

# MONITORAMENTO DO DESGASTE DE FERRAMENTAS DE CORTE

Carolina Locatelli Vago<sup>1</sup>

Juliana Gobeti Calenzani<sup>2</sup>

Rômulo Maziero<sup>3</sup>

Eliane Correia Nascimento Souza<sup>4</sup>

Antonio Carlos Barbosa Zancanella<sup>5</sup>

Vinicius Silva da Cunha<sup>6</sup>

Washington Moreira Cavalcanti<sup>7</sup>

## RESUMO

Uma ferramenta de corte está sujeita ao desgaste no decorrer do uso e por isso necessita ser reafiada ou substituída. Monitorar e compreender os processos de desgaste podem reduzir custos e evitar prejuízos pela falta de gerenciamento e substituição da ferramenta no momento certo. Este trabalho teve por objetivo apresentar os resultados sobre o monitoramento de ferramentas de corte pelo método indireto usando diferentes técnicas para prever o tempo de vida e o melhor momento de troca de uma ferramenta. Foi realizada uma revisão crítica sobre o modo indireto de estimar o tempo de vida útil de ferramentas de corte. Os resultados indicaram que as técnicas de monitoramento utilizadas apresentam aplicações relevantes, evidenciando a importância do monitoramento do desgaste nas ferramentas de corte, a fim de evitar paradas desnecessárias e minimizar as perdas de produção.

**Palavras-chave:** Monitoramento do desgaste; Método indireto; Ferramentas de corte.

## ABSTRACT

A cutting tool is subject to wear during use and therefore needs to be re-sharpened or replaced. Monitoring and understanding wear processes can reduce costs and prevent damage from mismanagement and tool replacement at the right time. This paper aims to present the results on the monitoring of cutting tools by the indirect method using

---

<sup>1</sup> Mestranda em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

<sup>2</sup> Engenheira Mecânica pelo Instituto Federal do Espírito Santo (IFES).

<sup>3</sup> Doutorando em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

<sup>4</sup> Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pelo Instituto Federal do Espírito Santo (IFES).

<sup>5</sup> Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

<sup>6</sup> Mestrando em Ciência, Tecnologia e Educação pela Faculdade Vale do Cricaré (FVC).

<sup>7</sup> Doutorando em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

different techniques to predict the tool life and the best time to change a tool. A critical review was performed on the indirect way of estimating the life span of cutting tools. The results indicated that the monitoring techniques used present relevant applications, evidencing the importance of monitoring the wear on cutting tools in order to avoid unnecessary stops and minimize production losses.

**Keywords:** Wear monitoring; Indirect method; Cutting tools.

## 1 INTRODUÇÃO

A avaria, o desgaste e a deformação plástica são apontados como os três fenômenos responsáveis pela perda da eficácia de uma ferramenta na usinagem provocando mudança na geometria da aresta de corte (MACHADO *et al.*, 2009).

O desgaste pode ser definido “[...] como a destruição de uma ou de ambas as superfícies que compõem um sistema tribológico, geralmente envolvendo perda progressiva de material” (MACHADO *et al.*, 2009). O desgaste progressivo na ferramenta de corte pode ocorrer tanto na superfície de folga quanto na superfície de saída da ferramenta e podem ser apontadas pelo menos três formas de desgaste: de cratera, de flanco e de entalhe.

O monitoramento em tempo real classifica-se em quatro áreas:

- I. Máquina: diagnóstico e supervisão do desempenho;
- II. Ferramenta: nível de desgaste, lubrificação, alinhamento;
- III. Peça: geometria, dimensões, características superficiais, rugosidade, tolerância, metalurgia;
- IV. Processo: formação de cavacos, temperatura, energia consumida.

A *priori*, o monitoramento é, em conjunto com o gerenciamento de ferramentas e da melhoria de parâmetros de corte, condição indispensável para a melhoria no desempenho dos processos de fabricação de componentes metálicos e é resultante de processos que apresentam duas metodologias: direta e indireta.

Dentre os métodos de monitoramentos, este trabalho considerará a metodologia indireta. A opção pelo método indireto se justifica pelo fato de o mesmo ter sido bastante investigado nas últimas décadas e pelas possibilidades de mensurar

parâmetros que correlacionam diretamente os estados da ferramenta, da peça e do processo. Os parâmetros utilizados na medição indireta são relativamente fáceis de mensurar e fundamentam-se no fato de que o estado da ferramenta de corte está associado a fenômenos físicos relacionados com o material usinado, o tipo de ferramenta, as condições do processo, entre outros (SOUZA, 2015).

Este trabalho de revisão da literatura tem por objetivo apresentar os principais resultados sobre o monitoramento de ferramentas de corte por meio do método indireto usando diferentes procedimentos.

## 2 REVISÃO: LEITURA DO DESGASTE EM FERRAMENTAS

Os problemas relativos à inesperada substituição de uma ferramenta de corte exigiram o desenvolvimento de sistemas de monitoramento capazes de informar o momento adequado para que ocorra a troca com menor prejuízo ao processo. Com isso, surgiu a necessidade de desenvolver sistemas que fossem capazes de indicar em tempo real e por meio de diversos tipos de sinais o momento exato do fim da vida útil de uma ferramenta de corte.

SICK (2002) descreve, conforme apresentado na Figura 1, que um sistema de monitoramento parte da premissa de uma sequência de subsistemas para o arrasto dos dados, desde a detecção dos sinais de fadiga até o diagnóstico do estado da ferramenta.

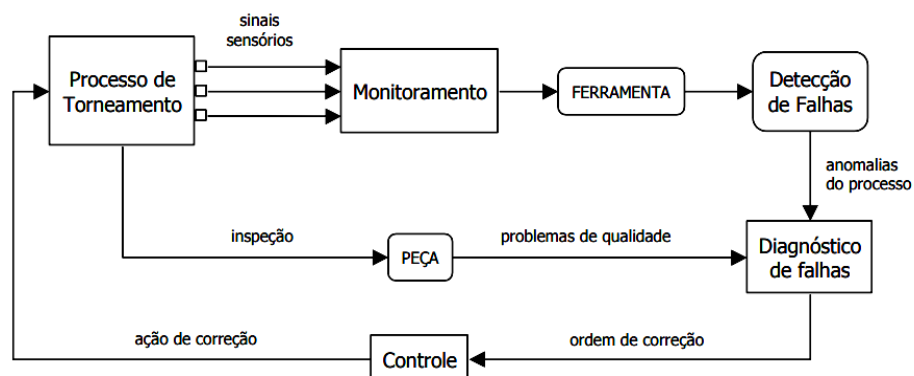


Figura 1 – Sistema de monitoramento do estado da ferramenta de corte em torneamento. Fonte: SICK, 2002

Atualmente, existem diversas maneiras de monitorar o desgaste de uma ferramenta para retirá-la de uso minimizando custos adicionais e perda na produção. O monitoramento pode ser direto ou indireto. Essa classificação está relacionada com a medição direta e medição indireta das falhas da ferramenta. O monitoramento direto (*off-line*) quantifica diretamente o valor do desgaste na ferramenta, enquanto o monitoramento indireto (*on-line*) acompanha e avalia uma grandeza física correlacionada com o desgaste da ferramenta (SOUZA, 2015). O Quadro 1 apresenta os principais métodos de medição das condições da ferramenta em usinagem.

Quadro 1 - Métodos diretos e indiretos de monitoramento de ferramentas de corte.

<b>Método</b>	<b>Procedimento</b>	<b>Medição</b>	<b>Transdutor/Sensor</b>
<b>DIRETO</b>	Óptico	Contorno ou posição da aresta de corte (região desgastada)	Câmera CCD; sensor de fibra óptica; microscópio
	Perda volumétrica global da ferramenta	Tamanho e concentração de partículas desprendidas da ferramenta no cavaco	Análise via radioatividade: espectrofotômetro e cintilador; análise eletroquímica
	Resistência da junção	Alterações na resistência elétrica da junção ferramenta-peça	Voltímetro
	Tamanho da peça	Dimensão da peça	Micrômetros; transdutor: óptico, pneumático, ultrassom, eletromagnético
	Distância ferramenta-peça	Distância entre a peça e a ferramenta ou suporte	Micrômetro; transdutor indutivo (LVDT), capacitivo ou ultrassom
<b>INDIRETO</b>	Força de usinagem	Alterações no comportamento da força	Dinamômetros: piezelétricos ou resistivos ( <i>strain-gage</i> ); sensor de torque no eixo-árvore
	Emissão acústica	Ondas de deformação plástica	Transdutor piezelétrico
	Som	Ondas acústicas	Microfone
	Vibração	Oscilações da ferramenta e/ou suporte	Acelerômetro piezelétrico
	Temperatura	Variação da temperatura na região de corte	Termopar; pirômetro; reflexão da superfície do cavaco ou coloração
	Potência	Potência ou corrente consumida no motor (avanço ou rotação)	Amperímetro; sensor de corrente; sensor de potência
	Acabamento da superfície usinada	Mudanças na rugosidade da superfície	Rugosímetro; laser; métodos ópticos: sensor de fibra óptica, câmera CCD

Fonte: SOUZA, 2015

Chaves *et al.* (2014) realizaram estudos sobre o monitoramento do desgaste de ferramentas de corte em operações de usinagem. Eles tinham o objetivo de desenvolver um sistema de monitoramento do processo utilizando sensores de efeito Hall para identificar o fim do tempo de vida útil de uma ferramenta de corte. O sensor utilizado para os ensaios foi o Sensor Hall de Corrente, modelo 100CC-15 e um transdutor de corrente modificado para correntes de 0 a 25 A. Para os testes de usinagem foi utilizado o aço ABNT 1045, com diâmetro nominal de 4 polegadas e a ferramenta de corte foi o inserto TNMG 160408 PM GC-4225 da Sandvik. O critério de fim de vida da ferramenta foi o desgaste de flanco máximo (VBB<sub>máx</sub>), adotado em 0,6 mm; conforme sugerido pela norma ISO 3685/1993. As medições do desgaste de flanco foram captadas por meio de imagens em um Estereoscópio Pantec, uma câmera Moticam 2300 e o *software* MotiClmages Plus 2.0.

Ao final do experimento, Chaves e colaboradores (2014) concluíram que o fator velocidade de corte ( $V_c$ ) exerce significativa influência no tempo de vida da ferramenta de corte, sendo que o aumento da mesma contribui para o aumento da potência de usinagem e para a diminuição do tempo de vida da ferramenta. Os instrumentos utilizados foram capazes de detectar o desenvolvimento do desgaste e indicar o momento em que o operador perceberia a proximidade do fim de vida da ferramenta.

Marcelino *et al.* (2013) utilizaram modelos neurais MLP (*Multi-LayerPerceptron*) e ANFIS (*Adaptative Network BasedFuzzyInference System*) no monitoramento do desgaste da ferramenta na retificação de cerâmicas. Buscando conhecer as relações existentes entre as variáveis de entrada e de saída, para prever o padrão do comportamento do processo, foi realizado um estudo comparativo dessas redes. Os ensaios utilizaram uma máquina retificadora plana com rebolo diamantado sintético de liga resinoide, e os corpos de prova foram de cerâmica alumina. Os dados foram processados digitalmente, analisados e empregados como entradas para os modelos neurais criados.

Os resultados dos estudos de Marcelino *et al.* (2013) mostraram o ótimo desempenho das redes neurais empregadas, sendo que as redes MLP apresentaram melhores resultados. O modelo ANFIS mostrou-se mais estável, não proporcionando grandes variações entre redes de mesmas configurações. Os

modelos neurais propostos foram satisfatórios às necessidades da estimação do desgaste da ferramenta.

No monitoramento da ferramenta de dressagem, Rocha (2014) utilizou dois métodos de análises: sinais de vibração e modelos neurais. Por meio de sinais de vibração e redes neurais foi utilizado um método de classificação do desgaste da ferramenta de dressagem de ponta única em três condições distintas: novo, meia vida e desgastado. Os ensaios foram realizados em uma retífica plana, rebolo de óxido de alumínio, com a aquisição dos sinais de vibração por meio de um sensor fixo no suporte do dressador. Vários modelos neurais foram testados, os quais possuíam como entradas duas estatísticas obtidas a partir do sinal original filtrado para uma dada banda de frequência selecionada. Após as combinações realizadas, foram escolhidos e analisados os dois melhores modelos, e esses apresentaram resultados com até 98,3% de taxa de acertos. Ambos os modelos produziram resultados satisfatórios para a classificação do desgaste de dressadores de ponta única estudados.

Melo (2014) realizou o monitoramento da evolução do desgaste de uma ferramenta de corte por meio de vibrações. O objetivo foi uma contribuição na técnica de utilização do sinal de vibração para o monitoramento da evolução do desgaste da ferramenta em tempo real e, com isso, determinar o momento correto de troca no processo fresamento. Para a realização do experimento foi utilizado um centro de usinagem CNC Romi D600, onde foram fresados corpos de prova de aço 4340 e equipamentos para aquisição do sinal de vibração para compreender algumas características deste durante a usinagem. Os resultados dos experimentos indicaram que o sinal de vibração é um bom indicador de várias situações que acontecem durante a usinagem, dentre estas, o estado de desgaste da ferramenta.

Nessa perspectiva, outro trabalho desenvolvido por Bombonato *et al.* (2014) também analisou o desgaste de ferramentas no processo de fresamento combinando a emissão acústica com aplicações de redes neurais. A proposta do estudo foi realizar o monitoramento do processo de fresamento com o intuito de detectar a necessidade de troca da ferramenta de usinagem. Assim, foi utilizado o fresamento de topo com apenas um inserto de metal duro montado numa fresa com capacidade para três insertos. Foram utilizados o aço inoxidável VP-80

endurecido por precipitação e monitorado o desgaste de flanco máximo, admitindo-se três estágios: ferramenta completamente nova, em estágio intermediário e ferramenta altamente desgastada. O sinal de emissão acústica (EA) foi adquirido durante a usinagem, com várias repetições, com o sensor fixado na peça. O desgaste de flanco foi medido periodicamente e os testes realizados até o final da vida da ferramenta.

Bombonato *et al.* (2014) utilizaram parâmetros estatísticos retirados do sinal de emissão acústica com o desgaste da ferramenta. Os parâmetros estatísticos analisados foram: skewness, curtose, RMS, pico e fator de crista. Análise gráfica dos parâmetros estatísticos e espectros de frequência mostraram que alguns parâmetros têm uma significativa correlação com os estágios de desgaste e que esses parâmetros podem servir de dados de entrada para treinamento de uma rede neural no reconhecimento do estágio de desgaste da ferramenta.

De acordo com Souza (2004), a falha (avaria e/ou desgaste) da ferramenta de corte em usinagem está direta ou indiretamente ligada a diferentes grandezas físicas, relacionadas com: o material da peça, o tipo de ferramenta, as condições do processo, entre outros. Nesse ponto de vista, apresentou-se o desenvolvimento e a aplicação de um sistema monitor inteligente em torneamento usando a fusão de sinais de força, vibração e emissão acústica com o intuito de reconhecer os padrões de falha da ferramenta de corte (estimação de desgastes e detecção de avarias) e, com isso, diagnosticar em tempo real o estado do mesmo.

O experimento se baseou nas técnicas de aquisição e processamento de sinais de força, vibração, emissão acústica e na aplicação de redes neurais artificiais em processos de usinagem. O sistema de monitor inteligente tinha como finalidade supervisionar e diagnosticar o estado da ferramenta de corte em um torno CNC. A integração de múltiplos sinais foi realizada por meio de uma rede neural artificial direta 5-2-1, com algoritmo de treinamento por retro-propagação flexível implementada via MATLAB.

Os resultados obtidos por Souza (2004) demonstraram que na situação de detecção de avarias o sistema monitor pode ser considerado “eficiente” e “eficaz” dentro das capacidades e limitações. Quanto à função do sistema monitor de prognosticar a vida da ferramenta, o mesmo é capaz de “prever” o fim e quando

acontece. A partir do diagnóstico, o sistema monitor define o momento mais apropriado para a troca da ferramenta.

Para finalizar, é referida a utilização de redes neurais artificiais na avaliação da evolução do desgaste da ferramenta de corte no processo de torneamento a partir dos níveis de vibração do sistema porta-ferramenta-peça. Os níveis de desgaste foram definidos por Alexandre (2005) em termos da rugosidade superficial da peça e desgaste de flanco e, posteriormente, os valores de vibração medidos no porta-ferramenta foram correlacionados com esses níveis de desgaste. Diversos ensaios foram realizados utilizando o aço ABNT 1045, com ferramentas de metal duro sem e com cobertura de nitreto de titânio (TiN). Foram utilizadas as rotações 630, 800, 1000 e 1250 rpm, variando-se a velocidade de corte entre 100 e 200 m/min. Os sinais de vibração foram processados e analisados utilizando valores RMS (*Root Mean Square*) e a Transformada Wavelet, sendo que, nesse caso, foram extraídos os valores RMS dos coeficientes Wavelet.

De acordo com Alexandre (2005), os testes mostraram que a utilização dos valores RMS do sinal de vibração pode levar a resultados satisfatórios, entretanto, houve algumas situações de insucesso. Alternativamente, a rede neural, quando treinada com os valores RMS dos coeficientes Wavelet, apresentou uma melhor capacidade de identificação, comum percentual de acerto maior do que quando treinada apenas com os valores RMS dos sinais de vibração. Observou-se, também, que o monitoramento de vibração da ferramenta e a utilização de redes neurais artificiais para identificação dos diferentes estágios da ferramenta podem ser utilizados para se estabelecer o fim de vida da mesma no processo de torneamento. A utilização da transformada Wavelet na extração dos parâmetros usados no treinamento da rede mostrou ser mais eficiente para a identificação da evolução do desgaste de ferramentas.

### **3 CONCLUSÕES**

Os sistemas de monitoramento no processo de usinagem corroboram para prevenções de paradas na realização de trocas indesejadas de ferramentas e na



melhoria contínua da produção. Para isso, é necessário que o momento de troca da ferramenta seja determinado em tempo real. Nesse caso, o monitoramento *on-line* acompanha e avalia a grandeza física correlacionada com o desgaste da ferramenta, prevendo o melhor tempo de troca. Outrossim, os parâmetros de corte são fatores determinantes na escolha do monitoramento.

Os procedimentos e técnicas de monitoramento utilizados nos experimentos mostrados apresentaram resultados relevantes, constatando a importância do acompanhamento do desgaste de ferramentas de corte para o processo produtivo, reduzindo o tempo e material nas tomadas de decisão.

Ademais, esta revisão fornece informações pertinentes para a escolha dos procedimentos de monitoramento a serem utilizados nas atividades de manutenção preditiva e preventiva, que podem influenciar significativamente na vida útil do equipamento e/ou da ferramenta de corte.

#### **4 REFERÊNCIAS**

ALEXANDRE, R. P. **Redes neurais: aplicação no monitoramento da vida de ferramentas de corte.** 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – UNESP, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São Paulo, 2005.

BOMBONATO, S. G.; LUSTOSA, A. A.; SILVA, M. B. Análise do desgaste de ferramentas via emissão acústica com aplicações de redes neurais. **Horizonte Científico**, v. 2, n. 2, p. 1-24, 2008.

CHAVES, B. T.; CASARIN, J. J.; KIECKOW, F. **Sistema de monitoramento do desgaste de ferramentas de corte em operações de usinagem.** In: 21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2014, Cuiabá, MT. Anais...Cuiabá, MT: CBECIMAT, 2014.

MACHADO, A. R.; ABRÃO, A. M.; COELHO, R. T.; SILVA, M. B. **Teoria da Usinagem dos Materiais.** 3. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2015.

MARCELINO, A.; NAKAI, M. E.; GUILLARDI JÚNIOR, H.; AGUIAR, P. R.; BIANCHI, E. C. **Modelos neurais na estimação do desgaste da ferramenta na retificação**

**de cerâmicas.** In: 7º COBEF - Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2013, Penedo, RJ. Anais...Penedo, RJ: COBEF, 2013.

MELO, J. F. N. **Monitoramento da evolução do desgaste de uma ferramenta de corte através de vibrações.** 2014. Monografia (Engenharia Mecânica) – UFRN, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

SICK, B. On-line and indirect tool wear monitoring in turning with artificial neural networks: a review of more than a decade of research. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v.16, n. 4, p. 487-546, 2002.

SOUZA, A. J. **Aplicação de multisensores no prognóstico da vida de ferramenta de corte no torneamento.** 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2004.

SOUZA, A. J. **Monitoramento de processos de usinagem.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015 (Apostila). Disponível em: <[https://chasqueweb.ufrgs.br/~ajsouza/Apostila\\_ENG03082.pdf](https://chasqueweb.ufrgs.br/~ajsouza/Apostila_ENG03082.pdf)>. Acesso em: 29 nov. 2016.

ROCHA, C. A. **Monitoramento da condição da ferramenta de dressagem usando sinais de vibração e modelos neurais.** 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – UNESP, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São Paulo, 2014.