



## MÉTODO PARA A DETECÇÃO DA QUEIMA NO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO USANDO EMISSÃO ACÚSTICA E A POTÊNCIA ELÉTRICA DO MOTOR DE ACIONAMENTO

**Paulo Roberto de Aguiar**

DEE-FET-Unesp-Bauru-SP

**João F. G. de Oliveira**

EESC-USP-São Carlos-SP

**Eduardo Carlos Bianchi**

DEM-FET-Unesp-Bauru-SP

**Resumo.** O presente trabalho utiliza um sistema de monitoramento baseado numa plataforma PC, onde o sinal de emissão acústica e o sinal de potência elétrica gerados durante o processo de retificação são empregados para a investigação da ocorrência da queima superficial da peça numa retificadora tangencial plana, para dois tipos de aços, três condições de usinagem e um tipo de rebolo. A partir dos resultados advindos dos ensaios, utilizou-se o software Matlab para a determinação, em cada passada, do desvio padrão dos sinais de emissão acústica, da potência elétrica máxima e do parâmetro DPO estabelecido. Os resultados revelam que ambos os sinais podem ser utilizados para a detecção da queima, e que o parâmetro DPO é o melhor indicador da queima estudado neste trabalho. Isto pode ser explicado pela elevada dispersão do sinal de emissão acústica associado com o alto consumo de potência a medida que o rebolo perde sua afiação. Uma calibração prévia do sistema de monitoramento, independente do parâmetro empregado, se faz necessária para um dado material, rebolo e condições de usinagem.

**Palavras-chave:** Emissão Acústica, Potência Elétrica, Retificação, Monitoramento

### 1. INTRODUÇÃO

O interesse na utilização de máquinas mais inteligentes em ambientes industriais vem crescendo significativamente nos últimos anos, também tendo em vista um maior nível efetivo de automação e maior confiabilidade no processo (Felipe, 1996). O nível de automação até então obtido com a implementação do Comando Numérico Computadorizado - CNC não tem sido suficiente para se obter operações de fabricação industrialmente confiáveis. É, portanto, comum se observar operadores de máquinas acompanhando sistemas CNC para simplesmente corrigir parâmetros ou identificar desgaste, quebra de ferramentas ou defeitos nas peças (Aguiar, 1997, Oliveira et al, 1995).

Neste sentido, recentemente passou a existir uma intensa atividade de pesquisa sobre sistemas de monitoramento de máquinas ferramentas e sua interface com o controle (Aguiar, 1997, Oliveira et al., 1995, Dong et al., 1996, Webster et al., 1994, Kluft, 1993, Konig, 1993).

Tais sistemas, quando integrados ao CNC, em conjunto com tabelas de decisão e bases de conhecimento, constituem as “Máquinas Inteligentes”. Estas são capazes de se auto corrigir e tomar decisões que antes não eram possíveis simplesmente com o CNC.

Um dos problemas mais críticos na implantação do processo de retificação inteligente é a detecção automática de queima superficial nas peças. A queima ocorre durante o corte da peça pelo rebolo, quando a quantidade de energia gerada na área de contato produz um aumento de temperatura suficiente para provocar uma mudança localizada de fase no material de peça. Tal ocorrência pode ser observada visualmente pelo escurecimento da superfície da peça (Malkim, 1989).

Uma aplicação prática do monitoramento da queima pode ser citado na produção e afiação de peças em uma ferramentaria. Neste caso, são retificadas superfícies de corte de estampos cuja vida durante a estampagem é afetada significativamente pela ocorrência de queima superficial na sua afiação. Nestes ambientes, geralmente um operador cuida de diversas máquinas. Para isso, estabelece os parâmetros para dada operação de afiação ou acabamento e em seguida se dirige para outra máquina. A ocorrência da queima da peça, porém, não é monitorada, e portanto, pode comprometer a qualidade da peça e até mesmo um lote inteiro. Isto poderia ser evitado se um sistema de monitoramento de queima fosse implementado ao processo, alertando o operador, ou interrompendo o processo no caso da ocorrência da queima superficial (Aguiar, 1997).

Neste trabalho utilizam-se os sinais de emissão acústica e potência elétrica do motor para se estudar o monitoramento da queima superficial da peça no processo de retificação. O sinal de emissão acústica é muito sensível às variações do processo, porém o seu nível médio é imprevisível, por outro lado, o sinal de potência elétrica é pouco sensível às variações do processo, mas possui um nível médio previsível. Com estas características, vislumbra-se um potencial de se obter informações pela análise simultânea dos dois sinais. Pretende-se então analisar o comportamento do fenômeno da queima pela avaliação destas duas grandezas, sendo este portanto, o objetivo principal deste trabalho: o desenvolvimento de uma metodologia para a detecção da queima durante o processo de retificação.

## **2. MÉTODO PROPOSTO**

Para se detectar a ocorrência de queima superficial durante uma operação de retificação é geralmente necessária uma pesquisa experimental onde as condições de usinagem devem ser estabelecidas e os parâmetros de saída medidos durante o processo. Para o presente trabalho, optou-se pela retificação plana devido a disponibilidade da máquina e da importância do monitoramento de danos nas ferramentas de estampagem. Os materiais empregados, aço ABNT 1020 e VC 131 com durezas diferentes também foram escolhidos com vistas ao grande emprego dos mesmos industrialmente. O rebolo utilizado, de óxido de alumínio de granulometria média, pode ser empregado tanto para operações de desbaste como de acabamento. Três condições de usinagem caracterizando as operações de desbaste, acabamento e acabamento fino foram empregadas, sendo que em todas elas utilizou-se o mesmo tipo de dressagem.

### **2.1 Configuração Utilizada nos Ensaios**

Para os ensaios realizados utilizou-se a configuração mostrada na figura 1, onde pode ser observado a utilização de um encoder para a medição da velocidade da peça, um sensor de emissão acústica acoplado na mesa da retificadora, um módulo para a medição da potência elétrica e uma placa A/D via microcomputador.

### 3. ENSAIOS E RESULTADOS

O principal objetivo dos procedimentos experimentais deste trabalho é avaliar as relações existentes entre a integridade superficial da peça de trabalho e a variação dos valores de potência e emissão acústica.

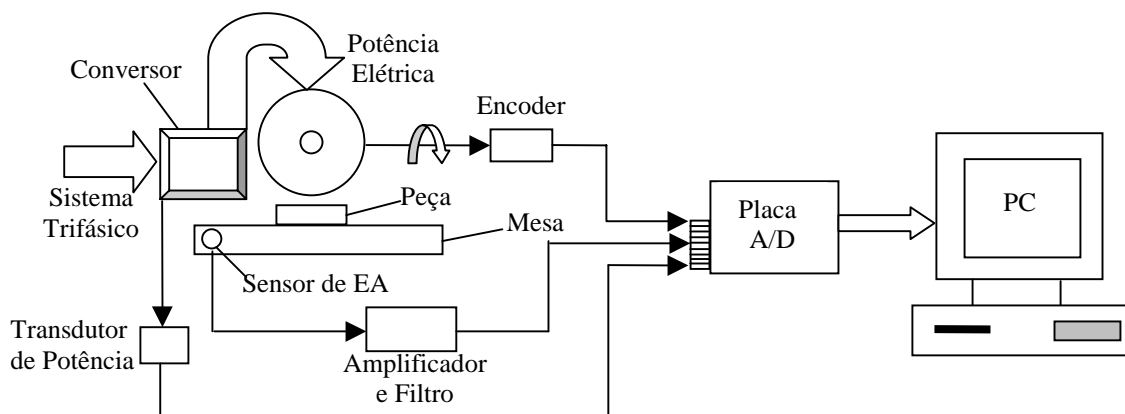


Figura 1 – Configuração Utilizada nos Ensaios

#### 3.1 Condições de Ensaios Utilizadas no Experimento

As tabelas 1 e 2 sintetizam as condições dos ensaios utilizadas. Todos os testes foram realizados sem qualquer fluido de corte, pois isso facilita a visualização da ocorrência da queima na superfície da peça.

Tabela 1. Condições de usinagem para Aço Mole

<b>Rebolo AA 46 M6 V - Ud = 5 - Aço Mole ABNT 1020 – 80 HRb</b>		
$h_{eq} = 0.14 \mu\text{m}$	$h_{eq} = 0.05 \mu\text{m}$	$h_{eq} = 0.03 \mu\text{m}$
$V_s = 23.05 \text{ m/s}$	$V_s = 23.09 \text{ m/s}$	$V_s = 23.03 \text{ m/s}$
$V_w = 0.0439 \text{ m/s}$	$V_w = 0.0456 \text{ m/s}$	$V_w = 0.044 \text{ m/s}$
$a = 73.5 \mu\text{m}$	$a = 25.32 \mu\text{m}$	$a = 15.70 \mu\text{m}$

Tabela 2. Condições de usinagem para Aço Duro

<b>Rebolo AA 46 M6 V - Ud = 5 - Aço duro VC 131 – 59 HRc</b>		
$h_{eq} = 0.14 \mu\text{m}$	$h_{eq} = 0.05 \mu\text{m}$	$h_{eq} = 0.03 \mu\text{m}$
$V_s = 23.03 \text{ m/s}$	$V_s = 23.06 \text{ m/s}$	$V_s = 23.11 \text{ m/s}$
$V_w = 0.044 \text{ m/s}$	$V_w = 0.044 \text{ m/s}$	$V_w = 0.044 \text{ m/s}$
$a = 73.18 \mu\text{m}$	$a = 26.20 \mu\text{m}$	$a = 15.76 \mu\text{m}$

Os valores de  $a$ ,  $V_w$  e  $V_s$  são estipulados durante a realização dos ensaios preliminares, período de verificação do comportamento do banco de ensaios sob diferentes condições de trabalho.

### 3.2 Resultados Advindos dos Ensaios

A partir dos dados obtidos experimentalmente e armazenados em arquivos de dados, são construídos os gráficos de emissão acústica e potência elétrica em função do número de amostras. Esses gráficos mostrados nas figuras 2 a 7, representam as condições de usinagem de acordo com as tabelas 1 e 2, e as medidas efetuadas durante os ensaios são mostradas até o momento da queima da peça, observada pela mudança de coloração na superfície da peça.

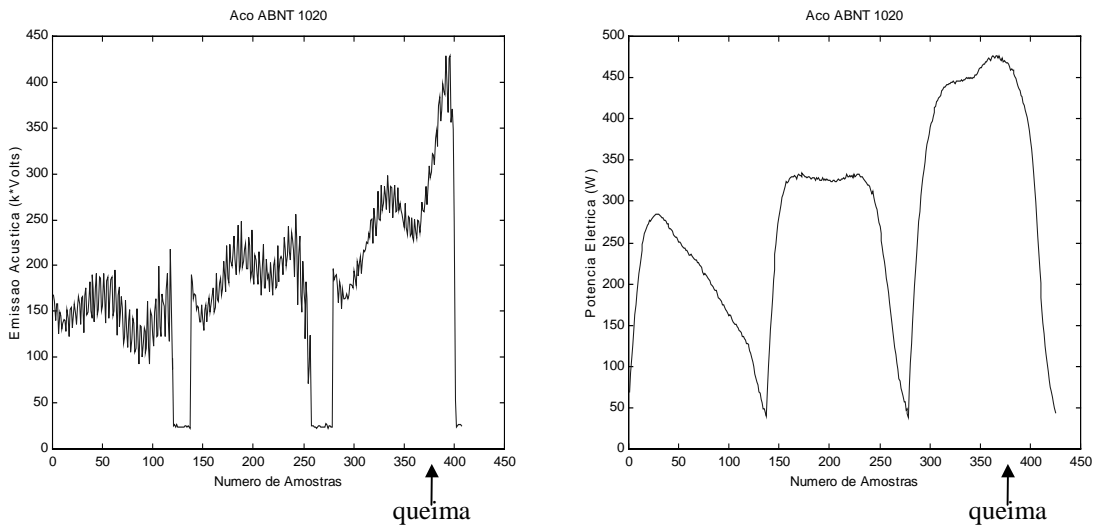


Figura 2 - Potência Elétrica e EA - ABNT 1020 - heq 0.14

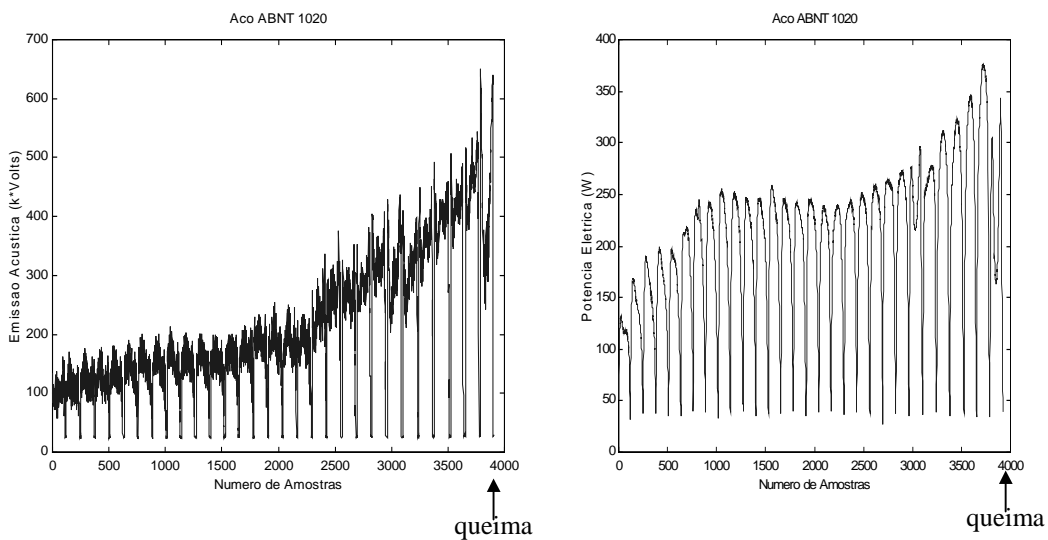


Figura 3 - Potência Elétrica e EA - ABNT 1020 - heq 0.05

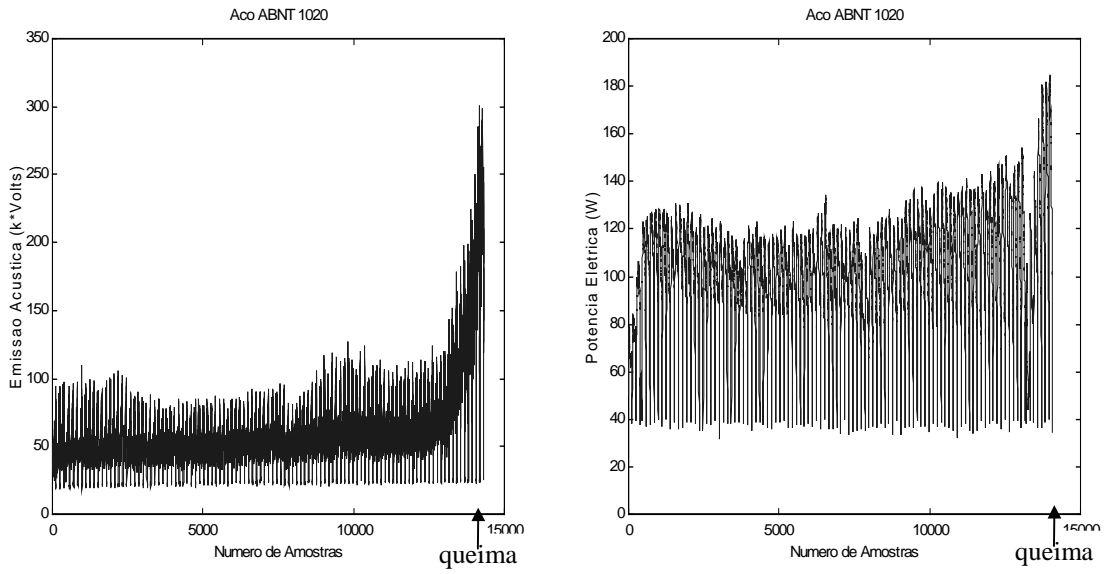


Figura 4 - Potência Elétrica e EA - ABNT 1020 - heq 0.03

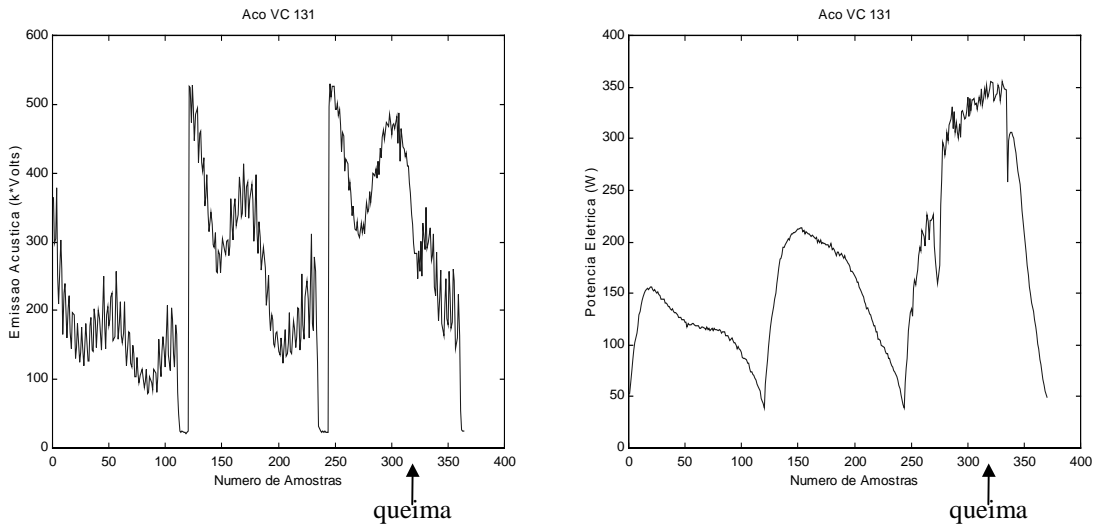


Figura 5 - Potência Elétrica e EA - VC 131 - heq 0.14

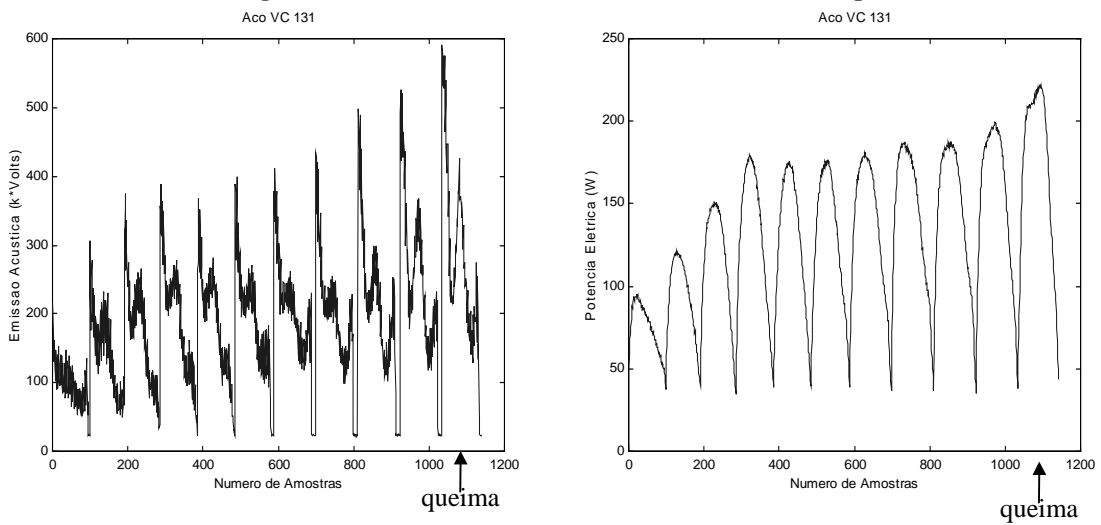


Figura 6 - Potência Elétrica e EA - VC 131 - heq 0.05

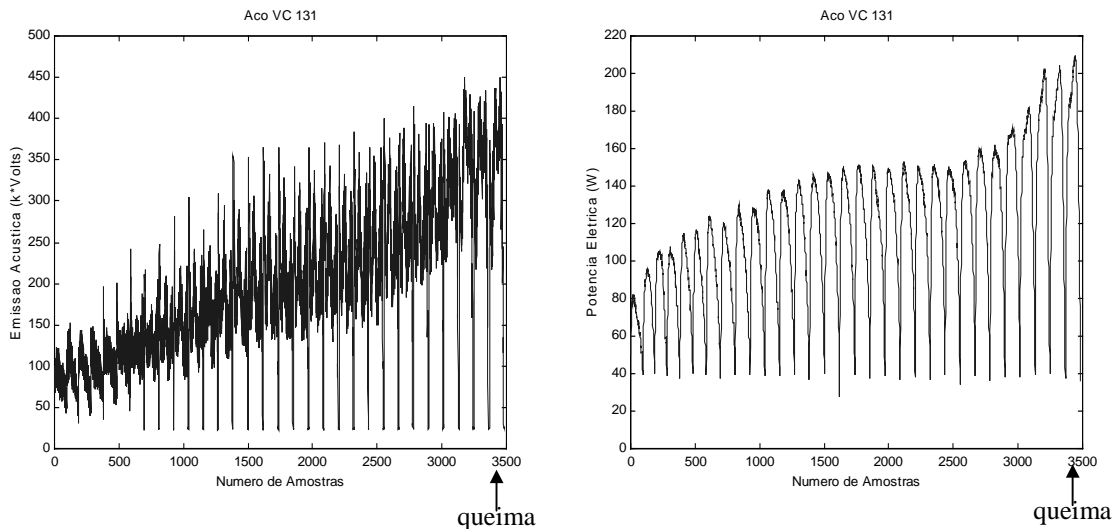


Figura 7 - Potência Elétrica e EA - Aço VC 131 - heq 0.03

De maneira geral, pela análise dos gráficos obtidos nas figuras de 2 até 7, observa-se um crescimento nos sinais de E.A. e Potência ao longo das passadas devido à perda de capacidade de remoção do rebolo. Este fenômeno pode ser melhor observado nos gráficos das figuras 3 e 7, onde há um crescimento quase que contínuo em todas as curvas com o transcorrer dos passes de retificação.

Entretanto, em alguns experimentos, este comportamento não ocorreu da mesma forma apresentada nas figuras 3 e 7. Um exemplo desta mudança de comportamento pode ser observado na figura 6. Nesta figura, observa-se um grande aumento na dispersão do sinal de emissão acústica quanto mais próximo se está do momento da queima. Com relação ao sinal de potência, na mesma figura 6, este tem um comportamento mais estável (principalmente devido a resposta mais lenta do sistema de medição e a própria inércia do sistema mecânico), com um crescimento no nível máximo de potência em cada passada na fase inicial do teste, seguido de uma região de estabilização anterior a um novo crescimento do sinal no momento da queima. Portanto, o sinal de potência elétrica poderia ser usado para a detecção da queima no processo de retificação, desde que um limite seja estabelecido.

#### 4. O PARÂMETRO DPO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Pela análise dos gráficos anteriores, pode-se portanto prever que a combinação da dispersão do nível RMS do Sinal de Emissão acústica com o nível máximo de potência por passada do rebolo possa fornecer informações valiosas sobre o fenômeno da queima superficial. Para isso passa-se agora a analisar o comportamento combinado do desvio padrão do sinal de emissão acústica e do nível máximo de potência por passada através do parametro DPO definido por:

$$DPO = S_{EA} \times Max_{pot} \quad (1)$$

onde,

$S_{EA}$  = Desvio Padrão do nível RMS de emissão acústica por passada do rebolo.

$Max_{pot}$  = Valor máximo do nível de potência por passada do rebolo.

Com o objetivo de tornar mais elucidativa a análise dos resultados, rotinas computacionais são elaboradas no Matlab, para o cálculo dos desvios padrões dos sinais de emissão acústica e para a obtenção do valor de DPO.

Os gráficos referentes aos desvios padrões, potência máxima e do parâmetro DPO em função do número de passadas em cada ensaio são mostrados nas figuras de números 8 a 13.

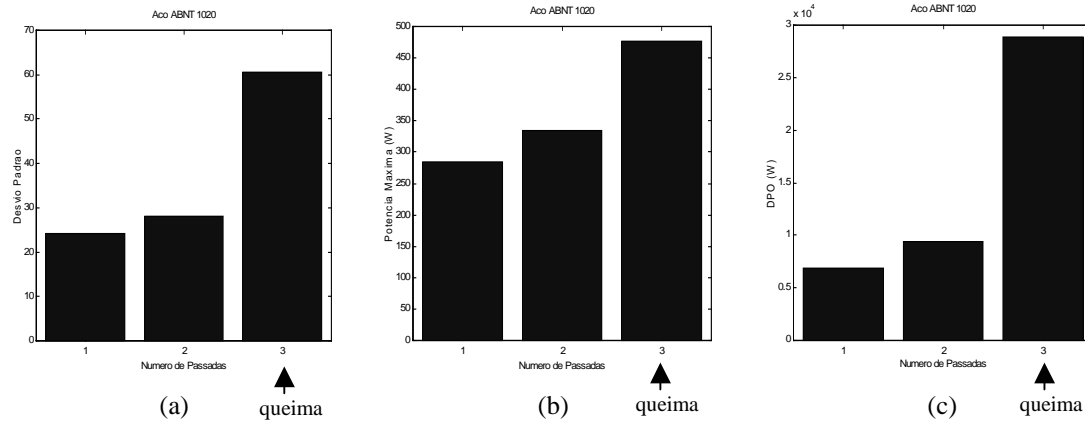


Figura 8 – a) Desvio Padrão de EA, b) Valor Máximo de Potência e c) Produto DPO para o aço ABNT 1020 - heq 0.14

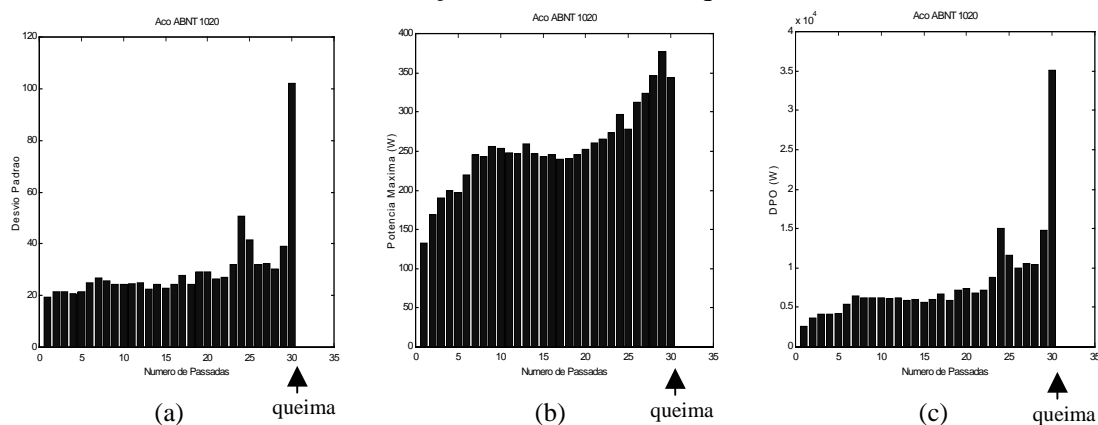


Figura 9 – a) Desvio Padrão de EA, b) Valor Máximo de Potência e c) Produto DPO para o aço ABNT 1020 - heq 0.05

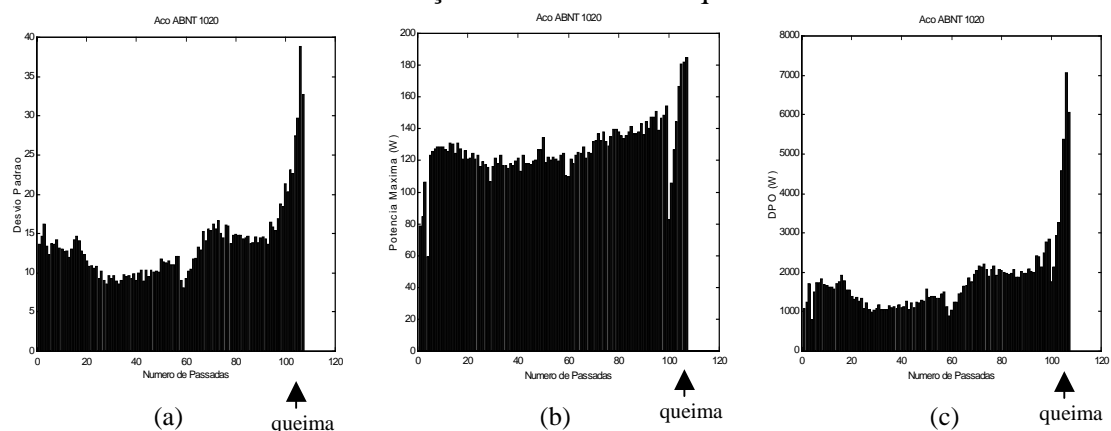


Figura 10 – a) Desvio Padrão de EA, b) Valor Máximo de Potência e c) Produto DPO para o aço ABNT 1020 - heq 0.03

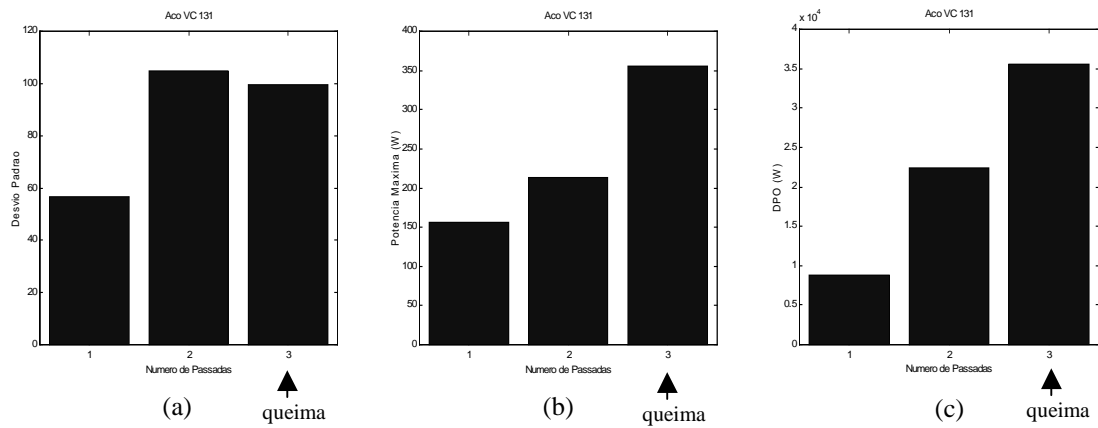


Figura 11 – a) Desvio Padrão de EA, b) Valor Máximo de Potência e c) Produto DPO para o aço VC 131 - heq 0.14

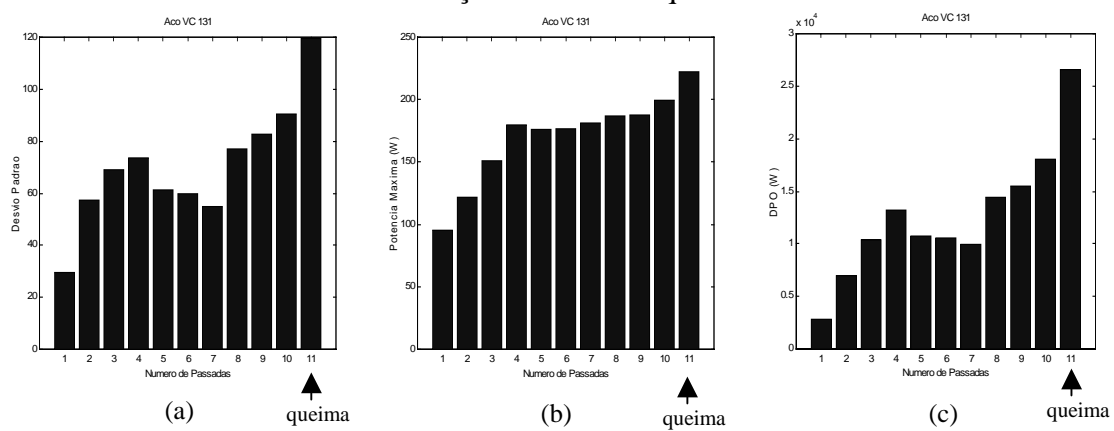


Figura 12 – a) Desvio Padrão de EA, b) Valor Máximo de Potência e c) Produto DPO para o aço VC 131 - heq 0.05

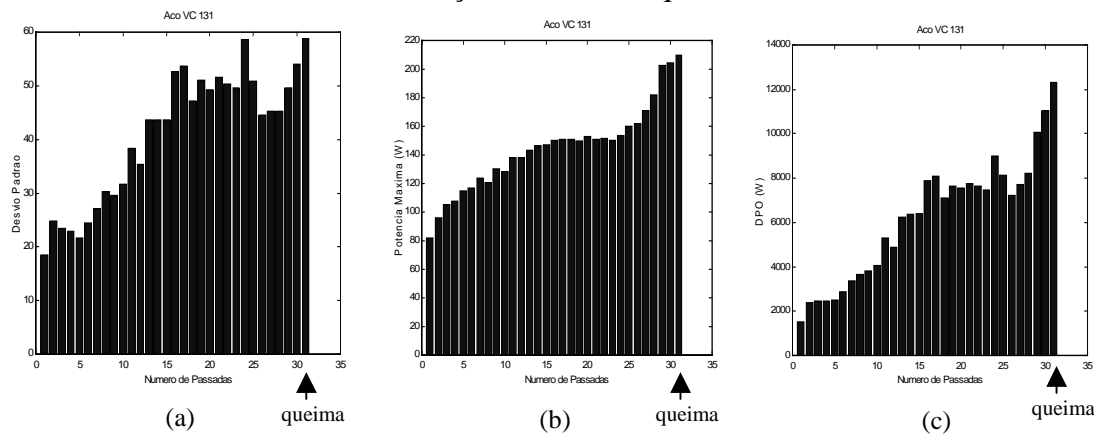


Figura 13 – a) Desvio Padrão de EA, b) Valor Máximo de Potência e c) Produto DPO para o aço VC 131 - heq 0.03

- A partir dos gráficos das figuras de números 8 a 13, as seguintes análises são realizadas:
- Os desvios padrões por passada dos sinais de emissão acústica crescem até o momento da queima para todas as condições de usinagem, exceto para o aço VC 131, heq=0.14, figura 11, onde no momento da queima ocorre uma pequena diminuição do desvio padrão.



- Semelhantemente, a potência elétrica máxima por passada tem seus valores crescentes até o momento da queima, exceto para o aço ABNT 1020,  $heq=0.05$ , figura 9, onde um valor ligeiramente menor é observado no momento da queima.
- O comportamento do parâmetro DPO também revela um crescimento ao longo das passadas até o momento da queima, porém apresenta uma característica mais expressiva em revelar a queima da peça. Este fato é devido em se considerar, neste parâmetro, as variações do sinal de emissão acústica e a potência máxima em cada passada, tornando este parâmetro mais sensível e confiável às variações do processo.
- Com o uso do parâmetro DPO observa-se que a sensibilidade do processo de monitoramento pode ser aumentada no caso de uma aplicação prática. Tal sensibilidade não poderia ser obtida se o parâmetro de análise fosse somente a potência ou E.A. Com o monitoramento de DPO nos ensaios efetuados um sistema poderia detectar a queima para todas as condições testadas. Sendo estas condições representativas de atividades de produção em ferramentarias, pode-se esperar que o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de queima em processos de retificação, utilizando como base o parâmetro proposto DPO, tenha sucesso em aplicações industriais.
- Com relação à estratégia de utilização deste tipo de parâmetro em um sistema de monitoramento para uma aplicação prática, uma possibilidade seria estabelecer um critério com base na comparação com um valor limite de DPO. Neste caso, para cada  $heq$  e material seria estabelecido um valor limite obtido com base em um experimento prévio.

Com a análise dos dados obtidos pode-se entender que existe um grande potencial de utilizar as informações de emissão acústica e potência combinadas para se monitorar a ocorrência de queima em operações de retificação. A aplicação prática dos resultados da presente pesquisa seria na utilização do parâmetro DPO para a construção de um sistema capaz de detectar a ocorrência da queima e interromper o processo ou acionar um alarme visando a correção do problema. A correção do problema seria obtida pela dressagem do rebolo, que poderia ser acionada automaticamente.

## 5. CONCLUSÕES

O presente trabalho objetiva contribuir com uma metodologia e ou procedimentos para tornar viável a implementação do monitoramento da queima no processo de retificação usando os sinais de emissão acústica e de potência elétrica do motor de acionamento do rebolo. A seguir são apresentadas, de forma objetiva, as principais conclusões deste trabalho.

1 - Os níveis de sinais obtidos tanto para a emissão acústica como para a potência elétrica, no momento da queima, atingem valores máximos ou próximos de um máximo para as condições de usinagem utilizadas.

2 - Embora o sinal de emissão acústica tenha se mostrado muito mais sensível quando das variações do processo que o sinal de potência elétrica, para os objetivos deste trabalho que é a detecção da queima superficial, o sinal de potência elétrica se mostrou tão eficiente quanto o sinal de emissão acústica, pois a sua magnitude é mais previsível.

3 - O desvio padrão dos sinais de emissão acústica multiplicado pela potência máxima (definido aqui como parâmetro DPO) calculado por passada, mostra-se ferramenta muito útil para a detecção da queima. Conclui-se, portanto, que este parâmetro é o melhor indicativo da queima aqui estudado e, que pode ser utilizado eficazmente no monitoramento da queima no processo de retificação, sendo necessário apenas um software e ou hardware para processá-lo em cada passada. Um sistema de comparação relativamente simples pode ser implementado, resultando num sinal de controle para o comando numérico da máquina retificadora e ou um sinal de alarme avisando o operador que a queima da peça ocorreu. Também para esse caso, uma calibração prévia do sistema se faz necessária.

4 - Para uma implementação mais econômica de uma sistema de monitoramento da queima, sugere-se, baseado nas análise dos resultados, onde se constatou que um nível máximo de potência ocorre no momento da queima, a utilização do método de medida da potência elétrica do motor de acionamento do rebolo, por se tratar também de um método simples e de fácil implementação, possuindo confiabilidade apreciável quando comparada com aquela do monitoramento usando emissão acústica, uma vez que o objetivo desse trabalho é a detecção da queima e não a sua predição. Uma vez detectada a queima, seja através da potência instantânea ou da potência máxima por passada, o sistema de monitoramento pode facilmente prover um circuito simples, o qual enviaria um sinal de alarme para o operador ou mesmo um sinal de controle para que o processo seja interrompido, minimizando a quantidade de peças danificadas num processo de fabricação.

## **6. Referencias Bibliográficas**

- 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 de Doutorado, Escola Politécnica da USP, Dezembro, 1997.
- Dong, W. P. & Webster, J. A. "Assessment of Frequency Characteristics of Acoustic Emission in Grinding", Proceedings - International Manufacturing Engineering Conference, University of Connecticut, August 1996.
- Felipe Jr, J. "Contribuição para Implementação de Funções de Retificação Inteligente (RI) Utilizando Técnicas de Monitoramento por Emissão Acústica", Tese de Doutorado, EESC, USP, São Carlos, 1996.
- Kluft, W. “Monitoring the Grinding and Dressing Operations Increases Output and Quality and Reduces Costs and waste”, In: 5<sup>th</sup> International Grinding, October 1993, Cincinnati, Ohio.
- Konig, W. "Monitoring and Sensor Concepts for Higher Process Reliability", In: 5th International Grinding, October 1993, Cincinnati, Ohio.
- Malkin, S. "Grinding Technology - Theory and Applications of Machining with Abrasives", Ellis Horwood Limited Publishers, Chichester, Halsted Prtess: a division of John Wiley & Sons, 1989.
- Oliveira, J. F. G. et al. "Monitoramento do Processo de Retificação CNC por Emissão Acústica", In: Congresso Anual da Sobracon, 2, 1995, São Paulo.
- Webster, J., Marinescu, I. & Bennett, R. "Acoustic Emission for Process Control and Monitoring of Surface Integrity during Grinding", Annals of the CIRP, Vol. 43/1/1994, pp. 299-304.

### **METHOD FOR BURN DETECTION IN GRINDING PROCESS BY ACOUSTIC EMISSION AND ELECTRIC POWER**

This work uses a monitoring system based on a PC Platform, where the electrical power signal and acoustic emission signal generated during the grinding process are used to investigate superficial burning occurrence in a surface grinding operation using two types of steel, three grinding conditions and an Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> vitrified grinding wheel.