

## **Parametrização da queima superficial no processo de retificação tangencial plana**

**Maurício Khenafes (UNESP) khenafes5@hotmail.com**

**Fábio Romano Lofrano Dotto (UNESP) fabio@feb.unesp.br**

**Paulo Roberto de Aguiar (UNESP) aguiarpr@feb.unesp.br**

**Eduardo Carlos Bianchi (UNESP) bianchi@feb.unesp.br**

### **Resumo**

*O controle dos danos causados no processo de retificação é de interesse direto de todas as indústrias dependentes desse processo, levando a uma taxa mais baixa de perdas de peças e conseqüentemente a um custo mais baixo de produção. Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema dedicado para a detecção da queima no processo de retificação, onde o processo foi constantemente monitorado através dos sinais de emissão acústica e potência elétrica do motor de acionamento do rebolo. Para os ensaios, foi utilizada uma máquina retificadora plana, rebolo de óxido de alumínio, e aço ABNT 1045. Os sinais foram coletados por intermédio de um conversor analógico-digital, e em seguida, processados através de algoritmos de detecção de queima já estudados e outros propostos neste trabalho. Adicionalmente, um estudo comparativo entre os parâmetros apresentados foi realizado.*

*Palavras-chave: Retificação; Monitoramento; Queima.*

### **1. Introdução**

Na indústria metal-mecânica a retificação é usualmente o processo final de acabamento de um componente de precisão. Este processo é utilizado para fabricação de peças nos mais diversos tipos de materiais, exigindo resultados como baixa rugosidade superficial, controle dos erros dimensionais e de forma da peça, máxima vida útil da ferramenta, tempo e custos mínimos (Aguiar, 1997). O processo de retificação ainda é pouco dominado tecnologicamente, devido a multiplicidade de arestas cortantes e sua geometria irregular, altas velocidades de corte, e pequenas profundidades de corte que variam de grão para grão.

Segundo Aguiar (1997), a remoção do cavaco no processo de usinagem por abrasão não acontece da mesma maneira que nas operações mais convencionais como fresagem e torneamento. Nestas operações a ferramenta possui geometria de corte definida, enquanto que na retificação a ferramenta apresenta várias arestas cortantes, ou seja, geometria de corte irregular. A grande quantidade de variáveis envolvidas no processo, bem como as mudanças constantes da geometria da ferramenta de corte dificultam a escolha das condições de usinagem que possibilitem os resultados desejados.

Danos causados na peça de trabalho são de alto custo, uma vez que todo processo anterior, além da própria retificação, é perdido quando uma parte é danificada neste estágio. Os danos mais comuns na operação de retificação são queima, trincas, e ou tensões residuais indesejáveis.

Segundo Malkin (1989), as altas temperaturas geradas na zona de retificação podem causar vários tipos de danos térmicos à peça, como, por exemplo, queima (no caso de aços), têmpera excessiva da camada superficial com possível reendurecimento e aumento da fragilidade, indesejáveis tensões residuais de tração, redução da resistência à fadiga, e trincas. Para

atenuar a restrição de danos térmicos, é geralmente necessário reduzir a potência de retificação. Isto pode ser obtido utilizando um outro tipo de rebolo ou por uma dressagem mais grosseira, ambas tem suas desvantagens. O fluido de corte também tem um importante efeito como líquido refrigerante. Lubrificação direta com fluidos de retificação torna-se importante principalmente na retificação *creep-feed* (Malkin, 1989).

A dificuldade fundamental de controlar os danos causados no processo de retificação é a falta de um método confiável em fornecer realimentação em tempo real durante o processo. Sinais de emissão acústica e de potência de corte combinados têm sido utilizados com sucesso na determinação de parâmetros indicativos da queima. Estes sinais tratados e combinados possibilitam a implementação de um sistema de monitoramento da queima, otimizando o processo de retificação. Isto seria de grande benefício para as empresas dependentes desse processo, uma vez que a exigência de qualidade e competitividade internacional cresce cada vez mais com a globalização (Aguiar, 1997).

## **2. Monitoramento e controle do processo de retificação**

Durante o progresso humano de um estado primitivo até o presente, o mundo tecnológico foi marcado pelo desenvolvimento e aperfeiçoamento de novos métodos de controlar o ambiente. O termo *controle* está relacionado com métodos de fazer com que valores específicos sejam atribuídos a determinado parâmetro do sistema a ser controlado (Johnson, 1997).

Um dos maiores obstáculos para se atingir a completa automatização do processo de usinagem dentro de sistemas integrados e flexíveis de manufatura é o desenvolvimento do que pode ser chamado usinagem não assistida pelo homem, isto é, um processo no qual o estabelecimento do momento de troca da ferramenta, a própria troca da ferramenta e a mudança das condições de corte visando à otimização do processo não necessitam da intervenção do homem. Para isto, o desenvolvimento de um sistema de monitoramento e controle do processo, em tempo real, é de fundamental importância (Diniz et al., 1991).

A implantação de processos inteligentes na indústria utilizando máquinas comandadas numericamente está crescendo. No entanto, o sistema denominado Controle Número Computadorizado (CNC) é insuficientemente confiável para operar sem a interação humana. É comum observar operadores de máquinas usando o sistema CNC simplesmente para corrigir os parâmetros do processo ou identificar o desgaste e o fim da vida da ferramenta. (Aguiar et al., 1999)

Segundo Inasaki (1999), existem três importantes objetivos no monitoramento do processo de retificação: detectar problemas que ocorrem durante o processo, fornecer informações para otimizar o processo e contribuir com o estabelecimento de um banco de dados necessário para determinar a configuração dos parâmetros de controle.

Tomando como exemplo o processo de retificação cilíndrica de mergulho, existem muitos parâmetros a serem pré-determinados que estão relacionados com a seleção do rebolo e do fluido de refrigeração. Estes parâmetros são: velocidade do rebolo, velocidade da peça, e avanço. Dentre os parâmetros citados, o que mais influencia no resultado da retificação é a profundidade de corte. Outro fator preponderante é a definição do ciclo de retificação que consiste em determinar a rugosidade desejada, o término da operação e o período de *spark-out*. A informação obtida durante o monitoramento do sistema pode ser usada para minimizar o tempo do ciclo de retificação e aumentar a qualidade do processo (Inasaki, 1999).

## 2.1 Conceitos sobre a queima superficial no processo de retificação

Um dos tipos mais comuns de danos térmicos no processo de retificação é a queima da peça. Quando a queima superficial da peça se inicia, existe uma tendência do crescimento da adesão de partículas metálicas nos grãos abrasivos do rebolo, tendo como consequência o aumento das forças de retificação. Este aumento de forças provoca a deterioração da qualidade superficial da peça, e, conseqüentemente, uma maior perda de grãos abrasivos friáveis do rebolo, aumentando seu desgaste. Segundo Malkin (1989), a queima superficial da peça influencia na alteração da microestrutura do material retificado.

Através da realização de medições de microdureza na subsuperfície de aços temperados verificou-se que a queima superficial induzida pelo processo de retificação é acompanhada por um processo de re-austenitização do material. Para aços temperados retificados sem queima superficial, existe geralmente um amolecimento do material próximo à superfície, por terem sido atingidas temperaturas inferiores às de austenitização. Com a queima superficial ocorre a re-têmpera do material, a qual é consequência da re-austenitização do mesmo, seguida da formação de martensita não revenida. Esta pode ser constatada através da análise metalográfica, resultando no aumento da microdureza superficial. Evidências metalúrgicas e medições de microdureza indicam que o limite para início da queima visível coincide com o valor limite da temperatura para início da austenitização do material. Segundo Malkin (1989), a queima superficial da peça, observada para aços de rolamentos, traz um aspecto adverso quanto ao limite de resistência à fadiga e conseqüente diminuição do número de ciclos destes aços após a retificação. Este comportamento é atribuído à formação de martensita não-revenida, gerada no processo de queima superficial, em função do aquecimento à temperatura de austenitização e resfriamento rápido sem posterior alívio de tensões (revenimento).

Shafto (Shafto, 1975) postulou que o aumento rápido na temperatura é característica de um fenômeno conhecido como *burn-out*, o qual ocorre em tubos de ebulição. Para umas temperaturas críticas, referentes à temperatura de *burn-out*, existe um colapso no mecanismo de transferência de calor, o qual resulta num rápido crescimento da temperatura. Quando a temperatura atinge valores por volta de 100°C, a água entra em ebulição causando bolhas na superfície do aquecedor. Um aumento além da temperatura de ebulição faz com que todas as bolhas se juntem, formando uma camada de vapor sobre a superfície conhecida como *Film-boiling*. A transferência de calor através deste filme é muito mais difícil, causando assim um aumento repentino da temperatura.

Yasui (Yasui e Tsukada, 1983) mediu a temperatura na superfície da peça utilizando-se como fluido refrigerante óleo, água e também a seco. Ele verificou que a uma temperatura acima do ponto de ebulição de cada fluido, a superfície da peça atingia rapidamente a temperatura correspondente àquela verificada para a retificação a seco. Em outras palavras, os fluidos deixavam de ser efetivos. Num estudo posterior, Salmon (1988) observou experimentalmente a formação de um filme de vapor na superfície da peça, imediatamente abaixo da zona de contato.

## 3. Parâmetros de análise de queima

A detecção da queima no processo de retificação tangencial plana é normalmente realizada através do emprego de parâmetros de queima que são equações matemáticas que descrevem o processo baseado em informações oriundas de sensores devidamente colocados na máquina retificadora.

Estes parâmetros normalmente relacionam dois ou mais sinais como Emissão Acústica (RMS ou sinal puro), Potência, Temperatura, Velocidade, etc. Estes sinais são coletados através de

uma placa de aquisição de dados e então processados, entretanto, cada parâmetro consegue abranger apenas um conjunto limitado de situações e, por isso, a cada condição de usinagem uma nova análise é necessária para se encontrar o melhor parâmetro que descreve o comportamento da queima.

Os parâmetros implementados de conhecimento da comunidade científica são o DPO e o FKS, onde o primeiro é apresentado na revisão bibliográfica devido a obter grande sensibilidade no processo. Os parâmetros DPKS são parâmetros novos que foram propostos durante a realização deste trabalho. É importante salientar que todos os parâmetros implementados relacionam dois sinais: a Emissão Acústica RMS e o sinal de Potência Elétrica do motor que aciona o rebolo. Esta limitação foi utilizada para definir uma forma de comparação entre os diversos parâmetros, pois se fosse utilizado parâmetros que relacionam grandezas diferentes se tornaria difícil tal comparação.

### 3.1 Parâmetro DPO

Em sua tese de doutorado em 1997, Aguiar estabeleceu o parâmetro DPO para detecção da queima superficial na retificação plana. Este parâmetro é o produto do desvio padrão do nível RMS de emissão acústica por passada do rebolo pelo valor máximo do nível de potência por passada do rebolo, conforme visto na equação 1.

$$DPO = S_{EA} \times POT_{MÁX} \quad (1)$$

Segundo Aguiar (1997), o comportamento do parâmetro DPO revelou um crescimento ao longo das passadas do rebolo até o momento da queima, apresentando assim uma característica mais expressiva em revelar a queima superficial da peça do que simplesmente os sinais de emissão acústica e os sinais de potência elétrica. O parâmetro DPO demonstrou ser eficiente na detecção da queima superficial, e poderá ajudar muito às empresas no monitoramento de queima no processo de retificação.

### 3.2 Parâmetro DPKS

O parâmetro DPKS surgiu da necessidade de se aumentar a sensibilidade do parâmetro DPO, entretanto, sem necessariamente se preocupar com a sua amplitude e sim com a variação entre as passadas. Através deste parâmetro, pretende-se encontrar o momento exato onde a queima teve início.

O DPKS é calculado pelo desvio padrão da Emissão Acústica multiplicado pela somatória da potência subtraída do seu desvio padrão elevado à quarta potência.

A equação 2 representa o parâmetro DPKS:

$$DPKS = \left( \sum_{i=1}^{i=m} (POT(i) - S_{POT}^4) \right) * S_{EA} \quad (2)$$

É possível notar que esse valor aumenta dependendo do número de pontos obtidos na passada e pode variar muito, pois, graças a esta variação que pode chegar a mais de cem vezes, é possível destacar com precisão o momento que a queima se inicia.

## 4. Bancada de ensaios

Os ensaios foram realizados através da passagem do rebolo sob a peça até o limite da queima. Em cada passada foi-se calculado os parâmetros descritos, pois, por definição é necessário o fim da devida passagem.

Para isso foi montada a bancada para os ensaios de acordo com o diagrama da figura 1:

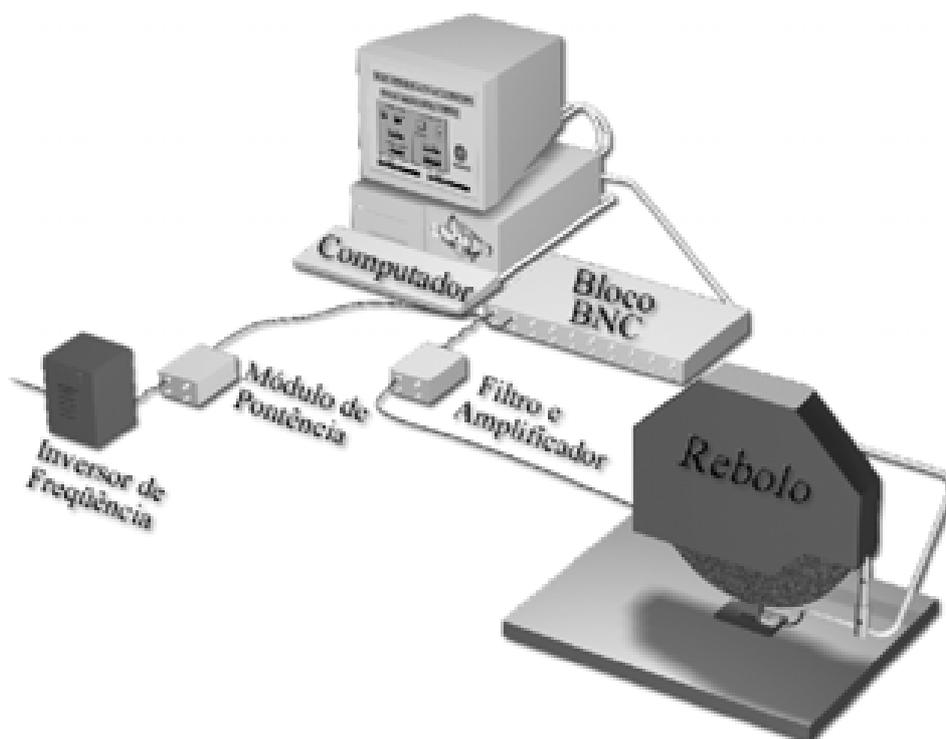


Figura 1 - Diagrama da bancada de ensaios

Através dos módulos de Emissão Acústica e Potência Elétrica do Motor, os sinais são captados dos sensores e levados até a placa de aquisição de dados da National Instruments onde são convertidos para valores digitais.

O modelo da placa da National Instruments é PCI 6035E que tem 16 entradas analógicas de 16 bits, 2 saídas analógicas de 12 bits e 8 canais digitais de entradas e saídas. A taxa de aquisição desta placa pode chegar a 200.000 amostras por segundo, sendo mais do que suficiente para o caso proposto. A precisão desta placa é de aproximadamente de  $150\mu\text{V}$  (1 LSB) além de apresentar pouca sensibilidade na presença de ruídos. Esta placa foi instalada num microcomputador do tipo PC AMD XP 1800 com 128MB de memória RAM. A taxa de amostragem utilizada nos ensaios foi de 10000 amostras por segundo.

Para a medição de potência elétrica do motor de indução trifásico de 7,5 cv, responsável pelo acionamento do rebole da retificadora, utilizou-se um módulo conversor de potência contendo um sensor de efeito Hall do fabricante Nana Eletronics Co. Ltda, e um transdutor piezelétrico de tensão. Estes dois sinais, de tensão e de corrente, são constantemente multiplicados por um circuito-integrado multiplicador analógico MPY634KP gerando o sinal de potência analógico.

O motor é alimentado por um inversor de frequência modelo CFW-02 de  $380\text{V}_{\text{AC}}$  para 7,5 cv do fabricante WEG. Devido ao inversor, optou-se em medir a sua potência de entrada, mesmo sabendo que esta potência não corresponde à consumida pelo motor, pois, na presença de força de corte a potência tende a variar e normalmente os parâmetros de queima captam este tipo de variação.

A emissão acústica gerada no processo de retificação foi medida por intermédio de um sensor do tipo piezelétrico do fabricante Sensis (modelo BM12) acoplado ao suporte próximo à peça para garantir uma aquisição de sinais livres de ruídos indesejáveis. Este sensor é então ligado num módulo também da Sensis que calcula o valor RMS deste sinal, utilizando um tempo de integração de 1ms. Este sinal RMS calculado é então entregue a placa de aquisição de dados.

O aço utilizado nos corpos de ensaio foi o ABNT1045 temperado. As peças utilizadas neste trabalho possuem a forma de um prisma retangular de dimensões de 98,65 mm de comprimento, 48,79 mm de altura e 8,67 mm de largura.

A máquina retificadora utilizada para a Retificação Tangencial Plana é do fabricante Sulmecânica modelo 1055E e faz parte do Laboratório de Usinagem por Abrasão do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da UNESP – Bauru. O rebolo utilizado foi de Óxido de Alumínio modelo NORTON AA46M6V. O fluido de corte adotado nos ensaios definitivos foi do tipo emulsão (concentração 5%).

## 5. Resultados obtidos

### 5.1 Aspectos visuais

Após o início do processo de retificação, a condição de finalização adotada foi quando uma queima severa ocorria ou quando se atingisse um determinado número de passadas. Estipulou-se a vigésima sexta passada. O que ocorresse primeiro provocava o fim dos ensaios na peça.

Apesar disso, pode-se notar que nenhuma destas opções ocorreu com a peça 1. Isto porque esta peça foi deixada propositadamente sem a queima severa para servir como referência durante as análises, pois a situação de queima e de não queima muitas vezes se encontram próximas demais, dificultando a separação entre queima leve, média e severa.

A Tabela 1 mostra os resultados obtidos visualmente durante o processo de retificação para cada uma das quatro peças usinadas durante os ensaios com os corpos de prova de aço ABNT 1045.

Passada	Peça 1	Peça 2	Peça 3	Peça 4
1	SQ	SQ	SQ	SQ
2	SQ	SQ	SQ	SQ
3	SQ	SQ	SQ	SQ
4	SQ	SQ	SQ	SQ
5	SQ	SQ	SQ	SQ
6	SQ	SQ	SQ	SQ
7	SQ	SQ	SQ	SQ
8	SQ	SQ	SQ	SQ
9	SQ	SQ	SQ	SQ
10	SQ	SQ	SQ	SQ
11	SQ	SQ	SQ	SQ
12	SQ	SQ	SQ	QL
13	SQ	SQ	SQ	QL
14	SQ	SQ	SQ	QL+
15	SQ	SQ	SQ	QL+
16	QL	SQ	SQ	QL+
17	QL	SQ	QM	QL+
18	QM	SQ	QM+	QL+
19	QM	QM	QS	QM-
20		QM		QM-
21		QM		QM
22		QM		QM
23		QS		QM-
24				QM
25				QM
26				QM+

Siglas	
SQ	Sem Queima
QL	Queima Leve
QM	Queima Média
QS	Queima Severa

Tabela 1. Histórico das passadas no processo de retificação

A definição da queima leve, média e severa apresentou variações durante os ensaios e algumas vezes não foi possível caracterizar exatamente com uma destas três possibilidades, por isso, utilizou-se os prefixo + e – para representar situações intermediárias. Por exemplo, a vigésima sexta passada da peça 4 apresentou uma queima mais do que média, entretanto, não pode ser considerada como severa.

A caracterização e classificação da queima foram feitas visualmente durante a usinagem de acordo com a coloração das peças, ou seja, através da intensidade de saturação da tonalidade do corpo de prova. Comumente esse método é utilizado nas operações de retifica para os mais desprovidos de tecnologia. Após cada passe da retificadora a superfície da peça foi classificada como: sem queima, queima leve, queima média e queima severa.

Ao finalizar o processo em cada corpo, passou para a quantificação visual de queima.

Para analisar se ocorreu queima ou não, foram-se digitalizados num scanner os corpos de prova já retificados, mostrados na figura 2. Após isso, para quantificar a ocorrência de queima, foram definidos patamares de saturação da cor nestas imagens e contados, em percentagem do total, os pixels digitalizados.

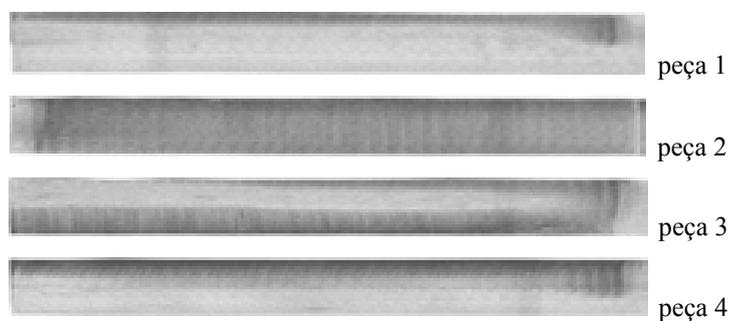


Figura 2 – Corpos de provas retificados

Tais patamares variam conforme cada condição local, pois, será susceptível ao tipo de scanner, aos parâmetros de pré-ajuste e as condições de iluminação local, uma vez que a cobertura escura da janela de leitura do scanner ficara aberta devido às dimensões grandes da peça.

Para tais aquisições, utilizou-se os níveis de saturação de aproximadamente 50,5% para a queima leve, 43,0% para a queima média e de 6,5% para a queima severa em relação à cor preta padrão.

Através desta análise visual, a peça que apresentou um menor grau de queima foi a peça 1 (com 25% da região com queima), seguida pela peça 3 (com 63% de queima). O grau de queima de ambas as peças ficaram muito próximos, pois as porcentagens de queima leve, média e severa são praticamente as mesmas. Com isso, pode-se dizer que o tipo de queima provocada nestas duas peças é bem similar, entretanto, as áreas da peça recobertas com a queima são diferentes (25% e 63%).

Por esse método, pode-se notar também que a peça 2 vem em seguida com uma área total de queima em torno de 91%, onde desta área, 43% foi queima leve, 53% apresentou queima média e apenas 4% apresentou queima severa.

A peça 4 sofreu uma área de queima menor do que a peça 2, entretanto, é possível perceber que os 47% de queima apresentam um grau de severidade maior do que as outras peças, pois a peça 2 teve o maior índice de queima severa, cerca de 27%.

### 5.2 Análise paramétrica

Através dos valores processados nos ensaios, resultaram os gráficos em barras das figuras 2, 3, 4 e 5 com os seus devidos parâmetros para cada passada do rebolo sobre o corpo de prova, respectivamente para a peça 1, 2, 3 e 4.

O eixo das abscissas nos gráficos representa as passadas do rebolo durante o ensaio enquanto o eixo das coordenadas indica a amplitude do sinal correspondente do parâmetro de queima.

O gráfico das figuras 3, 4, 5 e 6 representa o DPO e o DPKS, respectivamente, conforme descrito anteriormente.

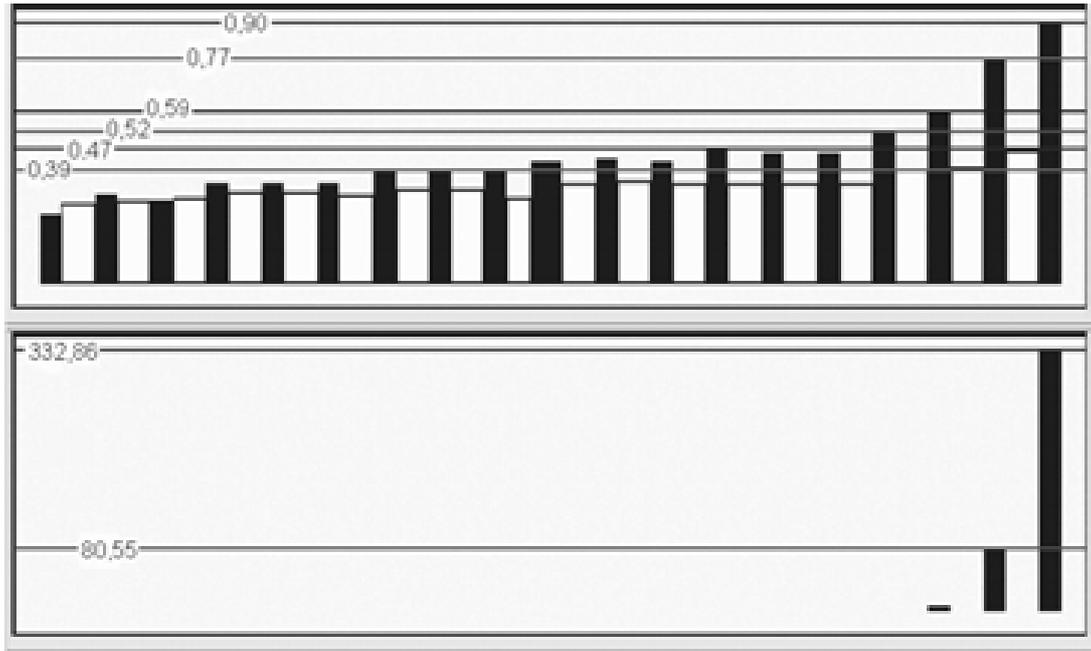


Figura 3. Valores obtidos de DPO e DPKS, respectivamente – Peça 1

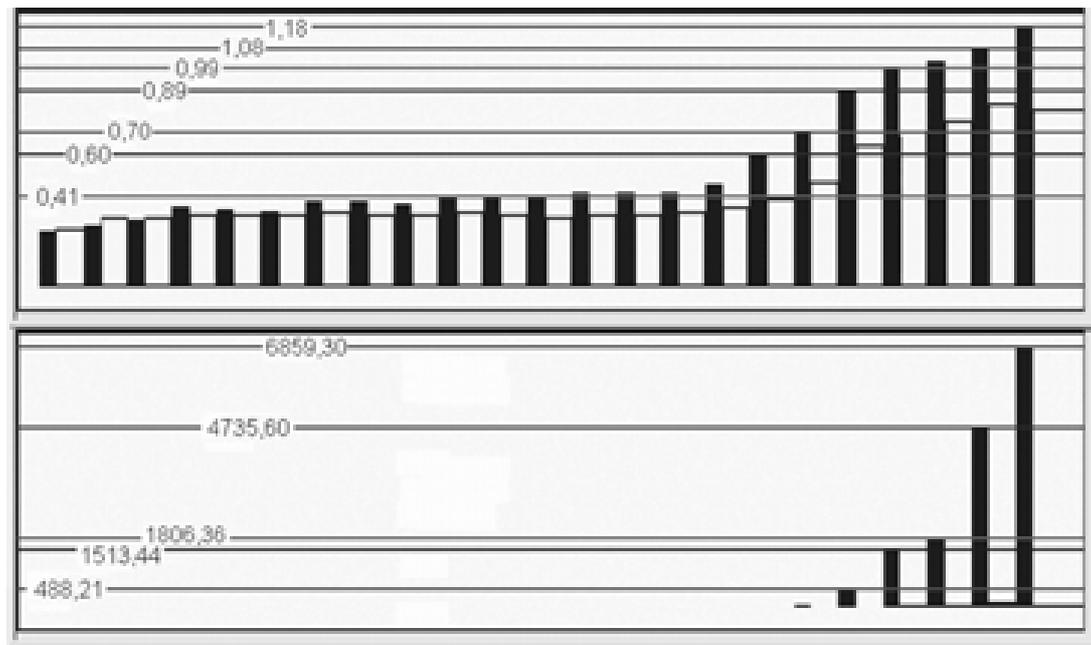


Figura 4 – Valores obtidos de DPO e DPKS, respectivamente – Peça 2

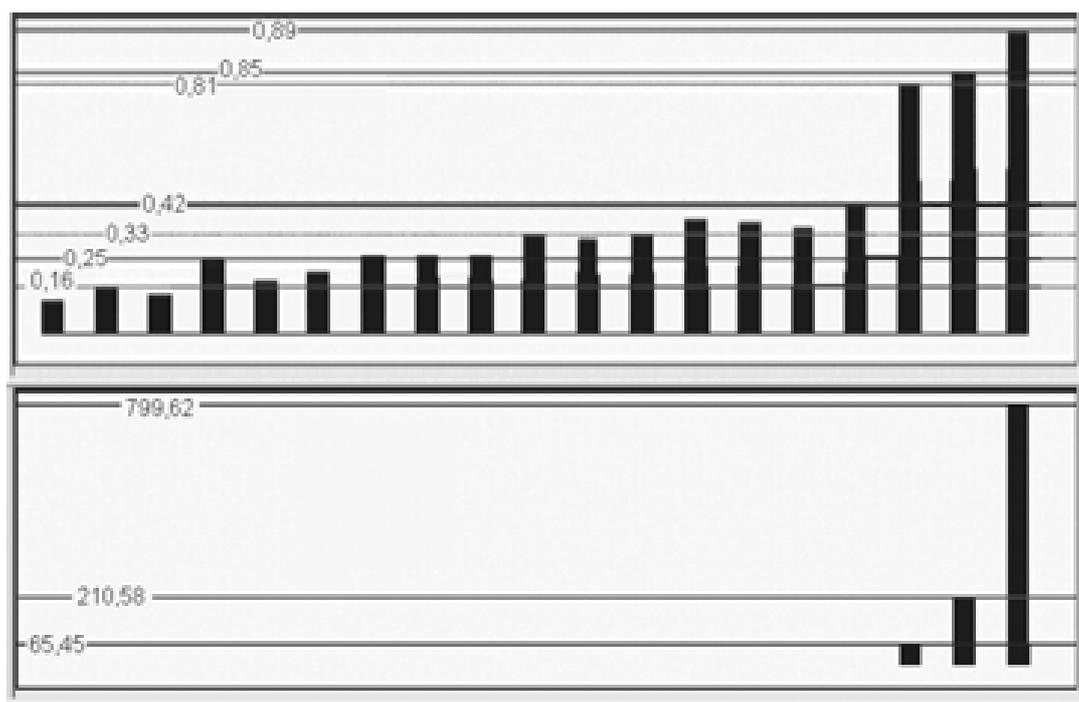


Figura 5 – Valores obtidos de DPO e DPKS, respectivamente – Peça 3

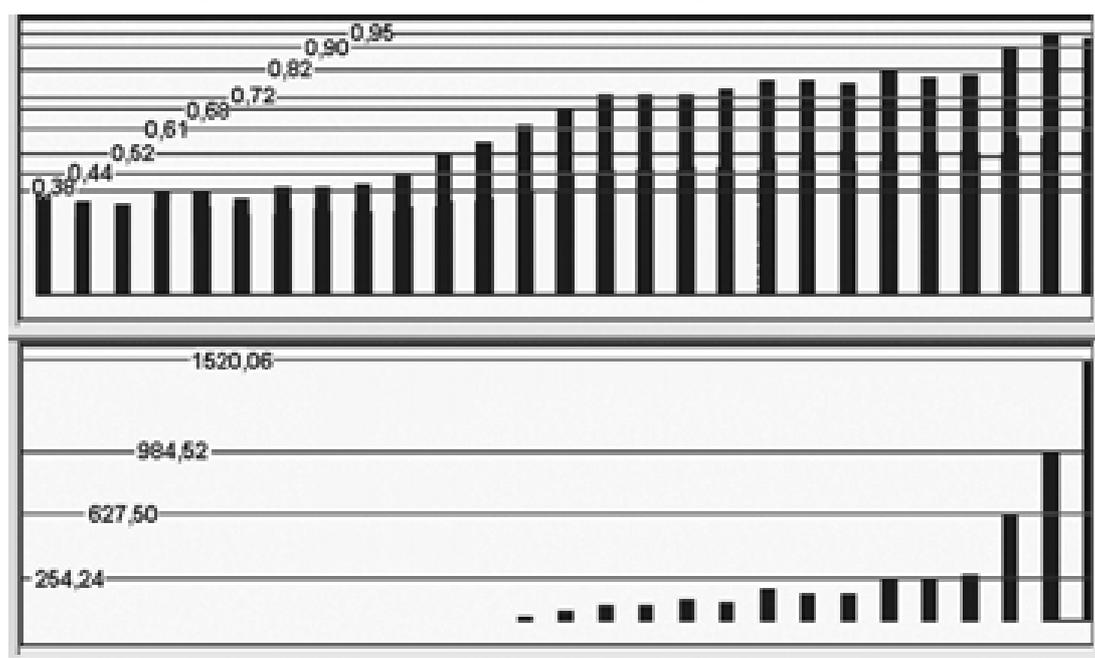


Figura 6 – Valores obtidos de DPO e DPKS, respectivamente – Peça 4

Para se analisar os resultados montou-se às tabelas seguintes para cada um dos parâmetros de queima.

	<b>Queima Leve</b>	<b>Queima Média</b>	<b>Queima Severa</b>
Peça 1	0,77	0,9	não houve
Peça 2	Não houve	0,89-1,08	1,18
Peça 3	Não houve	0,81-0,85	0,99
Peça 4	0,61-0,72	0,82 – 0,95	não houve

Tabela 2 – Análise do Parâmetro DPO

	<b>Início da Queima Real</b>	<b>Início da Queima encontrado pelo DPKS</b>
Peça 1	Passada 18	Passada 18
Peça 2	Passada 19	Passada 19
Peça 3	Passada 17	Passada 17
Peça 4	Passada 12	Passada 14

Tabela 3 – Análise do Parâmetro DPKS

A Tabela 2 foi construída coletando os valores do parâmetro DPO onde houve as queimas, subdividindo-a em leve, média e severa. Os campos das tabelas são preenchidos com os valores iniciais e finais para cada um dos níveis de queima. Por exemplo, na peça 2 não houve queima leve. O DPO para queima média ficou entre 0,89 e 1,08 e o DPO na queima severa foi de 1,18.

O parâmetro DPKS, tabela 3, mostra em que passada houve o início da queima, por isso, é apresentado na tabela apenas o momento que o DPKS apresentou variação significativa. Uma das colunas da Tabela 3 mostra o esperado enquanto a outra coluna mostra os resultados do parâmetro. Nota-se que o DPKS acertou em três dos quatro casos, entretanto, o erro não foi tão grande, pois da décima segunda para a décima quarta passada houve uma variação proporcionalmente muito pequena.

O DPO apresentou bons resultados em todas as passadas mostrando-se sempre com muita coerência, pois os níveis de queima leve, média e severa ficaram bem definidos. Pode-se notar que para a queima leve têm-se valores de 0,61 a 0,77. Para a queima média o parâmetro muda e varia entre 0,81 e 1,08. Já na queima severa têm-se valores entre 0,99 e 1,18. Nota-se então que existe uma região sobreposta entre a queima média e severa (de 0,99 a 1,08) que não é possível identificar se houve a ocorrência de queima média ou da queima severa.

É possível notar que todos os parâmetros apresentaram bons resultados identificando a queima, entretanto, nota-se uma certa imprecisão quanto à definição de um patamar de queima seguro.

Percebe-se também que o parâmetro DPKS conseguiu identificar o início e fim da queima, conforme discutido acima. O parâmetro DPKS somente errou na peça 4, onde ao invés de identificar a passada 12, somente apresentou variação significativa na passada de número 14.

## **6. Conclusões gerais**

Todos os parâmetros apresentaram-se satisfatórios. O DPO apresentou uma eficácia excelente para o aço ABNT 1045, podendo assim ser aplicados em situações práticas sem muitos problemas.

Também o parâmetro DPKS atingiu o objetivo esperado para o aço ABNT 1045, mostrando as regiões onde a queima se iniciava e o ponto de maior queima no processo.

Como pretendido, o monitoramento e a detecção da queima de uma peça num processo de retificação fica determinado pelos valores adquiridos do sistema e não apenas à um aspecto visual ou até mesmo à vivência do operador da retificadora.

Pode-se afirmar, portanto, que os parâmetros podem ser usados em conjunto para oferecer resultados mais precisos evitando que alguma decisão precipitada seja tomada.

## Referências

- AGUIAR, P. R. *Monitoramento da Queima Superficial em Processo de Usinagem por Retificação usando a Potência Elétrica do Motor de Acionamento e Emissão Acústica*. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 1997.
- AGUIAR, P. R.; WILLETT, P.; WEBSTER, J. Acoustic Emission Applied to Detect Workpiece Burn During Grinding. *International Symposium on Acoustic Emission (Standards and Technology Update)*. 1999, Fort Lauderdale. S. Vahaviolos. Jan. 1999.
- DINIZ, A. E.; CUPINI, N. L.; VILELLA, R. C. Monitoramento do processo de usinagem por emissão acústica: *XI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica*, São Paulo, dez. 1991.
- INASAKI, I. Sensor Fusion for Monitoring and Controlling Grinding Processes. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 1999, p. 730-736.
- JOHNSON, C. D. *Process Control Instrumentation Technology*. 5 ed. New Jersey: Prentice Hall, 1997, 638 p.
- MALKIN, S. *Grinding Technology: Theory and Applications of Machining with Abrasives*. Chichester: Ellis Horwood, Halsted Press, 1989, 275 p.
- SALMON, S. C. Trabalho não publicado. University of Bristol, 1988
- SHAFTO, G. R. *Creep Feed Grinding*. Tese (Pós-Doutorado) - University of Bristol, Bristol. 1975.
- YASUI, H.; TSUKUDA, S. *Influence of Fluid Type of Wet Grinding Temperature*. Bull-Japan: Soc. of Prec. Eng., 1983. v. 17, n. 2, p. 133-134