

GESTÃO E INFLUÊNCIAS DOS PROCESSOS DE DESGASTE POR ABRASÃO¹

*Fernanda Batista Gonçalves²
Marcelo Yuiti Sasaki³
Rafael Salomão⁴*

Resumo

Este trabalho apresenta os principais aspectos a serem considerados nos processos industriais que envolvem abrasão, bem como aqueles relacionados à sua adequada gestão. Serão expostas as principais ferramentas importantes ao bom desempenho dos processos de abrasão e como essas podem ser utilizadas pelas empresas em relação ao monitoramento de seus processos produtivos. O estudo desses processos é particularmente interessante, pois pode gerar um conjunto de benefícios, tais como a redução do custo total por peça, o aumento de produtividade, a redução do tempo de ciclo, a melhoria da qualidade do produto e como consequência a redução do custo do processo.

Palavras-chave: Processos de abrasão; Teoria de sistemas; Gestão; Análise sistêmica.

MANAGEMENT AND KEY FACTORS ON THE OPERATION OF ABRASION WEARING

Abstract

This paper presents the main issues to be considered in the process of abrasion, as well as those related to their proper management. The most important tools for a suitable performance of the abrasion processes are exposed and also how they can be used by companies regarding the monitoring of its production processes. The study of these process present interesting technological effects, because it can generate several benefits, such as reducing the total cost per piece and cycle time, increasing productivity, improving product quality and consequently reducing the cost of process.

Key words: Abrasion process; Systems theory, Management, System approach.

¹ *Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Saint-Gobain Abrasivos Ltda, Universidade Federal do ABC*

³ *Saint-Gobain Abrasivos Ltda*

⁴ *Universidade Federal do ABC*

1 INTRODUÇÃO

Processos de desgaste por abrasão podem ser descritos como uma operação na qual novas superfícies são geradas, utilizando-se de ferramentas abrasivas.⁽¹⁾ O desgaste de materiais por abrasão com a utilização de rebolos, lixas e discos de corte é uma operação que a maioria das empresas possui em seus processos de fabricação, desde o desbaste até o polimento de materiais. Devido a isso, a gestão destes processos deve receber atenção especial, principalmente com relação aos controles necessários para estabilizar seu funcionamento.

As indústrias que utilizam processos e equipamentos de abrasão, como fabricantes de peças automotivas, próteses ortopédicas, móveis, entre outros, têm apresentado uma clara tendência em relação ao aumento da produtividade, à redução do tempo de ciclo de produção, à redução de operações improdutivas, à minimização da troca de ferramenta (*set-up*) e à melhoria da qualidade superficial das peças. Com uma visão da análise sistêmica do processo são grandes as chances de alcançar resultados que vão de encontro a essas tendências.

Visando sempre a melhora dos resultados técnico-econômicos da operação, para a solução de potenciais problemas, esses processos devem ser compreendidos em todos os seus aspectos atribuindo-se uma análise sistêmica,⁽²⁾ conforme demonstrado no Quadro 1. Esta abordagem pressupõe a existência de fatores de entrada, processo e saída. Como fatores de entrada podem-se considerar: a maquinaria, as peças-obra (peça que está sendo produzida), as ferramentas abrasivas e os fatores operacionais inerentes à operação. Na etapa de processamento ocorrem as medições e/ ou as variáveis macroscópicas. Na etapa de saída, têm-se os resultados interessantes aos agentes influenciados pelo sistema.⁽¹⁾

	ELEMENTOS	EXEMPLOS
Fatores de Entrada	Maquinaria	Lixadeira, Retífica, Politriz
	Peça-Obra	Anel de Pistão, Roda, Prótese Ortopédica, Cadeira
	Ferramenta Abrasiva	Lixa, Rebolo, Disco de Corte
	Fatores Operacionais	Velocidade de Passagem, Pressão de Trabalho, Rotação
Fatores de Processo	Medições ou Variáveis Macroscópicas	Rugosidade, Tamanho, Circularidade
Fatores de Saída	Resultado Técnico	Redução de Refugo, Otimização do Processo
	Resultado Econômico	Redução do Custo do Processo, Redução do Tempo do Ciclo de Trabalho

Quadro 1. Etapas de uma análise sistêmica.⁽³⁾

Soluções de problemas geradas por meio de uma abordagem de sistemas são, em geral, mais eficazes do que o aprofundamento do problema particular em questão. Isto significa compreender certo problema sob uma perspectiva mais ampla, ou seja, sob um ponto de vista de sistemas. A falta dessa maneira de analisar os problemas pode dificultar a identificação do real motivo que esteja acarretando determinado problema.⁽⁴⁻⁷⁾

A Teoria Geral de Sistemas é, em princípio, capaz de dar definições exatas para tais conceitos e, em casos específicos, capaz de colocá-los para uma análise quantitativa.⁽⁵⁾ Sua aplicação à gestão dos processos de abrasão, bem como seu monitoramento e avaliação, são os objetivos deste trabalho.

2 COMPONENTES DA ANÁLISE SISTÊMICA

O objetivo da análise sistêmica é de realizar uma abordagem detalhada com melhorias na saída do sistema e/ ou benefícios econômicos.^(1,5) Um sistema pode ser definido como um conjunto de elementos interdependentes, relacionados cada um ao seu ambiente de modo a formar um todo organizado.⁽⁴⁾ Quando algum elemento como uma organização, por exemplo, é examinada a partir da perspectiva de sistema, isto significa que atenção especial é dada tanto aos elementos como à sua interação. Uma conexão lógica entre os fatores de entrada e os princípios que regem as suas interações conduz a uma compreensão profunda das conseqüências do processo. Essas conseqüências são ainda mais evidentes entre os resultados técnicos e o seu valor nas saídas e/ ou benefícios econômicos.⁽⁷⁻⁸⁾ Uma abordagem de sistemas aplicada a processos de desgaste por abrasão pode promover melhorias significativas em termos técnicos e econômicos, conforme será visto detalhadamente, a seguir.

2.1 Fatores de Entrada

2.1.1 Maquinaria ou equipamentos

Podem ser considerados, por exemplo, as condições gerais do equipamento no que se refere à sua estrutura e vibração. Deve-se manter a manutenção preventiva em dia, evitando assim que problemas provenientes do equipamento possam influenciar negativamente o processo de abrasão. Nesses equipamentos problemas em rolamentos, folga em mancais e desalinhamentos de componentes podem causar inúmeros problemas, como vibrações durante a operação. As vibrações são classificadas como vibração forçada ou vibração causada pelo próprio funcionamento do sistema. Uma causa muito comum de vibrações forçadas é por desbalanceamento na rotação dos componentes. Como conseqüência, esta vibração é transferida diretamente para a peça-obra e/ ou ferramenta abrasiva durante o processo de abrasão, podendo ocasionar marcas na peça, corte desalinhado, produtos fora de tolerância e principalmente podendo afetar a segurança da operação, como por exemplo, a quebra de um rebolo.⁽⁹⁾

2.1.2 Peça-obra

É necessário para uma melhor especificação dos processos produtivos envolvidos o conhecimento da peça-obra a ser trabalhada. Considera-se uma peça-obra o objeto ou parte de um objeto sob o qual o processo de abrasão é aplicado. É de grande importância conhecer o tipo de material (metal ferroso, metal não ferroso ou não metal) assim como suas propriedades (dureza, resistência a tração,

resistência a abrasão, ductilidade, entre outros). Este conhecimento é determinante no momento de especificar o tipo de trabalho a ser realizado na peça, o melhor equipamento e qual a ferramenta abrasiva mais adequada para o processo. Por exemplo, pode-se considerar a fabricação de uma prótese ortopédica que pode ser de diversos materiais tais como o aço inox, o titânio e o cromo-cobalto, variando, assim, o seu custo ao consumidor e sua qualidade. Estes materiais têm propriedades distintas, como a dureza, a resistência a abrasão e diferenciam-se entre metal ferroso e não ferroso. O seu processo de lixamento não pode ser igual, uma vez que suas propriedades são distintas o seu lixamento terá fatores operacionais distintos, tal como a velocidade de trabalho, e o grão abrasivo que será aplicado também será diferenciado. Com essas especificações mais focadas por peça-obra pode-se obter um ganho significativo no consumo do abrasivo e na qualidade da peça.

2.1.3 Ferramentas abrasivas

Mediante o trabalho a ser realizado é necessário especificar a melhor ferramenta abrasiva (dentre as inúmeras possibilidades existentes no mercado), identificar qual delas é a mais indicada para determinada máquina, material e operação, assim como qual pode gerar a melhor relação custo benefício para a operação. Por exemplo, em um processo na qual se deseja remover as marcas de um cordão de solda pode-se utilizar ferramentas abrasivas distintas, como um disco de lixa ou um disco de desbaste. No entanto, para que se possa decidir qual é a ferramenta mais adequada é necessário entender qual a quantidade de material a ser removido, qual o acabamento necessário e quais são os equipamentos disponíveis. A partir disso, pode se decidir qual gerará a melhor produtividade para a operação.

2.1.4 Fatores operacionais

Os fatores operacionais são os parâmetros que podem ser ajustados e alterados no processo de abrasão de maneira significativa, tais como a pressão de trabalho, a velocidade de abrasão, a velocidade e a orientação da peça-obra, o sistema de refrigeração, entre outros. Os ajustes desses fatores podem ter impacto significativo no processo, como a melhoria do desempenho da ferramenta abrasiva e a melhoria do acabamento da peça-obra. Na Figura 1, podem-se observar exemplos de como dois fatores operacionais afetam o resultado do processo. Maiores valores de pressão de trabalho levam a uma maior remoção de material, por outro lado, quando se aumenta a velocidade de lixamento melhora-se a qualidade do acabamento da peça que está sendo produzida.

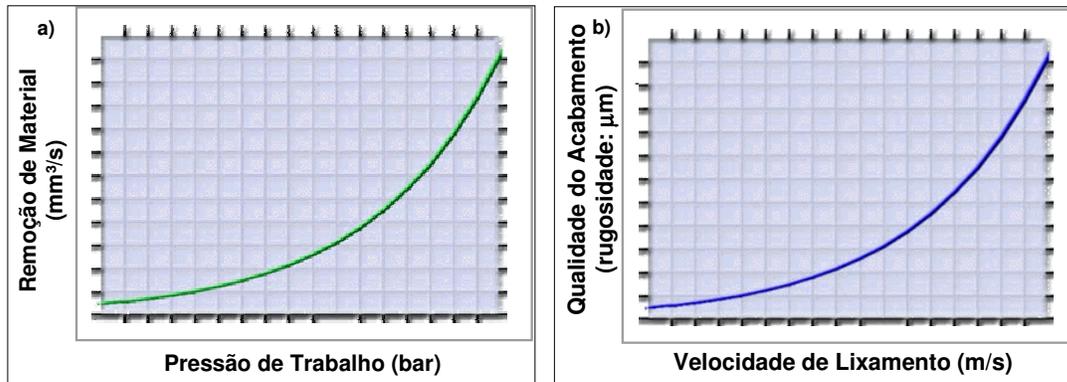


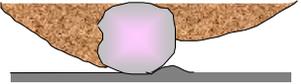
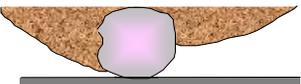
Figura 1. Curvas típicas de a) Pressão de Trabalho versus Remoção de Material e b) Velocidade de Lixamento versus Qualidade do Acabamento.⁽³⁾

2.2 Fatores de Processo

Devido à sua característica multidisciplinar, essa etapa da análise pode exigir do examinador conhecimentos específicos de diferentes áreas como instrumentação, estatística, metrologia e ciência dos materiais.

2.2.1 Medições ou variáveis macroscópicas

Na etapa de processamento ocorrem as interações microscópicas nas zonas de abrasão, bem como as medições e/ ou as variáveis macroscópicas. Neste caso é importante compreender as interações do produto abrasivo com a peça-obra, conforme demonstrado no Quadro 2, este entendimento proporcionará a compreensão dos mecanismos de desgaste do material.

INTERAÇÕES	CARACTERÍSTICAS
<p>1.ABRASIVO/PEÇA</p>  <p>CORTE (PROCESSO DE CISLHAMENTO DO MATERIAL)</p>	Capacidade do grão abrasivo interagir com o material da peça obra e formar cavacos por meio do corte.
 <p>DEFORMAÇÃO (PROCESSO DE DESLOCAMENTO DE MATERIAL)</p>	Início do processo de formação de cavaco.
 <p>ATRITO DO GRÃO (PROCESSO DE MODIFICAÇÃO SUPERFICIAL)</p>	Eminência do grão abrasivo cortar o material.
<p>2.CAVACO/LIGA</p>  <p>FRICÇÃO CAVACO</p>	O cavaco interage com a liga da ferramenta abrasiva. Exemplo: o empastamento (obstrução prematura dos grãos abrasivos).
<p>3.CAVACO/PEÇA</p>  <p>FRICÇÃO CAVACO</p>	O cavaco interage com a superfície da peça. Exemplo: a queima.
<p>4.LIGA/PEÇA</p>  <p>ATRITO DE LIGA</p>	A liga da ferramenta abrasiva interage com a superfície da peça. Exemplo: dificuldade de corte.

Quadro 2. Representação esquemática das diversas possíveis interações da ferramenta abrasiva com a peça-obra.⁽³⁾

2.2.2 Monitoramento de processos

O monitoramento de processos por meio de equipamentos eletrônicos auxilia na busca pela compreensão em operações produtivas, incluindo os processos de abrasão. Com isto, pode-se por meio da análise de dados coletados por estes equipamentos focar em soluções do processo pela incidência do problema, deixando a solução através da tentativa e erro de lado. Este tipo de solução vem de encontro com as necessidades da indústria moderna, na qual as pessoas responsáveis pelo processo produtivo já não permitem que a solução de problemas ou a busca deles sejam realizadas sem informações concretas. Estas ferramentas proporcionam uma abordagem diferenciada nas soluções de problemas e no desenvolvimento de novos processos, diminuindo, assim, a possibilidade de erros, isso se dará por meio do uso correto das informações coletadas.

2.3 Fatores de Saída

2.3.1 Resultados técnicos

Resultados técnicos são gerados a partir do atendimento das especificações técnicas para produzir determinado produto, como, as tolerâncias dimensionais necessárias da peça. A otimização do processo, a redução de defeitos, a redução de refugo são objetivos comuns às empresas dos mais diversos setores industriais, de forma que, analisando tecnicamente se todos os itens das etapas de entrada e processo foram devidamente compreendidos, torna-se provável que se alcance resultados técnicos eficazes durante a operação.

2.3.2 Resultados econômicos

A somatória dos custos de entrada, de processo e de saída gera o custo total de um processo de desgaste por abrasão. O resultado do sistema seria o valor e o benefício percebido pelo usuário final. O significado da redução de custos em um processo de abrasão é conseguir o máximo de rendimento no menor tempo possível, garantindo que a peça esteja dentro das características dimensionais exigidas pelo cliente.

3 APLICAÇÃO DA ANÁLISE SISTÊMICA

Se o somatório das variáveis do processo estiver de acordo com os níveis de tolerância permitidos, o resultado técnico e econômico poderá ser considerado como satisfatório conforme demonstra a Figura 2a. No entanto, caso alguma das variáveis esteja além dos níveis de tolerância permitidos, os resultados técnicos e econômicos poderão ser considerados como negativos conforme demonstra a Figura 2b. Como exemplo de uma situação considerada negativa, pode-se citar a quebra de uma ferramenta abrasiva que pode vir a danificar o equipamento,⁽¹⁰⁾ inutilizar a peça-obra e parar a produção por tempo indeterminado.

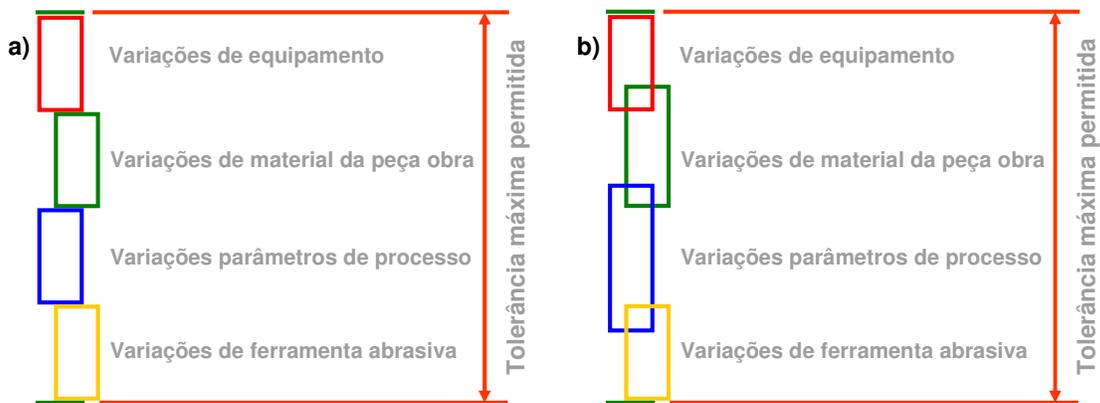


Figura 2. a) Variáveis do processo dentro das tolerâncias. b) Variáveis do processo fora das tolerâncias.⁽³⁾

O monitoramento e interpretação dessas variáveis são de grande importância. A gestão ineficaz do processo poderia causar um aumento significativo do consumo de abrasivos, do refugo de peças, da manutenção com máquina, entre outros problemas que podem gerar, inevitavelmente, aumentos proporcionais nos custos do processo. Sabendo que o custo total engloba o custo com abrasivo, o custo com troca de ferramental (*set-up*) e o custo hora-máquina todas as melhorias realizadas em qualquer que seja a etapa impactará no custo total.

4 ADEQUAÇÃO DA ANÁLISE SISTÊMICA

No caso de uma falha, a coleta de dados do processo e sua análise são habilidades que podem ajudar a compreender quantitativamente e qualitativamente (i) o que ocorreu; (ii) de que forma ocorreu; (iii) prováveis efeitos causadores. Tal compreensão pode ajudar a eliminar empirismo da procura pela causa dos problemas, bem como a maior satisfação das necessidades do cliente e/ ou processo.

Alguns parâmetros podem ser monitorados durante o processo de abrasão para descobrir sua causa. Estes são parâmetros matematicamente computados que representam como os eventos ocorreram durante o processo. Os parâmetros derivados normalmente combinam os efeitos de diversos parâmetros calculados ou medidos, e através da análise permite compreender as interações microscópicas, que acontecem no local do desgaste. Estes parâmetros, conforme demonstrados na Figura 3 justificam os eventos que acontecem durante o processo de desgaste. Todos estes parâmetros devem ser compatíveis com a qualidade das ferramentas usadas para medir o processo (resolução, precisão, reprodutibilidade).

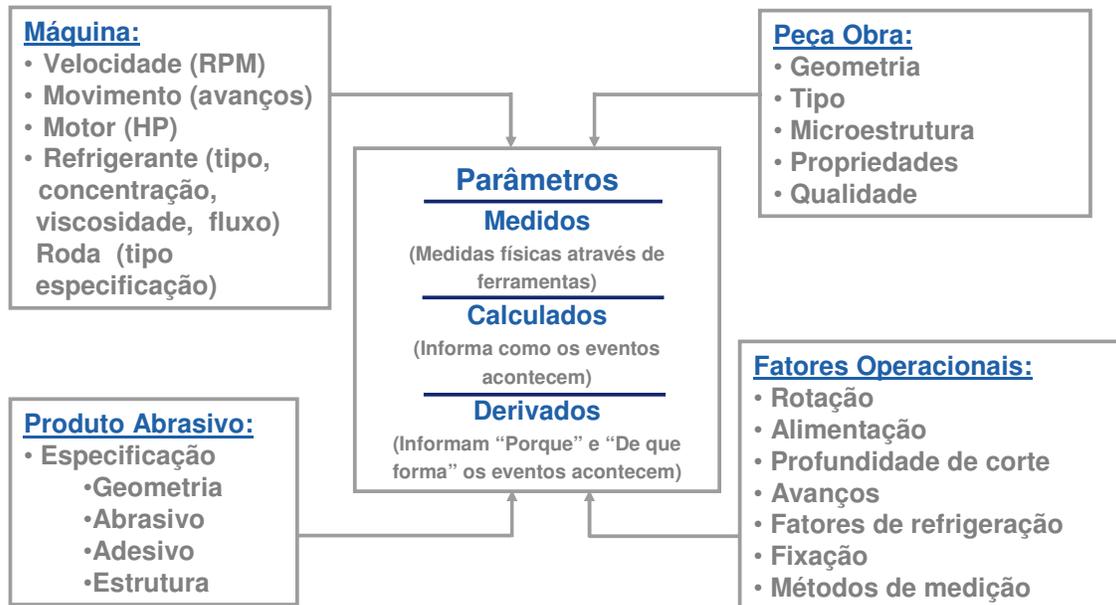


Figura 3. Parâmetros que podem influenciar no processo de desgaste por abrasão.⁽¹⁾

A compreensão do processo de abrasão como um sistema se completa quando as medições do processo e a correta análise das informações coletadas indicam exatamente quais serão as novas contribuições para a solução do problema ou para a otimização do processo em estudo. Esse quadro pode ser denominado de gerenciamento do processo, buscando a compreensão exata das suas interações. Pequenas modificações nestas interações podem proporcionar grandes mudanças nos resultados. Modificações simultâneas nos quatro grupos quase sempre levam a resultados pouco específicos, sem obter realmente dados suficientes para saber qual modificação trouxe os resultados positivos. A análise destas medições de maneira correta ajuda neste gerenciamento.

Frente à alguma situação diferente, como por exemplo, um novo processo, um problema no atual, ou até mesmo uma mudança de parâmetros, pode-se estudá-lo de trás para frente. Começa-se o estudo com o levantamento das necessidades, para enfim estudar e compreender as interações e após isso chegar a uma conclusão e solução para a situação, conforme demonstrado na Figura 4. Esta solução pode ser alcançada por meio de especificações das ferramentas abrasivas, da peça-obra, da máquina ou mudanças nos fatores operacionais.

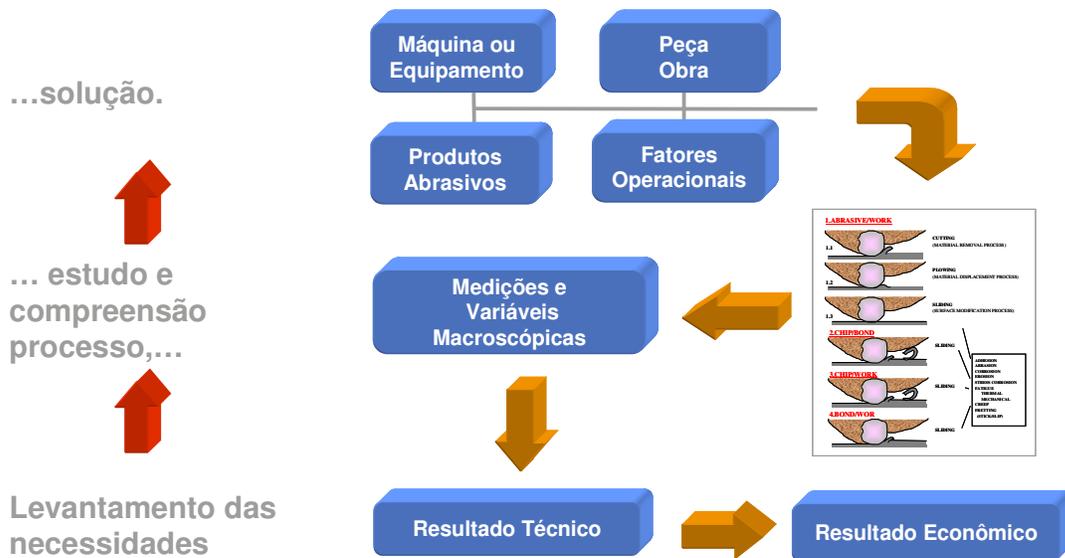


Figura 4. Fases da aplicação da análise sistêmica.⁽¹⁾

Para ilustrar o uso desta metodologia, será apresentado a seguir um estudo de caso acompanhado pelos autores, em uma empresa fornecedora de peças automotivas, em 2006.

4.1 Estudo de Caso

Em um processo de lixamento de um anel de pistão, foi detectado o seguinte problema: uma lixa, utilizada como ferramenta abrasiva, não removia a quantidade de material determinada para a operação. Em uma visão não sistêmica, a ação mais provável seria a troca da lixa por uma que removesse mais material. Alguns exemplos de efeitos que essa análise menos elaborada poderia causar envolvem, por exemplo, o maior custo com a lixa e o aquecimento da peça com conseqüente mudança de suas propriedades.

O passo inicial deste caso foi à análise do sistema com o auxílio de um equipamento de monitoramento de potência, denominado FIS (*Field Instrumentation System*). A principal função deste equipamento é levantar um diagnóstico completo da operação. O FIS é composto por quatro componentes (i) wattímetro que permite a medição da potência consumida pelo motor elétrico do cabeçote de lixamento (ligação trifásica); (ii) LVDT um sensor de deslocamento do cabeçote de lixamento, na qual se consegue obter dados de deslocamento (remoção de metal) e avanço; (iii) conversor de sinais, na qual converte os sinais de potência coletadas pelo wattímetro em sinais digitais que possibilita a sua visualização gráfica e (iv) um programa que possibilita a visualização dos gráficos de potência e deslocamento na tela do computador, além de elaborar outros cálculos importantes.

O nível de remoção de material de uma determinada peça pode ser diretamente associado ao consumo de potência do equipamento. Por se tratar de uma análise contínua e em tempo real (em oposição à pesagem individual de cada amostra) apresenta grande versatilidade e praticidade. Embora possa haver certas limitações desse método para condições extremas de operação, a experiência tem mostrado resultados consistentes na grande maioria das condições usuais empregadas nesses processos.

Por meio do FIS, foi possível medir e monitorar a operação de lixamento obtendo: (i) a potência consumida; (ii) a variação de metal; (iii) os tempos de ciclo e (iv) o comportamento do produto. Foi então definido um planejamento de experimentos, dividido em três etapas, com alterações conscientes em alguns parâmetros do processo como apresentado a seguir.

Etapa 1) Inicialmente aumentou-se a pressão de lixamento, o que faria com que a lixa removesse mais material. Em três diferentes peças (I, II e III), níveis progressivamente maiores de pressão foram aplicados (1,5 bar; 2,0 bar e 2,4 bar, respectivamente). No entanto, este aumento de pressão não solucionou a baixa remoção, conforme demonstrado na Figura 5.

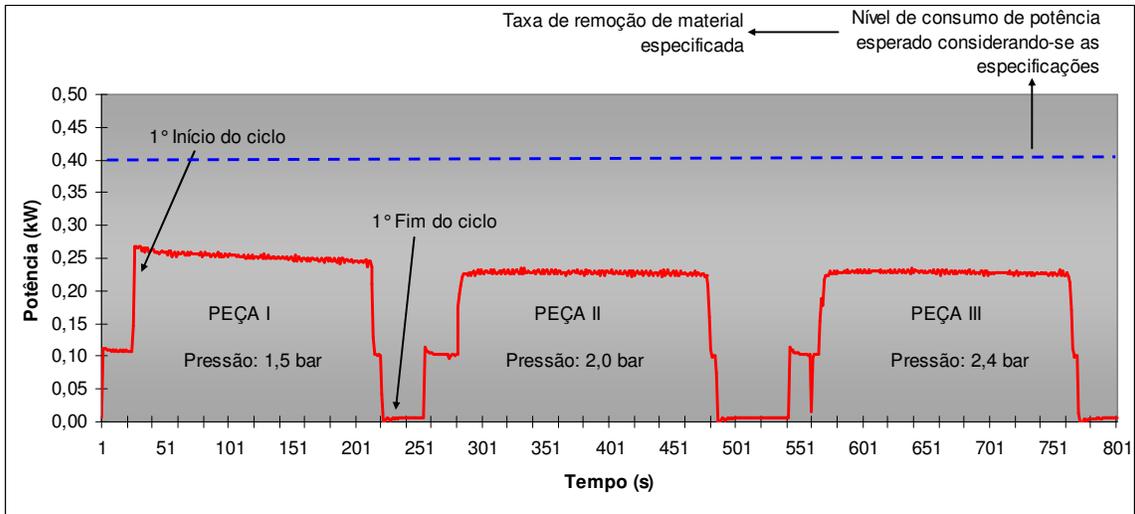


Figura 5. Gráfico de Potência versus Tempo – três ciclos com aumento de pressão.

Etapa 2) Após o primeiro monitoramento, notou-se que, no equipamento havia um limitador de avanço. Desligado este dispositivo, a remoção de material aumentou, utilizando-se a mesma ferramenta abrasiva (lixa) e a mesma pressão (2,4 bar), conforme demonstrado na Figura 6.

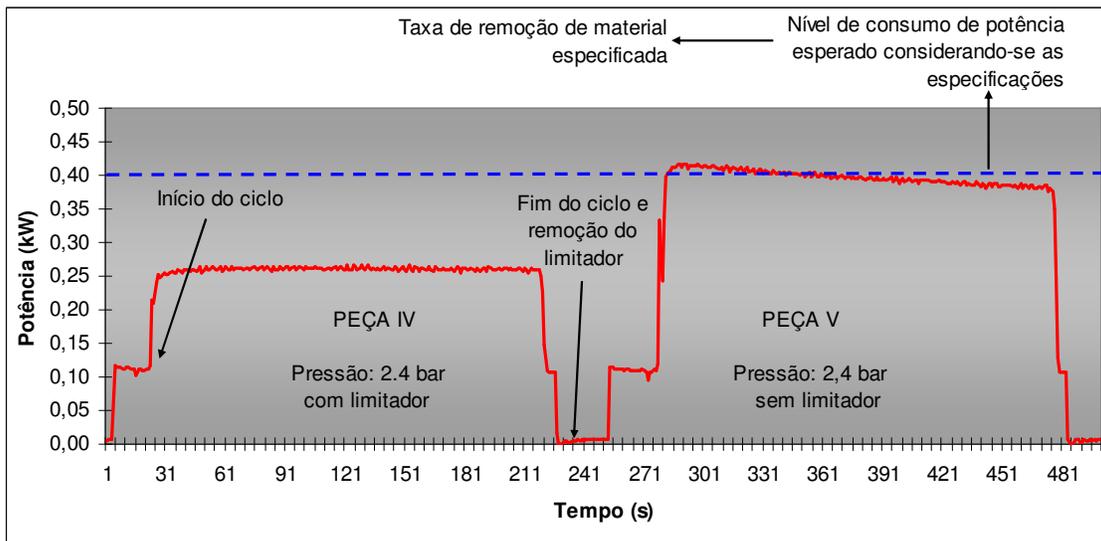


Figura 6. Gráfico de Potência versus Tempo – retirada do limitador de avanço.

Etapa 3) O problema foi resolvido e a remoção de material estabilizada, conforme a Figura 7.

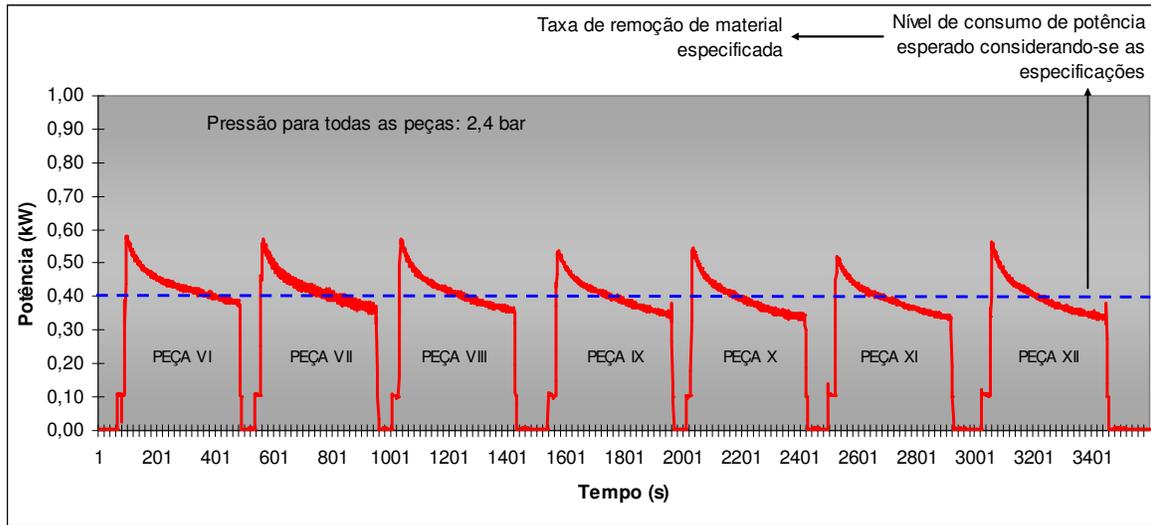


Figura 7. Gráfico de Potência versus Tempo – processo estabilizado.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma nova metodologia de gestão e diagnóstico para operações que envolvam processos de abrasão. Na análise sistêmica, esses processos devem ser vistos de forma sistêmica agrupados em quatro categorias: máquina, ferramenta abrasiva, peça-obra e fatores operacionais, na qual denominados como fatores de entrada. Estes quatro grupos interagem de modo que, todas as características fundamentais de cada um contribuem para que o resultado do processo seja positivo, ou negativo, caso algum destes grupos não funcione corretamente. Estas interações podem ser medidas ou monitoradas por meio de certo número de parâmetros. Estes resultados são descritos como resultados técnicos e seus benefícios e valores técnicos serão definidos como resultados econômicos. Considerando vários aspectos desta metodologia de análise sistêmica, grande parte dos processos industriais que utilizam esse tipo de ferramenta pode se beneficiar desta metodologia.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Saint-Gobain Abrasivos Ltda e em destaque o Departamento de Engenharia de Aplicação pelo suporte fornecido a este trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 SUBRAMANIAN, K. **The System Approach**. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, 2000.
- 2 SCHUPPEN, Jan H. Van. **System theory for system identification**. Journal of Econometrics, v. 118, p.313-339, 2004.
- 3 Apostila de Treinamento. **Operações de Lixamento em Metalurgia**: Saint-Gobain Abrasivos Ltda, 2006.

- 4 SILVA, Reinaldo Oliveira da. **Teorias da Administração**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2001.
- 5 BERTALANFFY, Ludwig von; HEMPEL, C.; BASS, R. & JONES, H. **General Systems Theory**. Human Biology, v. 23, 1951.
- 6 BERTALANFFY, Ludwig von. **General System Theory. Foundations, Development, Applications**. Science, v. 9, p. 681-682, 1969.
- 7 SHAW, Leonard. **System Theory**. Science, v. 27, p. 1005, 1965.
- 8 CADDY, Ian N.; HELOU, Mammy M. **Supply chains and their management: Application of general systems theory**. Journal of Retailing and Consumer Services, v. 14, p. 319-327, 2007.
- 9 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR15230: **Ferramentas abrasivas - Uso, manuseio, segurança, classificação e padronização**. São Paulo, jan. 2008.
- 10 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR14960: **Abrasivos revestidos – Lixas – Requisitos de segurança para seu uso**. São Paulo, jun. 2003.