

VERIFICAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE RUÍDO PRODUZIDO E DESGASTE DE INSERTOS EM TORNOS CNC ATRAVÉS DE ENSAIOS EM LABORATÓRIO E MONITORAMENTO NA INDÚSTRIA

Araken Namorato

Gray Farias Moita

Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação

CEFET-MG

Av. Amazonas, 7675 – Nova Gameleira

30430-290, Belo Horizonte – MG

E-mails: araken@fiemg.com.br, gray@dppg.cefetmg.br

Resumo. Um dos maiores problemas que o operador de máquinas a CNC enfrenta durante um processo de usinagem, está relacionado com o modo como é feito o controle do desgaste do inserto. Isto se dá pelo fato de não haver um procedimento confiável, preciso e que não interrompa a usinagem. Esta deficiência tem gerado grandes prejuízos às indústrias deste setor. Acredita-se ser possível detectar que um inserto está trabalhando em condições desfavoráveis através da percepção do operador (experiência) em conseguir distinguir um ruído específico emitido durante o processo de usinagem, que caracteriza um inserto com excessivo nível de desgaste. Questiona-se realmente se existe uma relação entre ruído e desgaste ou se trata de uma crença infundada. Neste trabalho, é apresentada, de forma comparativa, a relação entre o ruído emitido durante o processo de usinagem e o desgaste da ferramenta de metal duro utilizada no processo. Os resultados indicam que muitos fatores interferem no processo de usinagem e que o ruído reage a cada variação destes fatores. Entretanto, os ensaios realizados confirmam a possibilidade da existência de uma relação entre desgaste e ruído dentro de um processo de usinagem em tornearia.

Palavras-chaves: monitoramento, desgaste de ferramentas, ruído.

1. INTRODUÇÃO

Os processos de usinagem passaram nestes últimos anos por profundas mudanças visando, principalmente, o aumento da produtividade e a garantia da qualidade. Isto tem sido conseguido por meio da automação dos processos. Mas, para que se tenha um processo de usinagem totalmente automatizado, é necessário o uso de sistemas de monitoramento que possam estabelecer o momento de troca da ferramenta em tempo real e realizar automaticamente esta troca. Segundo Abrão (2003), atualmente as estratégias mais utilizadas no Brasil para determinar o momento de troca da ferramenta são baseadas em dados estatísticos. Mas, segundo Diniz e Marcondes (2000), o grau de complexidade e a imprevisibilidade do processo de usinagem fazem com que a dispersão da vida da ferramenta seja muito grande. Portanto, muitas ferramentas são trocadas ainda em condições de serem utilizadas, acarretando o aumento do consumo de ferramentas e maiores tempos de parada de máquinas. Então, o uso de sistemas de monitoramento poderá ser muito importante para otimizar a vida da ferramenta, diminuindo o custo de produção.

Milan et al (2000) indica a equação Geral de Taylor como adequada para estabelecer critério de fim de vida em sistemas que admitem um número menor de variáveis. Por outro lado, segundo Santos et al (2002), para o processo de corte contínuo, as equações de Taylor têm conduzido a bons resultados. Entretanto não se pode dizer o mesmo com relação ao processo de

torneamento/fresamento, para o qual foram detectados erros de até 40% na previsão da vida da ferramenta.

De acordo com Matsumoto e Diniz (1998), os fatores que determinam a fixação de um determinado valor limite de desgaste para o fim da vida da ferramenta são vários. As ocorrências citadas a seguir (que são as motivações mais freqüentes para o fim da vida da ferramenta) são muito difíceis de serem detectadas no meio industrial, em que, geralmente, o estabelecimento do fim da vida da ferramenta fica a cargo do operador, que, normalmente, não dispõe de dispositivos de controle adequados. Assim, o fim da vida da ferramenta poderá ser definido como abaixo:

- Em operações de desbaste, por não ser necessária a obtenção de tolerâncias apertadas e bons acabamentos superficiais, a ferramenta é levada a trabalhar no limite, onde os desgastes atingem proporções tão elevadas que se receia a quebra da aresta de corte;
- Nas operações de acabamento, devido ao desgaste da superfície de folga da ferramenta, não é mais possível a obtenção de tolerâncias apertadas e/ou de bons acabamentos superficiais da peça.

Segundo Diniz e Marcondes (2000), em operações de desbaste, em que se toleram altos valores de desgaste, o operador, por temer a quebra da ferramenta, com seus efeitos danosos, costuma trocá-la bem antes, com valores de desgaste bastante inferiores àqueles que poderiam provocar tal avaria. A solução para este problema está em realizar monitoramento indireto do desgaste da ferramenta e/ou em treinar o operador a fim de que ele tenha mais subsídios para poder decidir o momento de troca da ferramenta. Pires e Diniz (1996) realizaram um trabalho em uma fábrica de usinagem média e pesada no qual verificaram, em um levantamento inicial, que cerca de 68% das arestas de pastilhas de torneamento utilizadas eram trocadas antes (e, às vezes, bem antes) do momento adequado.

Abrão e Aspinwall (1996) descrevem a existência de vários métodos de monitoramento do processo de usinagem. Segundo eles, estes métodos são normalmente divididos em dois grandes grupos: monitoramento direto, em que a grandeza estudada é medida diretamente, e monitoramento indireto, em que um outro parâmetro é medido e relacionado com o parâmetro estudado para a tomada de decisão. Como principais métodos diretos, são citados a análise de partículas e de radioatividade, as medidas ópticas, a resistência elétrica da junção peça/ferramenta, as mudanças dimensionais da peça e a distância peça/ferramenta.

Dentre os métodos de monitoramento indireto, incluem-se as medidas da força de corte, do som, da vibração, da temperatura de corte e da rugosidade. Portela (2000) indica também como forma de monitoramento os parâmetros elétricos do motor e da emissão acústica.

As principais características de um bom sistema de monitoramento, ainda segundo Abrão e Aspinwall (1996), são: revelar confiabilidade; ter baixo custo; mostrar simplicidade; suportar o ambiente industrial; não ser influenciado por ruídos externos; ter o parâmetro medido dependente somente do que se quer monitorar; possibilitar tempo de resposta; ser pouco intrusivo, ou seja, o sensor não deve interferir na operação de usinagem.

Geralmente, os métodos indiretos são de emprego mais fácil, pois a instrumentação é mais simples, de menor custo e menos intrusivo do que nos métodos diretos.

Independentemente do método utilizado, não temos ainda um procedimento que seja totalmente confiável e eficaz. Desta forma várias pesquisas estão sendo realizadas na busca de uma solução para o controle de fim de vida do inserto.

Pretendemos, através deste trabalho:

- determinar a relação entre o ruído emitido e o desgaste da ferramenta durante o processo de usinagem;
- verificar a possibilidade de se desenvolver um sistema de monitoramento capaz de identificar o momento da troca da ferramenta por desgaste excessivo ou quebra através do monitoramento do ruído;
- verificar a capacidade do operador em detectar o momento do desgaste excessivo ou quebra do inserto, baseado no ruído emitido no momento da usinagem.

2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Com o objetivo de avaliar a percepção do operador e verificar a relação existente entre desgaste do inserto e o ruído emitido durante o processo de usinagem em operação de torneamento, realizamos três ensaios em laboratório e dois ensaios na indústria, que serão descritos a seguir.

2.1. Ensaios Realizados em Laboratório

2.1.1. Descrição e Resultados Obtidos

Os ensaios em laboratório foram realizados com o objetivo de verificar como o desgaste da ferramenta e o ruído emitido se relacionam, em função da velocidade de corte. Utilizamos os mesmos parâmetros de corte, inserto, material a ser usinado e freqüência de medição. Variamos apenas a velocidade de corte. Estes ensaios foram realizados introduzindo um medidor de pressão sonora (decibelímetro) no interior do torno CNC, acoplado ao analisador de freqüência, com a finalidade de monitorar o nível de ruído emitido durante a usinagem. Foi fixada a freqüência audível de 1000HZ, sem a preocupação de isolar os ruídos, visando captar os ruídos perceptíveis pelo ouvido humano.

Não foi usado fluido refrigerante, com o propósito de aumentar o atrito e a adesão entre ferramenta e peça, visando a elevação da carga térmica envolvida no processo. Segundo Nakagawa (2000), isso provoca aumentos significativos no desgaste da ferramenta.

As velocidades de corte foram definidas em função do limite estipulado pelo fabricante do inserto. Utilizamos 03 barras de aço inoxidável de 60 mm de diâmetro e 145 mm de comprimento por ensaio. Realizamos o monitoramento do ruído emitido durante todo o processo, objetivando detectar o nível do ruído no momento do desgaste excessivo ou quebra do inserto.

Bonifácio e Diniz (1994) afirmam que quando se utilizam ferramentas de metal duro nas operações de desbastes de muitos materiais, percebe-se que a quebra se dá para valores de VB (desgaste de flanco) de 0,8 a 1,5 mm. Em operações de acabamento, a ferramenta deve ser retirada muito antes de o desgaste atingir valores que ponham em risco a aresta de corte, a fim de não comprometer a precisão da peça e seu acabamento superficial. Entretanto, para facilitar a realização dos ensaios, adotamos como critério de fim de vida a quebra da ferramenta.

Para a realização dos ensaios foram utilizados:

- Equipamentos: Torno CNC EMCO modelo TURN 342; Decibelímetro Quest Model 2900, Tridimensional Ótica Mitutoyo modelo QV404;
- Ferramenta de corte: DCMT 3-1 SMIC907;
- Corpo de prova: peças cilíndricas de aço inoxidável 304;
- Parâmetros de corte: Avanço $f = 0,25$ mm/volta; Profundidade de Usinagem $ap = 0,75$ mm; Velocidades de Corte de 200, 250 e 300 m/min.

As medições realizadas são mostradas na Tab. (1), na qual são relacionadas para cada velocidade de corte o tempo de usinagem e o ruído produzido. Os valores finais destacados na tabela, correspondem ao tempo de vida e ruído emitido no momento da quebra da ferramenta.

Na Tab. (2) pode ser visualizada uma síntese dos resultados obtidos para cada ensaio, bem como o tipo de desbaste ocorrido.

2.1.2. Análise dos Resultados

A Tab. (1) aponta o crescimento do desgaste do inserto e a redução do tempo de vida de forma drástica a partir do aumento da velocidade de corte. Percebe-se, assim, que ao longo da usinagem, o ruído emitido mantém-se praticamente constante, até o momento da quebra da ferramenta. Neste momento o ruído aumenta consideravelmente. Verifica-se pela Tabela (2), que o aumento da velocidade de corte implica na mudança da forma de desgaste produzido. O nível do desgaste apresentado em cada ensaio mostrou-se coerente com a ordem de grandeza dos desgastes apresentado por Bonifácio e Diniz (1994).

Tabela 1. Relação do ruído em função do tempo de usinagem e velocidade de corte

Vc = 200 m/min		Vc = 250 m/min		Vc = 300 m/min	
Tempo (min)	Ruído (dB)	Tempo (min)	Ruído (dB)	Tempo (min)	Ruído (dB)
01	85,0	01	91,0	01	87,0
03	87,0	03	90,0	03	94,0
05	90,0	05	90,5	3,25	97,0
10	90,0	07	91,5	-	-
15	91,0	7,35	94,0	-	-
17	91,0	7,5	99,0	-	-
20	98,0	-	-	-	-

Tabela 2. Relação entre velocidade de corte, tempo de vida, desgaste e ruído

Ensaio	Velocidade de Corte (m/min)	Tempo de Vida (min)	Ruído Médio (dB)	Ruído Máximo (dB)	Desgaste (mm)	Foto do inserto (Tipo do desgaste ocorrido)
1	200	20	91	98,0	0,787	
2	250	7,5	91	99,0	0,977	
3	300	3,25	91	97,0	1,055	

2.2. Ensaios Realizados na Indústria

2.2.1. Descrição e Resultados Obtidos

Com o objetivo de avaliar a percepção do operador e verificar a relação existente entre o desgaste do inserto e o ruído emitido, durante o processo de usinagem em operação de torneamento, dentro de um ambiente industrial, foram realizados dois ensaios semelhantes, porém com dois operadores diferentes, utilizando os recursos apresentados a abaixo:

- Equipamentos: Torno CNC ROMI modelo COSMO 10UR; Decibelímetro Quest Model 2900, Tridimensional Ótica Mitutoyo modelo QV404;
- Ferramenta de corte: TNMG160404;
- Material usinado: Eixo superior do FIAT-UNO e Eixo superior do FIORINO ambos de aço SAE 1035;
- Parâmetros de corte: Avanço $f = 0,25$ mm/volta;
- Tempo de usinagem por peça = 29 segundos;
- Produção por hora = 103 peças;
- Solúvel = plac 3020 concentração 5%.

O processo de usinagem foi conduzido pelos operadores e o ruído emitido monitorado pelo decibelímetro. Os operadores foram orientados para indicarem o momento do desgaste excessivo ou quebra da ferramenta de corte, pela percepção do ruído. É importante ressaltar que o ensaio foi realizado sem interferir na rotina de produção.

Através da leitura do ruído emitido durante todo o processo de usinagem, foi possível perceber a evolução do ruído em relação ao desgaste da ferramenta e avaliar a eficiência da percepção do operador. Foi adotado como critério de fim de vida da ferramenta: quebra da ferramenta ou medidas fora da tolerância especificada pelo programador demandada pelo cliente.

Para o Ensaio 1, foram utilizadas 290 peças e foi medido o nível de ruído ao longo do processo de usinagem, conforme pode ser visto na Tab. (3).

Tabela 3. Relação do ruído emitido durante a realização do Ensaio 1

Peça	Ruído dB(A)	Peça	Ruído dB(A)	Peça	Ruído dB(A)
01	89,0	110	91,0	220	91,0
05	89,0	120	91,0	225	91,0
10	89,0	130	91,0	230	91,0
20	89,0	135	92,0	235	91,0
30	90,0	140	92,0	240	92,0
40	90,0	150	91,0	245	91,0
50	90,0	160	91,0	250	92,0
60	90,0	170	91,0	255	92,0
70	90,0	180	91,0	260	92,0
75	90,0	190	90,0	270	92,0
80	91,0	200	90,0	275	92,0
85	96,0	205	90,0	280	92,0
90	91,0	210	91,0	285	94,0
100	92,0	215	91,0	290	97,0

Um resumo dos resultados obtidos nos ensaios realizados na indústria e o tipo de desgaste ocorrido podem ser vistos na Tab. (5).

A Tabela (4) traz os resultados obtidos pelo o Ensaio 2, no qual foram usinadas 440 peças.

Tabela 4. Relação do ruído emitido durante a realização do Ensaio 2

Peça	Ruído dB(A)	Peça	Ruído dB(A)	Peça	Ruído dB(A)
01	91,0	120	91,0	300	91,0
02	91,0	130	91,0	310	91,0
03	91,0	140	91,0	320	91,8
04	91,0	150	91,0	330	92,0
05	91,0	160	91,0	340	92,0
10	91,0	170	91,0	350	92,0
15	91,5	180	91,0	360	92,0
20	91,0	190	91,0	370	92,0
25	91,0	200	91,0	380	92,0
30	91,0	210	91,0	390	92,0
40	91,0	220	91,0	400	92,0
50	91,0	230	91,5	410	92,0
60	90,5	240	91,0	420	92,0
70	90,5	250	91,5	430	92,0
80	91,0	260	91,0	436	92,8
90	91,0	270	91,0	438	96,0
100	91,0	280	91,8	439	97,0
110	91,0	290	91,0	440	98,0

2.2.2. Análise dos Resultados

Durante a realização dos ensaios na indústria, verificamos a grande dificuldade por parte dos programadores e operadores em estimar o tempo de vida do inserto, assim como de controlar o desgaste durante a usinagem e fazer a troca do inserto no momento adequado. O controle foi feito de forma exaustiva, com sucessivas paradas de máquina, para controle das medidas e verificação das condições da ferramenta.

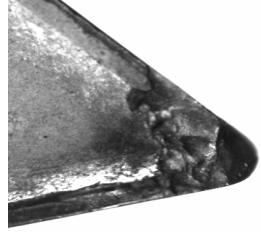
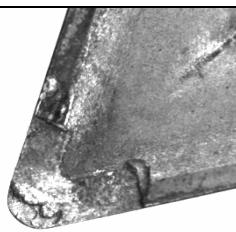
O primeiro ensaio foi realizado partindo-se de uma previsão estimada pelo operador da vida da ferramenta em função de peças produzida. A previsão dada foi de aproximadamente 350 peças. A Tab. (3) indica a produção de 290 peças, ou seja, um erro de -17,14% em relação a previsão inicial. O segundo ensaio teve a mesma previsão e o resultado de peça produzida, mostrada pela Tab. (4), foi de 440 peças, apresentando um erro de + 25,71 %.

O ruído indicado pelo decibelímetro com máquina girando, sem usinar foi de 81,0 dB. O ruído médio registrado, conforme indica a Tabela (5), foi de 91,0 dB(A). A Tabela (4) mostra no momento da usinagem da peça nº 85, o aparecimento de um ruído que destoava da média. Este foi identificado pelo operador e registrado pelo decibelímetro, que levou a parada da máquina para verificação da anormalidade. Tratava-se de defeito na castanha (dispositivo utilizado para fixação da peça). O mesmo foi substituído e o processo de usinagem voltou à normalidade. Por outro lado, nenhuma anormalidade foi detectada pelo operador antes do momento da quebra, quando da realização do segundo ensaio.

Através das medições realizadas, ficou evidenciado o aumento do ruído de forma alarmante no momento do desgaste excessivo ou quebra. Este ruído específico ao ser percebido pelo operador, faz com que o mesmo interfira no processo de usinagem imediatamente, parando a máquina para inspeção e troca do inserto.

A partir dos ensaios realizados, verificamos que independentemente dos parâmetros de corte, do material a ser usinado, e de outros fatores envolvidos no processo de usinagem, o comportamento do ruído no momento do desgaste excessivo, de quebra da ferramenta ou de outras interferências diretamente ligadas ao corte de material, sempre atingem valores alarmantes, ou seja, valores bem acima dos ruídos emitidos ao longo do processo de usinagem.

Tabela 5. Relação entre avanço, tempo de vida, desgaste e ruído

Ensaio	Avanço (mm/volta)	Tempo de Vida (min)	Ruído Médio (dB)	Ruído Máximo (dB)	Desgaste (mm)	Foto do inserto (Tipo do desgaste ocorrido)
1	0,25	140,17	91,0	97,0	0,514	
2	0,25	221,67	91,0	98,0	0,541	

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho objetivou determinar a relação entre o ruído emitido e o desgaste da ferramenta, além de tentar verificar a capacidade do operador em detectar o momento do desgaste excessivo ou quebra do inserto, baseado no ruído emitido durante o processo de usinagem.

A principal conclusão tirada é que realmente existe uma relação entre o desgaste excessivo e/ou quebra do inserto e o ruído emitido durante a usinagem. Verificamos que o operador pode identificar este momento, através do ruído emitido. Entretanto, em função da influência do meio, da necessidade do uso de protetor auricular pelo operador, entre outras interferências, torna-se necessário o desenvolvimento de um sistema de monitoramento eficaz, capaz de alertar o operador com relação a anomalias que venham ocorrer durante o processo de usinagem, assim como no auxílio ao controle da vida do inserto.

Esta pesquisa encontra-se atualmente em andamento e nos próximos estágios pretendemos avaliar a eficácia da equação geral de Taylor na previsão da vida de ferramenta de corte e desenvolver um sistema de monitoramento do desgaste do inserto, baseado no ruído emitido durante a usinagem. Estes desenvolvimentos serão apresentados em trabalhos futuros.

5. REFERÊNCIAS

- Abrão, A.M. e Aspinwall, D.K., 1996, “A utilização de ferramentas cerâmicas na usinagem de metais”, Anais do IV CEM – NNE.
- Abrão, A.M., “Monitoramento do desgaste de ferramentas”. Disponível em <<http://www.demec.ufmg.br/Usinagem/monitoramento.htm>>. Acesso em 20 de Abril 2003.
- Bonifácio, M.E.R. e Diniz, A.E., 1994, “Monitoring the tool life in finish turning using vibration signals”, Revista Brasileira de Ciências Mecânicas, v. XVI (1), pp. 58-71.
- Diniz, A.E. e Marcondes, F.C., 2000, “Tecnologia da usinagem dos materiais”, São Paulo: Art liber Editora.
- Matsumoto, H. e Diniz, A.E., 1998, “Torneamento do aço endurecido monitorado por emissão acústica e corrente do motor”, Revista Máquinas e Metais, pp. 72-79.
- Milan, J.C.G.; Silva, M.B. e Santos, S.C., 2000, “Determinação da equação de Taylor expandida através das técnicas de análise dimensional e de otimização de ensaios”, Anais do Segundo Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, II CONEM.

- Nakagawa, H., 2000, "Mínima quantidade de lubrificação não agride o meio ambiente", Revista Máquinas e Metais, No. 415, pp. 40.
- Pires, J.R. e Diniz, A.E., 1996, "Evitando o desperdício de ferramenta e torneamento – Uma aplicação e chão de fábrica", Revista Máquinas e Metais, No. 370, pp. 73 – 85.
- Portela, F., 2000, "Monitoramento da vida da ferramenta e do acabamento da superfície usinada por meio dos sinais de vibração, corrente elétrica do motor e emissão acústica", disponível em <<http://www.fabioport.htm>>. Acesso em 20 de Abril 2003.
- Santos, A.L.B., Milan, J.C.G., Silva, M.B., Santos, S.C. e Cunha Jr., S.S., 2002, "Diferentes metodologias ajudam a determinar a equação de Taylor expandida", Revista Máquinas e Metais, p. 56-69.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

VERIFICATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN PRODUCED NOISE AND WEAR AND TEAR OF TOOLS IN CNC LATHES THROUGH LABORATORIAL EXPERIMENTS AND INDUSTRIAL MONITORING

Araken Namorato

Gray Farias Moita

Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação

CEFET-MG

Av. Amazonas, 7675 – Nova Gameleira

30430-290, Belo Horizonte – MG

BRAZIL

E-mails: araken@fiemg.com.br, gray@dppg.cefetmg.br

***Abstract.** One of the greatest problems that the operator comes across during the manufacturing process is related with how the wear of the pad (pastille) is monitored. This is due to the fact that there is not a reliable, accurate procedure to characterize wear without interrupting the manufacturing process. This deficiency has caused great economic losses to the industries of the sector. It is possible to determine if a pad (pastille) is working under unfavorable conditions through the operator's ability (experience) to distinguish a specific noise produced during the manufacturing process that characterizes an old pad. Usually, one questions if the relationship between noise and aging is real or if it is a false claim. In this work, the relation between the noise produced during the manufacturing process and the wear of the hard metal tool used in the process is presented in a comparative way. The results indicate that many factors influence in the manufacturing process and that the noise varies with each of these factors. The experiments show that wear of the pad and the noise during the manufacturing process in power latheing are essentially correlated.*

Keywords: monitoring, tool wear and tear, noise.