 1. Localização do desgaste de flanco de acordo com Diniz (1982).

Castillon (2005) fala que as brocas com escoamento interno são constituídas por canais que atravessam a broca no sentido longitudinal tendo por objetivo permitir a injeção de fluido em alta pressão na região de corte, o que promove a retirada de cavacos, impedindo que estes venham a obstruir a saída do furo e causar danos à sua superfície interna. A haste deste tipo de broca pode apresentar forma cilíndrica ou cônica. As brocas com haste cilíndrica são adequadas para executar furos profundos em metais de dureza elevada e as brocas com hastes cônicas são utilizadas em furacão normal ou quando há dificuldade de acesso do fluido à região do corte.

Segundo Machado *et al* (2009), a rugosidade média (R_a) expressa o desvio médio dos valores absolutos das ordenadas do perfil efetivo em relação a linha média, num comprimento de amostragem. O parâmetro R_a fornece informações do perfil de uma forma geral, não refletindo um valor isolado, e é aplicado quando o controle da rugosidade é contínuo nas linhas de produção quando a superfície apresenta sulcos bem orientados e para fins estéticos. Ainda segundo os autores, a rugosidade média (R_z) também conhecida como parâmetro, é obtida com o total das duas médias entre: os cinco picos mais altos e os cinco vales mais profundos, ambos referenciados pela linha média. Deve ser usado em casos em que pontos isolados não tenham influência na função da peça a ser controlada. Já a rugosidade total (R_t) mede a distância entre o pico mais alto e o vale mais profundo no comprimento de avaliação a partir da linha média. Aplicado em superfícies de vedação, superfícies dinamicamente carregadas e superfícies de deslizamento onde o perfil efetivo é periódico.

Baranov *et al* (2007) relatam que a emissão acústica pode ser conceituada como a radiação de ondas elásticas mecânicas geradas em um material devido a reorganização local em sua estrutura interna, podendo ocorrer tanto em escala micro, nas movimentações internas da estrutura, ou na macro, com falhas na montagem ou erros de projeto. Ao efetuar uma ação que deforme o material, excitando-o, por consequência, ele libera ondas de emissão acústica que podem ser coletadas por meio de um sistema de aquisição adequado para a aplicação desejada, em que a sensibilidade do sistema para essa coleta é um dos parâmetros essenciais para seu dimensionamento ideal.

Maia (2013) retrata que um fenômeno que ocorre em uma rede cristalina tende a parecer contínuo em monitoramento, porém, na verdade é um conjunto de eventos unitários que em série configuram tal continuidade. O evento unitário em si não representa um fenômeno tão significativo, complicando a identificação ou coleta do evento. Entretanto, com uma grande sequência de eventos unitários, o efeito sobre o estado energético do sólido passa a ser considerável, e parte da energia que é liberada (quando liberada) é por meio das emissões acústicas. O autor ainda explica que as emissões acústicas são ondas vibracionais que tem como característica o deslocamento na velocidade do som (o que está relacionado com o nome dessas ondas) e são emitidas pelo material durante o seu processo de rearranjo da rede cristalina após uma deformação. E para a coleta dos sinais das emissões acústicas utilizam-se sensores piezelétricos capazes de converter as ondas de natureza mecânica em sinais elétricos que são identificados e captados por um sistema de aquisição de dados.

Assim como descrito por Lédeczi *et al* (2009), existem várias fontes de emissão acústica em aços, por exemplo os seguintes fenômenos: abertura, crescimento e fechamento de trincas, maclação, união de lacunas, movimento de discordâncias, mudança de fase, entre outros.

Hase *et al* (2012) efetuaram estudos que relacionam os sinais de EA e suas propriedades com os mecanismos de desgaste que eventualmente atuam nos materiais. A Fig. 2 demonstra esses estudos feitos com a representação de um gráfico onde constam as bandas de frequência e valores de amplitude de tensão coletados dos sinais de EA de cada mecanismo de desgaste. Hase *et al* (2012) ainda afirma que cada mecanismo gera EA com espectro de frequência característico, e que este apresenta independência em relação à natureza dos materiais, mas dependência em relação à natureza do fenômeno.

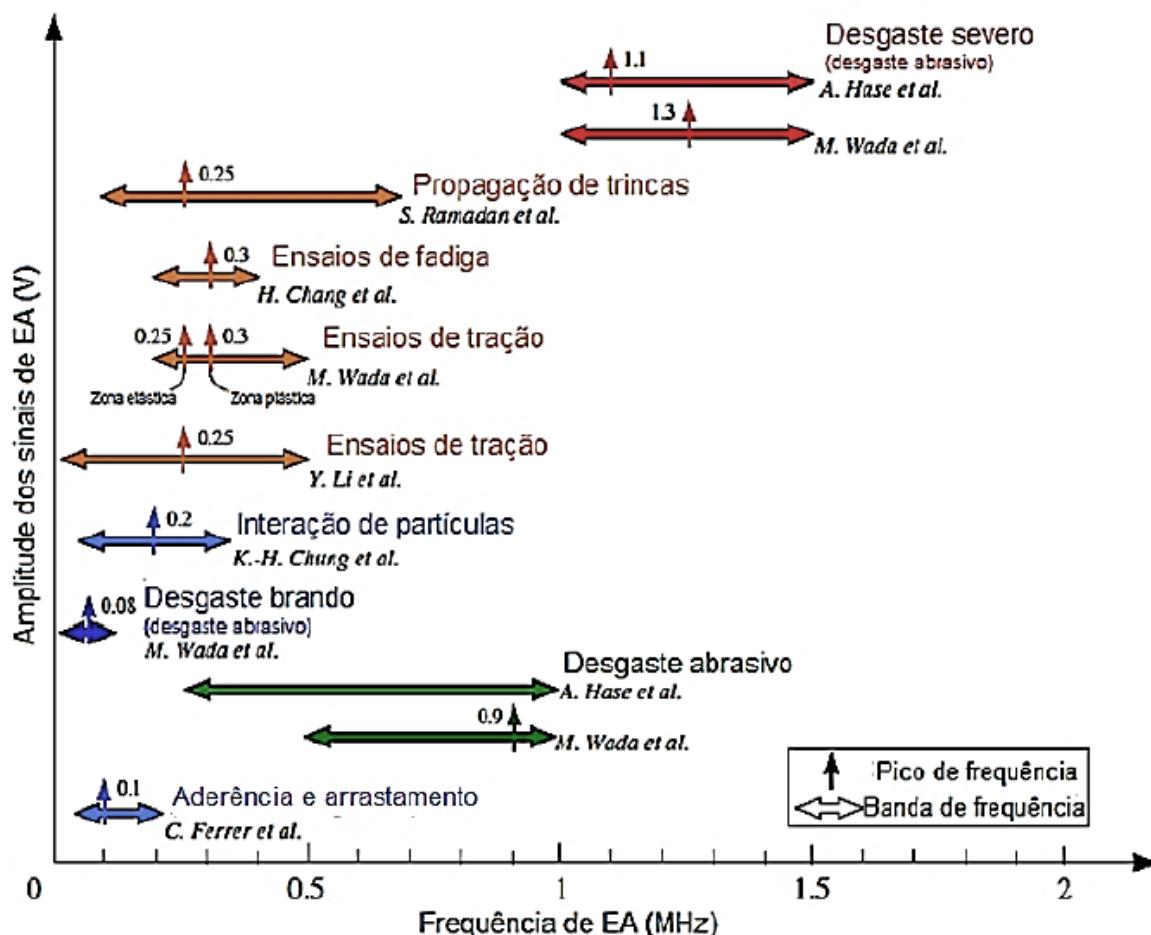


Figura 2. Mapa que relaciona espectro de frequência de EA para cada fenômeno por Maia (2013).

Maia (2013) retrata duas vantagens que corroboram para a preferência pela técnica de monitoramento por EA: o fato dos valores das frequências dos sinais serem maiores que 10 kHz, o que normalmente está acima de muitos ruídos provenientes, por exemplo, de interferências, e a versatilidade da técnica por poder ser utilizada de várias formas e equipamentos.

4. METODOLOGIA

Divide-se a metodologia em 3 partes distintas: equipamentos, materiais e processos, a fim de facilitar o entendimento das práticas realizadas.

4.1. Equipamentos

Para a realização dos testes utilizou-se um centro de usinagem CNC Romi Discovery 560, com comando numérico modelo Sinumerik 810D de fabricação da Siemens, com potência máxima de 12,5cv e com velocidades entre 7 a 10000 rpm no eixo árvore.

O sinal de emissão acústica foi coletado com a utilização de um sensor piezelétrico da Physical Acoustics, modelo R15i, com condicionador de sinais fabricado pela Sensis modelo DM42, conectado a uma placa da National Instruments PCI6251, com taxa máxima de aquisição de 1.2MS/s.

Para o monitoramento do desgaste de flanco das brocas utilizou-se um microscópio ótico com aproximação de quinze vezes da marca Mitutoyo modelo Toolmaker's Microscope TM 15 com cabeçote micrométrico de resolução mínima de 1µm. Para a medição de rugosidade utilizou-se um perfilômetro de contato da marca Taylor Hobson modelo Surtronic com um cut-off de 0,8mm. Para cada furo que foi medido o desgaste, media-se a rugosidade.

4.2. Materiais

O material de teste foi o aço SAE 8620, segundo Chiaverini (1982) normalmente utilizado em componentes mecânicos como pinos guia, anéis de engrenagem, eixos comando, pinos, pinhões e engrenagens em geral. Este aço é fornecido com concentração de carbono entre 0,17 a 0,23% e possui silício, manganês, níquel, cromo e molibdênio.

Adotou-se para os testes um conjunto de 6 brocas de aço rápido de fabricação da OSG. As brocas possuem núcleo de aço rápido, sendo metade com revestimento de Nitreto de Titânio (TiN) e a segunda fração revestida de nitreto de titânio alumínio (TiAlN).

4.3. Processos e parâmetros

Os corpos de prova foram preparados conforme exibido na Fig. 3, em que efetuou-se furos dispersos. Fixou-se o sensor na parte lateral a fim de coletar o sinal de emissão acústica.

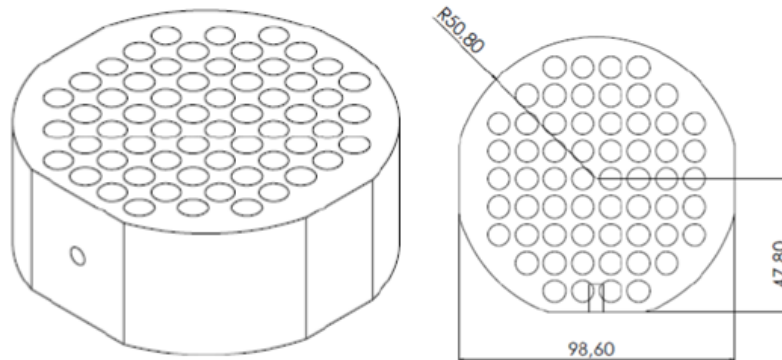


Figura 3. Corpos de prova preparados com os furos dispersos para o experimento.

A Tabela 1 apresenta os parâmetros de corte adotados nos testes, o critério de teste adotado foi o de 1 hora teste ou desgaste de flanco de 0,6 mm.

Tabela 1. Parâmetros de corte

Velocidade de Corte (m/min)	Rotação (Rpm)	Passo (mm/rev)
30	1194	0,05
60	2387	
251,2	10000	

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Segregam-se os resultados de acordo com a velocidade de corte adotada durante os testes.

5.1. Velocidade de corte de 30 m/min

Dada a condição analisada, a broca revestida de nitreto de Titânio efetuou 200 furos, completando assim 1 hora teste, com desgaste de flanco total de 0,398 mm. A Figura 4 apresenta a relação entre os parâmetros analisados pela evolução do desgaste de flanco, em (a) observa-se dispersão das rugosidades analisadas e em (b) exibe-se a relação entre o desgaste de flanco e o RMS. Os pontos destacados em (b) representam variações significativas no sinal de emissão acústica.

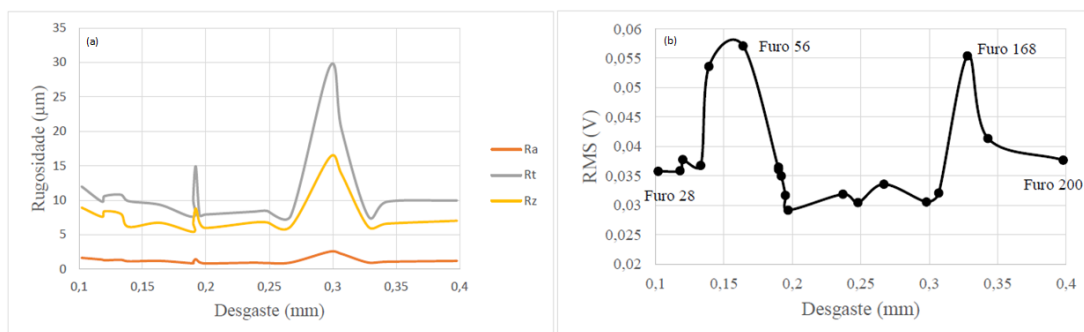


Figura 4. Resultados dos furos a Vc de 30 m/min com broca TiN.

Utilizando a STFT do sinal nos pontos destacados em (b) obtém-se as frequências excitadas durante a furação. O primeiro ponto analisado (furo 28) apresentou frequências características de desgaste por adesão de material

(aproximadamente 100kHz). Nos furos 56 registrou-se uma continuidade nas frequências de desgaste por abrasão (300kHz), tendo de maneira intervaladas incidências de desgaste por adesão. Os furos 168 e 200 apresentaram características semelhantes ao 28, entretanto, as frequências de abrasão no 168 elevaram o valor do RMS neste ponto.

De maneira semelhante, analisa-se os resultados para a broca revestida de Nitreto de titânio Alumínio, que efetuou 80 furos e 0,605mm de desgaste de flanco total. A Figura 5 apresenta os resultados obtidos de forma análoga a condição anterior, em (a) a evolução do acabamento superficial e em (b) o comportamento do RMS do sinal de emissão acústica.

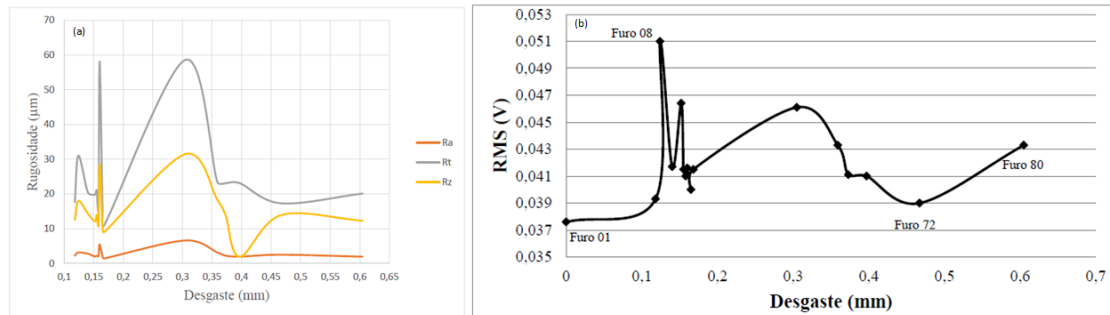


Figura 5. Resultados dos furos a Vc de 30 m/min com broca TiAlN.

No primeiro ponto destacado em (b), furo 01, observou-se a predominância das frequências de adesão e araste de material. Nota-se para o furo 72 que, dentre os pontos de análise, apresentou maior caracterização das frequências de desgaste por abrasão, fator de desgaste que apresentou sensível queda na análise do furo 80. A Figura 6 apresenta a STFT do furo 72, em (a) exibe-se as frequências de arraste, (b) as de desgaste por adesão e em (c) a baixa incidência de abrasividade.

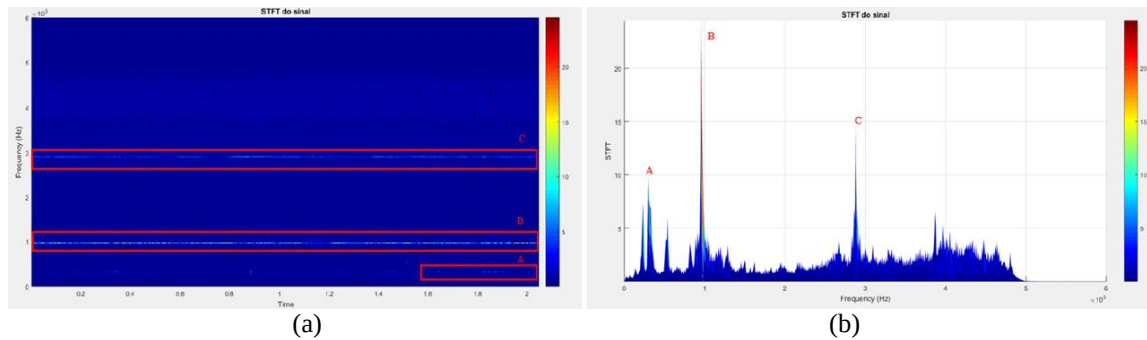


Figura 6. STFT do furo 72 a Vc de 30 m/min com broca TiAlN.

5.2. Velocidade de corte de 60 m/min

Submetendo a broca revestida TiN a condição proposta, efetuou-se um total de 104 furos e atingindo desgaste de flanco de 0,649, finalizando o teste. A Figura 7 apresenta em (a) o comportamento da rugosidade no decorrer do teste e em (b) o RMS do sinal coletado.

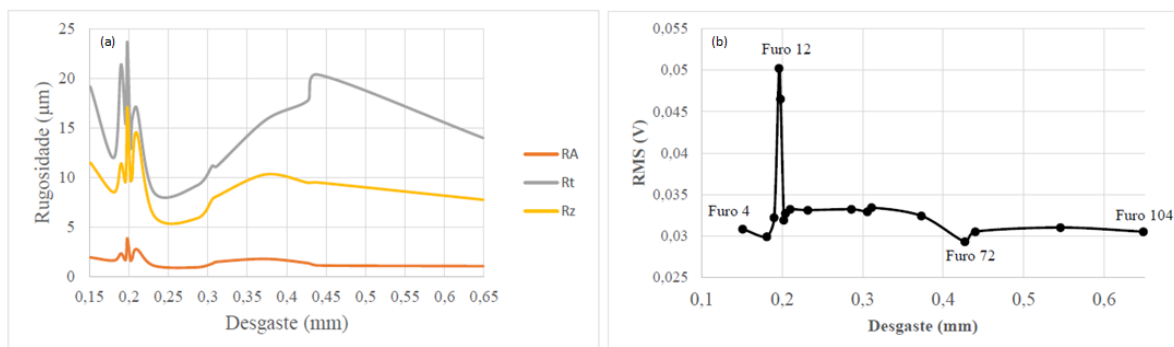


Figura 7. Resultados dos furos a Vc de 60 m/min com broca TiN.

Analisando detalhadamente os pontos de (b), observa-se a frequências de deformação plástica e adesão de material presentes no furo 04 e uma baixa incidência de abrasividade em pontos dispersos no intervalo coletado, condição exibida na Fig. 8, com (a) sendo a região de plasticidade e adesão de material e (b) as frequências de abrasividade.

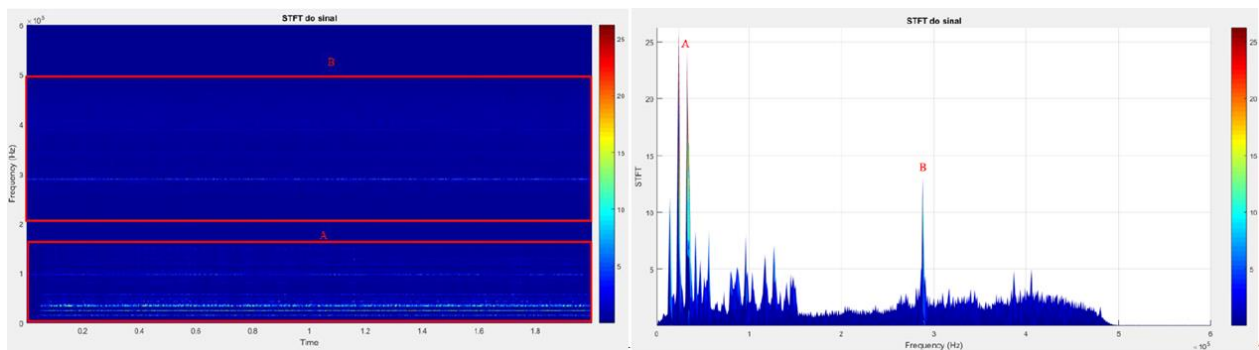


Figura 8. STFT do furo 04 a Vc de 60 m/min com broca TiN.

Usinando com a broca de TiAl, efetuou-se um total de 64 furos atingindo o critério de fim de teste ao registrar-se um desgaste de flanco de 0,643mm, apresentando os resultados da Fig. 9.

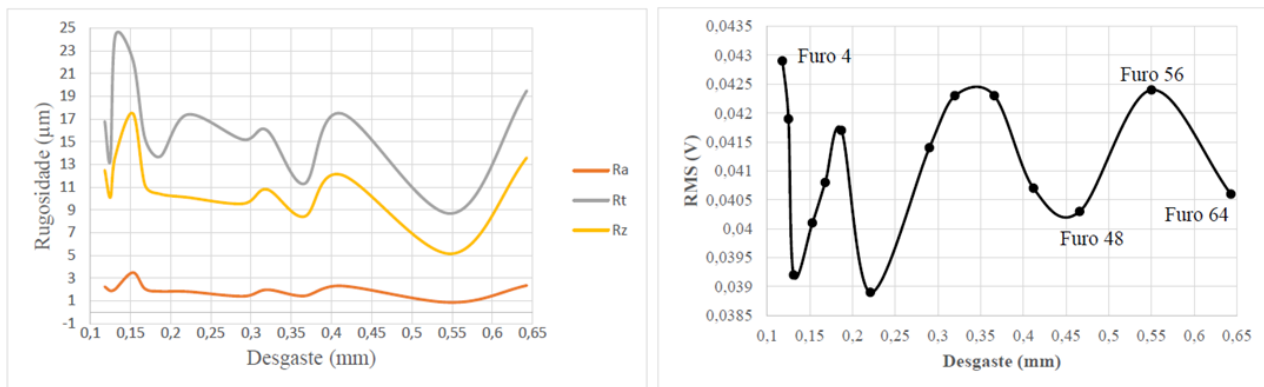


Figura 9. Resultados dos furos a Vc de 60 m/min com broca TiAl.

Divergindo dos demais casos, a correlação entre o RMS e as rugosidades não ficou evidente no ponto referente ao furo 56, tal fenômeno pode estar relacionado a influência da temperatura no sinal de EA.

5.3. Velocidade de corte de 251,2 m/min

De maneira análoga a apresentada anteriormente, efetua-se o teste com broca de TiN na condição de máxima rotação do equipamento (10.000 rpm), o que implica na velocidade de corte de 251,2 m/min. A Figura 10 apresenta os resultados obtidos para a condição especificada.

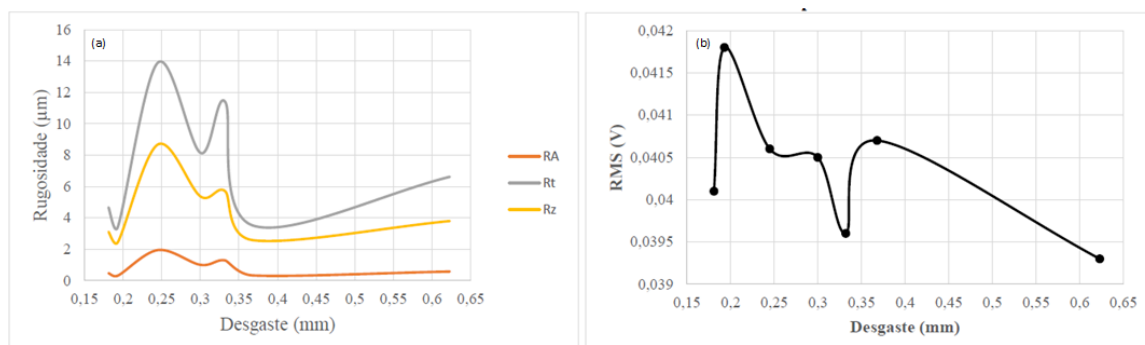


Figura 10. Resultados dos furos a Vc de 251,2 m/min com broca TiN.

A análise do sinal apresentou uma sensível mudança quanto aos mecanismos atuantes, conforme visualizado na Fig. 11, as frequências de abrasividade destacam-se desde o início dos testes, reduzindo a vida da ferramenta.

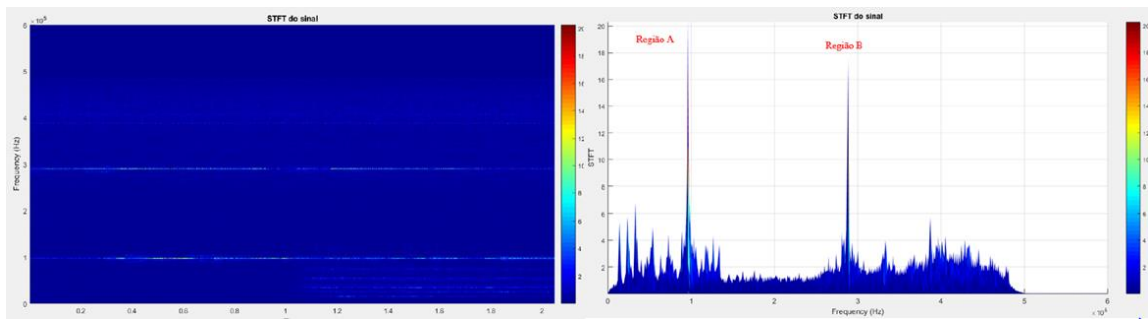


Figura 11. STFT do furo 04 a Vc de 251,2 m/min com broca TiN.

A Figura 12 exibe o resultado dos testes com revestimento de TiAlN a 251,2 m/min, efetuando um total de 40 furos e atingindo critério de fim de teste com desgaste de flanco de 0,689 mm.

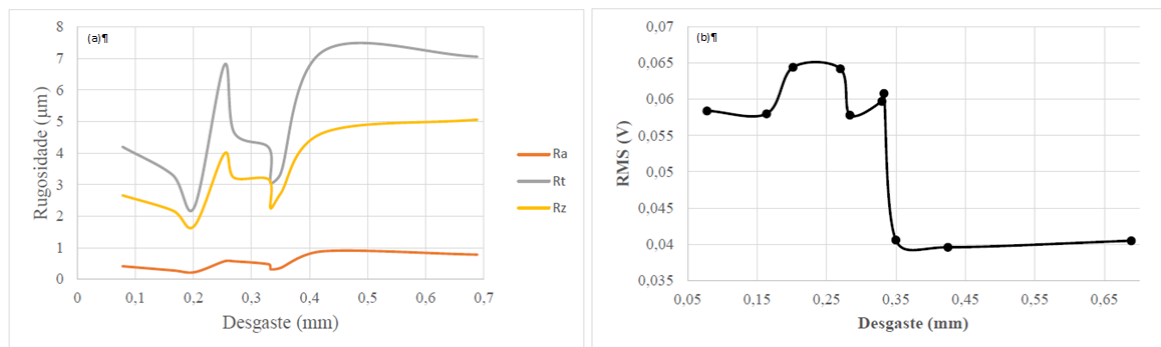


Figura 12. Resultados dos furos a Vc de 251,2 m/min com broca TiAlN.

A maior divergência entre os demais testes com as brocas de TiAlN está na composição do sinal, uma vez que conforme exibido na Fig. 13, registrou-se um grande número de fenômenos nas frequências referentes a deformação elástica, plástica e desgaste adesivo.

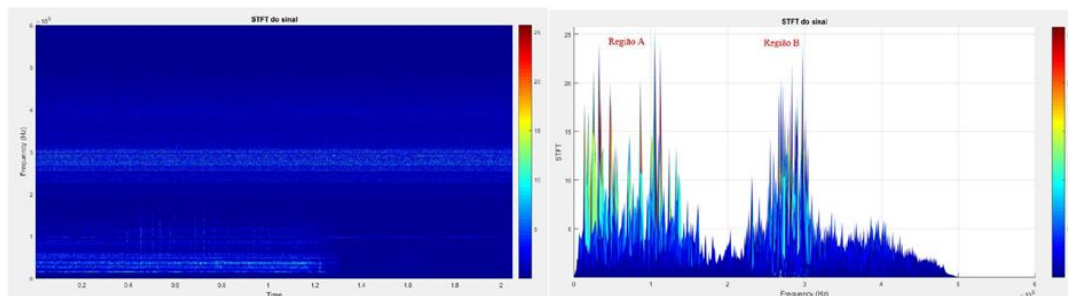


Figura 13. STFT do furo 01 a Vc de 251,2 m/min com broca TiAlN.

6. CONCLUSÃO

Quanto a relação do sinal de emissão acústica com o acabamento, infere-se uma notável paridade entre as curvas na maioria dos casos, mesmo que não exista uma relação quantitativa suficientemente robusta para gerar uma comparação robusta.

Conforme apresentado, o desgaste pode ser monitorado de maneira satisfatória com o RMS do sinal, mesmo que alguns parâmetros, como o aumento da temperatura, afetem esse sinal.

Quanto as brocas analisadas, observou-se que para condições de usinagem mais brandas (30 e 60 m/min), as brocas revestidas com nitreto de titânio (TiN) obtiveram menores valores, em média, de Ra, isto se deu devido ao coeficiente de atrito menor no par.

Em condições de usinagem consideradas severas (251,2 m/min), as brocas revestidas com nitreto de titânio e alumínio (TiAlN), apresentaram menores valores, em média, de Ra. Isto se deu pela presença do óxido de alumínio em temperaturas mais elevadas (>800°C), aumentando assim a dureza da ferramenta.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, FAPEMIG e VALE.

8. REFERÊNCIAS

- Baranov, V.M., Kudryavtsev, E., Sarychev, G. and Schavelin, V., 2007, "Acoustic emission in friction", Ed. Oxford: Elsevier.
- Castillo, W., 2005, "Furação profunda do ferro fundido cinzento GG25 com brocas de metal duro com canais retos", Dissertação de Mestrado UFSC, Florianópolis.
- Chiaverini, V., 1982, "Aços e Ferros Fundidos", Ed. ABM, São Paulo.
- Diniz, A., Marcondes, F. and Coppini, N., 2013, "Tecnologia da Usinagem dos Materiais", Ed. Artliber, 8a. edição, São Paulo.
- Ferraresi, D., 1970, "Usinagem dos metais". São Paulo: Edgard Blucher.
- Hase, A., Mishina, H. and Wada, M., 2012, "Correlation Between Features of Acoustic Emission Signals and Mechanical Wear Mechanisms", Wear, v.292-293, p.144-150.
- Lédeczi, A., Hay, T., Völgyesi, P., Hay, D.R., Nádas, A. and Jayaraman, S., 2009, "Wireless Acoustic Emission Sensor Network for Structural Monitoring", IEEE Sensor Journal, v.9, p.1370-1377.
- Machado, A.R. and Silva, M.B., 2004, "Usinagem dos Materiais", Universidade Federal de Uberlândia, 8a. edição.
- Maia, L.H.A., 2015, "Avaliação de desempenho de recobrimentos em ferramentas de metal duro no torneamento do aço ABNT4340 temperado por meio de sinais de emissão acústica", tese de Doutorado.
- Maia, L.H.A., Abrão, A.M., Vasconcelos, W.L., Sales, W.F. and Machado, A.R., 2015, "A new approach for detection of wear mechanisms and determination of tool life in turning using acoustic emission", Elsevier Ltd.
- Martins, P.S., 2008, "Avaliação dos sistemas de fixação hidráulico e térmico de broca de metal duro em furação do cabeçote do motor fire", Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

9. RESPONSABILIDADE AUTORAL

"O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste trabalho".

PERFORMANCE ANALYSIS OF COATED AND INTERNALLY REFRIGERATED DRILLS IN SAE-8620 STEEL MACHINING

Bernardo de Oliveira Jakitsch, bejakitsch@hotmail.com¹

Luís Henrique Andrade Maia, luis.maia@pucminas.br¹

Laís Marino Brandão Pinto, laismbp@gmail.com¹

Jánes Landre Junior, janes@pucminas.br¹

Luís Felipe Prates Donato, luisfelipegbi@hotmail.com¹

¹Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Av: Dom José Gaspar, 500 - Belo Horizonte - MG 30535-901

Abstract. The metalworking industry, due to the current market, seeks better results for their investments, and with this they have increasingly encouraged the development of manufacturing processes, especially the modernization of the machine tools and the constant evolution of cutting tools, achieving thereby reducing manufacturing costs, increasing product quality, longer tool life. As a result of this constant evolution, a study on the performance of helical drills was evaluated, evaluating the maximum flank wear (V_{bmax}) and indirect acoustic emission (SA) monitoring to evaluate SAE-8620 steel cutting characteristics.

Keywords: Acoustic Emission, Tool Wear, Drilling, Internal Cooling, Coating