

Um método simples mais efetivo para medição da performance de processos de manutenção

Prof. Dr. Daniel E. Castro

Professor do Curso de Engenharia Industrial e Mestrado – CEFET-MG
Coordenador de cursos de Pós-Graduação de Eng. de Manutenção –
ABRAMAN – MG
Diretor da Plus Engenharia Treinamento e Consultoria Ltda.

Abstract

Este artigo descreve a atual situação da manutenção nas indústrias brasileiras, mostrando a relação existente entre atividades corretivas e pró-ativas. São discutidas práticas mundialmente reconhecidas em ambientes de manutenção, como RCM, TPM, etc. e suas reais efetividades na redução dos impactos das falhas nos equipamentos industriais. Este trabalho propõe um método simples mais eficaz para reduzir o impacto global das falhas nos sistemas industriais e para medir as efetividades dos processos de manutenção e mostra também alguns exemplos práticos desta metodologia. Os resultados são discutidos em termos de aumento de efetividade nos processos de manutenção e redução do impacto global das falhas nos sistemas de produção.

Introdução

Nas últimas décadas, várias estratégias para melhorar a manutenção de sistemas e equipamentos industriais foram propostas e aplicadas. Estatísticas levantadas pela ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção) mostram que, nos últimos anos, muitas empresas brasileiras têm implementado estratégias reconhecidas mundialmente nos ambientes de manutenção, tais como RCM (Reliability Centered Maintenance), TPM (Total Productive Maintenance), 6-Sigma, etc., com o objetivo de melhorar a performance das atividades de manutenção. Mas, por outro lado, estas mesmas estatísticas mostram que a relação entre as atividades corretivas e o total de atividades realizadas na manutenção tem permanecido inalterada nos últimos dez anos. De acordo com os dados da ABRAMAN, o percentual de atividades corretivas é de 30%, sendo que os 70% restantes representam outros tipos de atividades, tais como manutenções preventivas, preditivas e outras que não estão claramente especificadas nas estatísticas, com características intermediárias entre corretivas e preventivas. Estas atividades recebem diversas denominações nas empresas, tais como atividades corretivas programadas, atividades preventivas não programadas, etc, o que nos leva a concluir que realmente a proporção de atividades corretivas na manutenção é bem superior

à apresentada na estatística da ABRAMAN e pode chegar a cerca de 50% ou mais, valores que são também reconhecidos por outros países, como por exemplo, a Europa e os Estados Unidos. As estatísticas da ABRAMAN mostram também que, apesar desta proporção significativa de manutenção corretiva, a disponibilidade média dos equipamentos devido às falhas de manutenção é de, aproximadamente, 94%. O problema por trás desta disponibilidade relativamente alta é uma eficiência global de máquina (Overall Equipment Efficiency – OEE) muito baixa que, em geral, não supera valores de 50%, de acordo com medições realizadas em setores siderúrgicos e de mineração no Brasil. Isto significa, que a produtividade das máquinas pode ser quase duplicada. Os motivos, que levam a esta baixa eficiência de máquina, são pequenas falhas funcionais originadas por modos de falha muito simples, tais como entupimentos de tubulações, filtros sujos, desgastes excessivos em peças móveis (rolamentos, buchas, etc) que, em geral, não levam à parada das máquinas, mas reduzem significativamente as suas eficiências funcionais durante a operação. Estes tipos de modos de falhas não são atacados por programas periódicos de prevenção nos setores de manutenção e, em geral, são tratados através de atividades corretivas não programadas e aleatórias, o que não garante o seu bloqueio efetivo. Esta situação continua acontecendo, mesmo em empresas com programas avançados de RCM, TPM, etc. É necessário, então, questionar porque apesar da aplicação destas ferramentas o grau de pró-ação da manutenção permanece tão baixo. Um dos motivos para esta situação é o insuficiente ou muitas vezes inexistente controle de processo em todas as rotinas de manutenção, onde em geral as atividades planejadas e não planejadas de manutenção somente são controladas através de parâmetros globais, tais como disponibilidade de máquina e/ou tempos de conserto (MTTR).

Neste trabalho é apresentado e discutido um método para o controle de processo de manutenção de sistemas, baseado no acompanhamento contínuo do perfil de confiabilidade e risco de falha. Estes dois parâmetros são monitorados para medir e controlar a performance de pró-ação dos processos de manutenção.

São também apresentados exemplos de aplicação desta metodologia nas áreas de manutenção veicular e de sistemas de telecomunicação.

Causas da existência de ações corretivas freqüentes e baixos níveis de eficiência global (OEE) em sistemas de produção

A parada de equipamentos não é um evento isolado e sim uma consequência de processos de degradação, que avançam durante a operação normal nos diversos sistemas de uma máquina (Castro, 2001, 2002). Um processo de degradação é uma série de eventos de falha (envolvendo modos de falha e efeitos de falha) que, em geral, são originados em eventos raízes ou causas raízes (do inglês Root Failures) e culminam em paradas imprevistas de máquinas e também em eventos mais críticos como acidentes com sérias consequências para a segurança pessoal e o meio ambiente (ver figura 1).

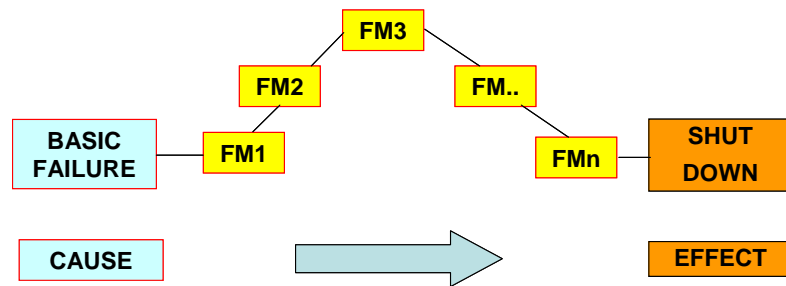


Figura 1 – Exemplo de processo de degradação em um equipamento.

Ao acontecer uma parada imprevista de um equipamento, existe uma forte reação nos setores de produção, que pressionam os setores responsáveis de manutenção para retomar rapidamente a condição funcional da máquina afetada. Neste ambiente de pressão, as equipes de manutenção somente conseguem restituir a condição operacional, consertando o modo de falha que originou diretamente a parada. Em geral, este é o último modo de falha do processo de degradação que afeta a máquina (modo de falha 'FMn' da figura 1). Esta atividade corretiva não elimina as causas raízes do processo de degradação e pouco tempo após este conserto ter sido realizado, a parada da máquina acontecerá novamente. Este ciclo se repete continuamente (ver figura 2), o que explica o alto índice de atividades corretivas existentes nos ambientes de manutenção industrial, fato que é confirmado pelas estatísticas da ABRAMAN. O resto dos modos de falha existentes nos processos de degradação (FM1, FM2, etc) estão sempre ativos e seus efeitos (por exemplo vazamentos, afrouxamento de componentes das máquinas, excesso de vibrações, etc.) reduzem a velocidade operacional e comprometem a eficiência global do parque industrial (redução do OEE). Todos estes efeitos (perdas funcionais menores) não são muito evidentes para o pessoal de operação e manutenção e terminam sendo desconsiderados nas rotinas preventivas realizadas nas máquinas.

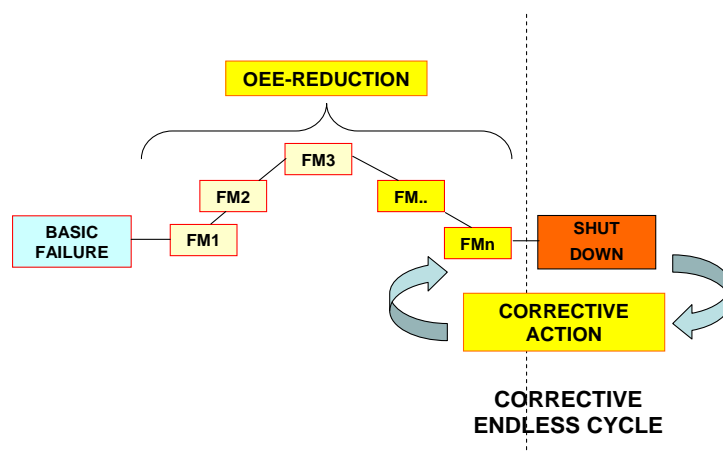


Figura 2 – Efeitos de um processo de degradação em uma máquina.

Parâmetros de controle de processo em manutenção

Para reduzir os índices de parada corretiva em máquinas e elevar os níveis de eficiência global (OEE), o processo de gestão de manutenção deve ser mudado. No contexto das técnicas de controle de qualidade modernas, um processo é uma série de causas que originam um ou vários efeitos e pode ser simbolizado através do chamado diagrama de Ishikawa ou também conhecido como diagrama Causa-Efeito (Campos, 1992). O resultado de um processo pode ser um produto ou um serviço, os quais devem apresentar determinadas características qualitativas para os seus clientes. Estas características qualitativas (por exemplo custo, prazo de fornecimento, etc) são controlados diretamente pelos clientes e por este motivo são denominados Itens de Controle de um processo.

As causas de um processo são todas as atividades necessárias para a realização dos serviços ou a fabricação dos produtos. Estas causas de um processo devem ser acompanhadas por parâmetros que estão diretamente ligados às atividades do processo e são denominados itens de verificação de um processo. Para controlar um processo, é necessário monitorar de forma contínua os seus efeitos (itens de controle) e as suas causas (itens de verificação). Quando um ou vários itens de controle apresentarem tendências de não conformidades (fora das metas definidas pelos clientes), é necessário tomar ações corretivas nas causas (itens de controle), atuando nas atividades responsáveis pela tendência de não conformidade observada no processo. Para atingir este controle dinâmico em um processo, utiliza-se, em geral, o ciclo PDCA. Esta rotina de autocontrole de um processo é esquematizada na figura 3.

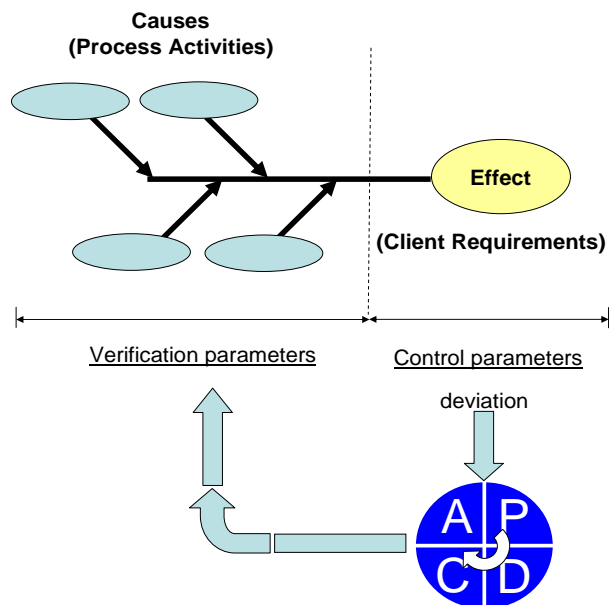


Figura 3 – Aplicação do ciclo PDCA para o controle de processo.

É importante salientar que muitas empresas brasileiras adotam este tipo de metodologia para melhorar a garantia do controle de qualidade dos seus processos de produção.

Observando a situação da manutenção no Brasil, através dos indicadores levantados pela ABRAMAN, pode-se concluir que o processo contínuo de controle mostrado na figura 3 não é aplicado de forma adequada dentro dos setores de manutenção das empresas.

O primeiro problema é que a maioria dos gerentes e responsáveis de manutenção utilizam poucos itens de controle que, em geral, são confundidos com itens de verificação. A maioria das empresas consideram que os setores de manutenção devem garantir somente disponibilidade de máquina aos menores custos possíveis. Para atingir estes objetivos, os responsáveis de manutenção implementam diversas técnicas consideradas como as melhores práticas nos setores de manutenção tais como RCM, TPM, 6-Sigma, 5S, etc. Após aplicar estas técnicas durante um certo período, em geral, em poucos equipamentos considerados como projetos piloto, os resultados esperados em termos de aumento de disponibilidade não são alcançados e os projetos são abandonados. A disponibilidade dos equipamentos é um parâmetro que depende basicamente do número de paradas imprevistas. Existem muitas outras fontes de perdas originadas no processo de manutenção, tais como perdas de qualidade do produto, comprometimento nos seus prazos de entrega, redução da velocidade operacional das máquinas (OEE), perda da imagem da empresa perante os seus clientes, etc, que não são considerados como parâmetros de controle na manutenção. Como foi mostrado anteriormente, a parada de um equipamento é o evento final de um processo de degradação, existindo neste processo inúmeros eventos de falhas intermediários, que não são atacados pela manutenção e são responsáveis pela maioria das perdas no processo (velocidade lenta, atrasos, etc). Isto significa que o processo de manutenção não pode se limitar somente a eliminar as paradas das máquinas, mas deve gerenciar os seus processos de falha.

Definição de um Controle de Processo adequado para a manutenção

O primeiro passo para definir um controle de processo efetivo nos serviços de manutenção é a definição adequada de itens de controle. Foi mostrado que a disponibilidade não é suficiente para garantir o controle de processo de manutenção. A eficiência global de produção é adequadamente medida através do parâmetro OEE (Overall Equipment Efficiency). Desta forma, o OEE poderia ser adotado como um item de controle nos processos de manutenção. O problema é que este parâmetro depende também de variáveis que não são de responsabilidade direta da manutenção, como por exemplo, tempos de Set-Up e perdas de qualidade dos produtos. Por este motivo, é interessante adotar outros itens de controle, que estejam diretamente vinculados às atividades de manutenção e aos processos de degradação existentes nos equipamentos. Nos últimos anos, foi crescente nos ambientes de manutenção industrial a aplicação de técnicas de confiabilidade para quantificar a vida útil de componentes. A confiabilidade é uma ferramenta estatística, que permite

calcular a probabilidade futura de operação de sistemas, através da análise das falhas históricas. Por este motivo, a confiabilidade é um parâmetro muito importante, já que permite gerenciar o comportamento futuro de equipamentos e instalações industriais, o que viabiliza a tomada de ações pro-ativas (ações que evitam o acontecimento de eventos de falha inesperados no sistema). No entanto, o processo de falha de um sistema é originado na evolução de vários modos de falha intermediários (ver figura 2), cujo efeito não é a parada do equipamento, mas a redução da eficiência do sistema (redução do OEE). A confiabilidade não é um parâmetro adequado para acompanhar todos estes pequenos eventos. Para avaliar o avanço do processo de degradação de uma instalação é conveniente introduzir o conceito de Risco de Falha. O conceito de Risco exige a quantificação de três dimensões sempre presentes em todo evento de falha (Jones, 1995):

- 1- Gravidade (depende dos efeitos originados pelo modo de falha)
- 2- Frequência de ocorrência (depende da frequência de acontecimento do modo de falha em análise)
- 3- Capacidade de detecção (depende da viabilidade de detectar o avanço do modo de falha)

Estas três dimensões são quantificadas através de três índices:

Índice de Gravidade (IG): Este índice não deve ser fixado através de conceitos rígidos, como os estabelecidos na técnica RCM, e sim através de análises críticas, baseadas nas regras de negócio da organização afetada pelas falhas de seus sistemas. Este índice varia com o tempo, com os clientes da organização, com a imagem da empresa no mercado, etc.

Índice de Ocorrência (IO): Este índice pode ser definido através do tempo médio entre falhas do modo de falha analisado (MTBF) ou através da sua taxa de falhas.

Índice de Detecção (ID): Este índice depende da viabilidade técnica de avaliar o avanço do modo de falha em análise, ou seja da capacidade que a equipe de manutenção tem de avaliar o avanço deste modo de falha.

Na prática, cada um destes índices é avaliado com base em escalas de 1 a 10, onde 1 representa o menor índice de risco e 10 o maior. A determinação destes índices exige grupos multidisciplinares integrados por pessoal técnico de manutenção e pessoal responsável pela operação dos equipamentos em análise. Em algumas situações, pode-se calcular um índice global de risco, denominado RPN (Risk Priority Number) (Jones, 1995), que é calculado a partir da seguinte equação:

$$\text{RPN} = \text{IG} \times \text{IO} \times \text{ID} \quad (\text{Equação 1})$$

Como cada índice individual varia entre 1 e 19, o RPN pode variar entre 1 e 1000.

Atividades de manutenção direcionadas através destes índices podem gerenciar melhor a evolução de processos de degradação de equipamentos e instalações.

A partir destas considerações, é possível definir um método sistêmico de gerenciamento do processo de manutenção, que permita definir atividades de caráter pro-ativo, minimizando os impactos das falhas para os usuários dos equipamentos (operadores). Como pode ser visto na figura 1, o ciclo PDCA é utilizado quase na totalidade dos sistemas de produção, para gerenciar os processos e garantir a qualidade dos produtos. No caso da manutenção, a utilização do PDCA pode levar a atividades corretivas, já que para iniciar o PDCA é necessária a existência de uma não conformidade, o que nos ambientes de manutenção seria o acontecimento da falha. Por este motivo, para o caso de gerenciamento de processos de manutenção, é necessário modificar o ciclo PDCA. Na figura 4 é mostrado um novo modelo de ciclo de gestão, denominado APDR (Analysis-Plan-Do-Register). Este ciclo APDR é controlado através de dois parâmetros: Confiabilidade e Risco de Falha. Como foi discutido anteriormente, estes dois parâmetros são de caráter pro-ativo, já que são calculados a partir das falhas acontecidas no passado e permitem prognosticar a condição futura de falha, tanto no que se refere à sua ocorrência (confiabilidade) como às suas consequências (risco de falha).

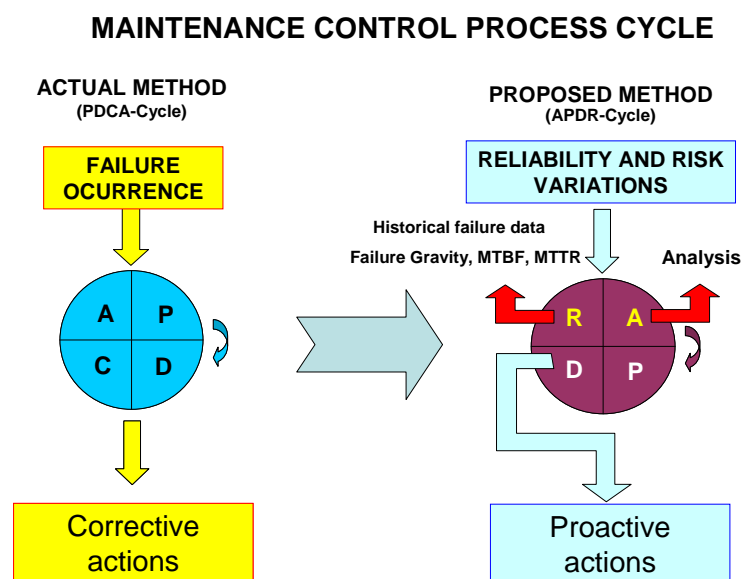


Figura 4 – Definição de um novo ciclo de gerenciamento para o controle de atividades de manutenção (Ciclo APDR).

Através da aplicação do ciclo APDR, é possível gerenciar todo o processo de manutenção, de forma que sistematicamente sejam atingidos níveis cada vez maiores de confiabilidade (probabilidade futura de operação) e menores riscos de falha (menores impactos globais de falha para a organização).

Na figura 5 é mostrado este novo controle de processo para os serviços de manutenção.

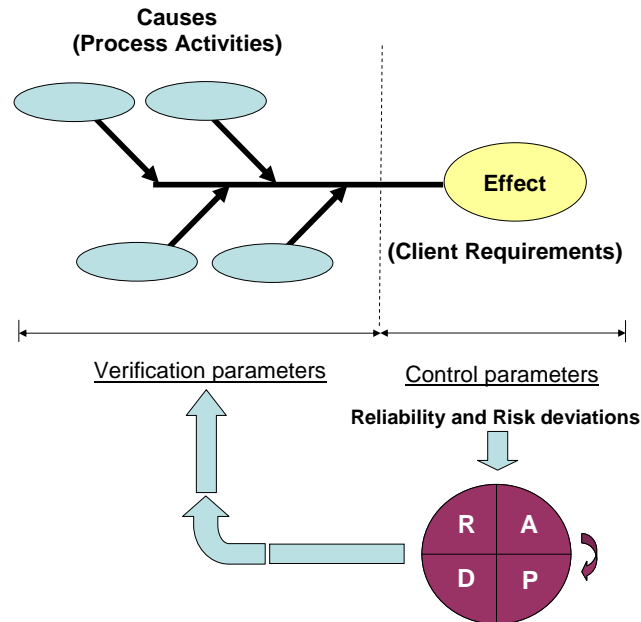


Figura 5 – Processo de controle de manutenção baseado no ciclo APDR.

A performance das ações de manutenção (causas do processo de manutenção) é avaliada de forma contínua através da evolução do perfil de confiabilidade e de risco de falha do sistema. Esta metodologia permite gerenciar as atividades de manutenção de forma pro-ativa, permitindo minimizar de forma contínua os impactos das falhas no sistema. Por este motivo, este método pode ser denominado Manutenção baseada nos Efeitos de Falha (ou Effect Bases Maintenance – EBM).

Case 1 – Aplicação do conceito EBM em um veículo de uma empresa de transporte rodoviário

Este primeiro exemplo mostra como o método proposto EBM pode ser utilizado para avaliar o grau de pro-ação de um planejamento de manutenção de um veículo de transporte de passageiros (ônibus) de uma empresa localizada em Minas Gerais (ver a figura 6). Os históricos de manutenção dos últimos seis meses deste veículo foram avaliados e com estas informações foram calculados os perfís de confiabilidade e risco de falha. Na avaliação do perfil de risco houve a colaboração dos técnicos de manutenção da empresa e também dos motoristas do veículo. Ressalta-se que o ônibus analisado era praticamente novo e tinha menos de um ano de operação na empresa.



Figura 6 – Ônibus considerado no Case.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência das ações de manutenção realizadas pela empresa operadora do ônibus. Deve ser salientado que todas as atividades de manutenção preventiva, realizadas no ônibus, eram as propostas no manual de operação fornecido pelo fabricante (Volvo). Isto significa, que a equipe de manutenção da empresa respeitava estas indicações e não realizava nenhuma tarefa preventiva adicional.

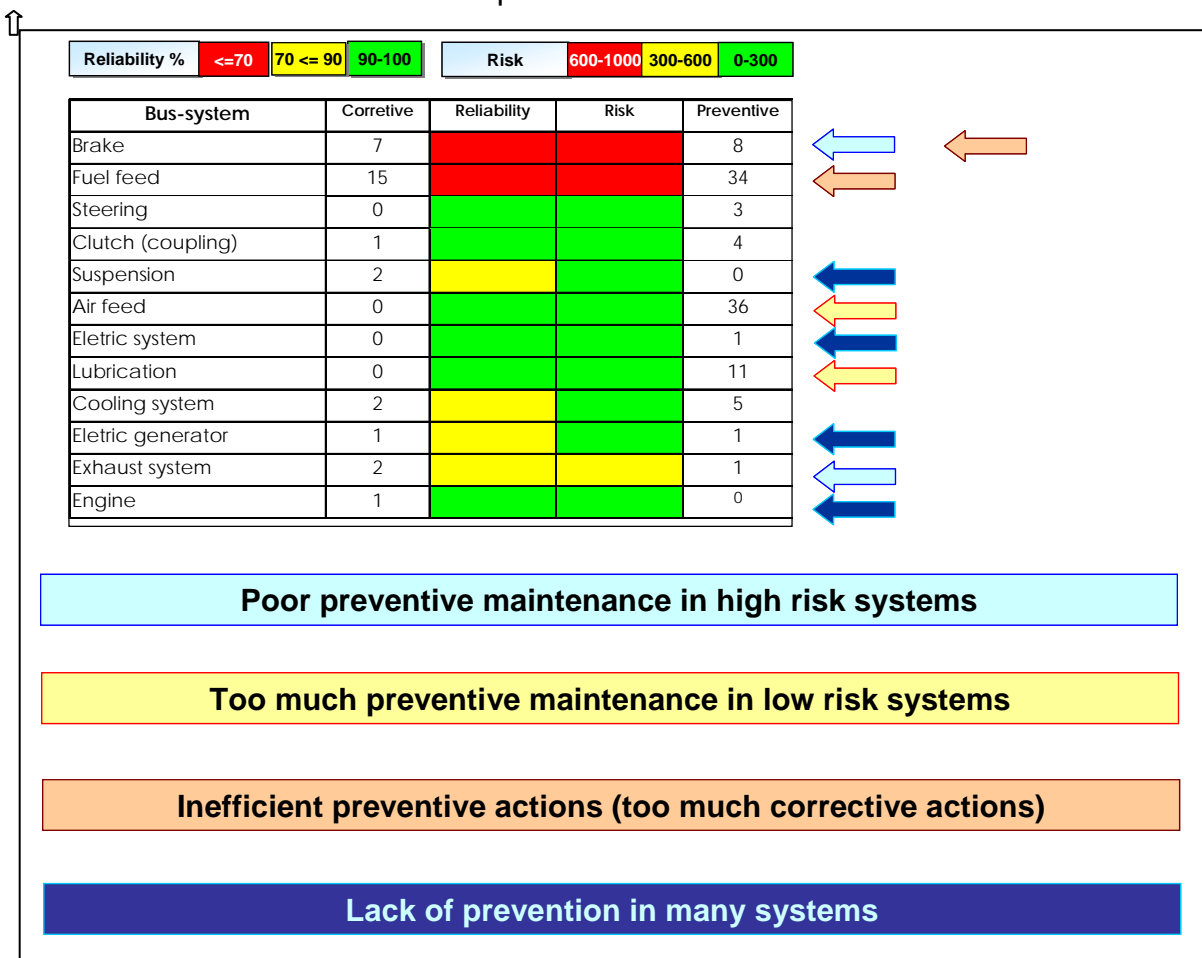


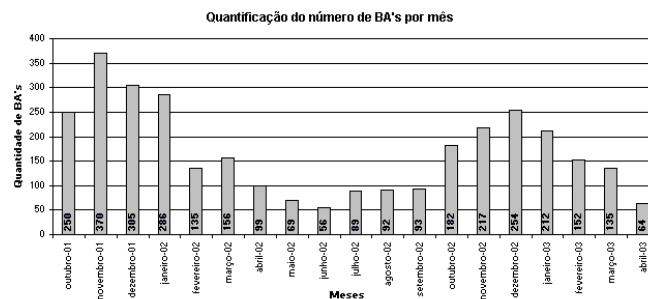
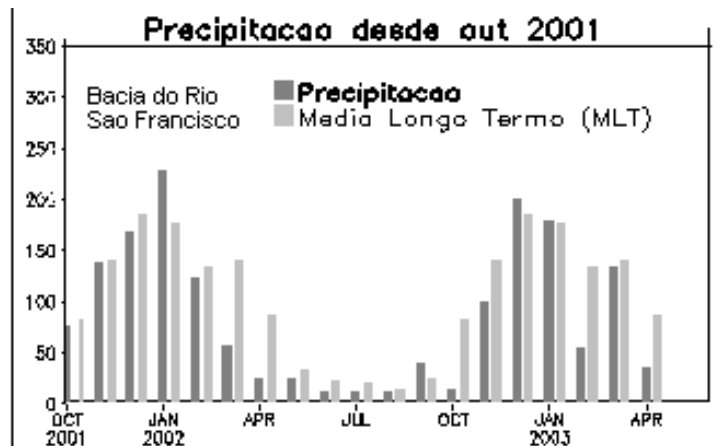
Figura 7 – Perfil de Confiabilidade e Risco comparado com as atividades corretivas e preventivas realizadas no veículo.

Pode-se observar na figura 7, que existem muitos sistemas do veículo em condição crítica de confiabilidade e risco (sistema de freio e de alimentação de combustível). Muitos sistemas apresentam demasiada concentração de atividades preventivas, estando em condições normais de confiabilidade e risco (sistema de lubrificação e de alimentação de ar). Existem também vários sistemas com muitas atividades preventivas, mas que apresentam níveis críticos de confiabilidade e risco, o que demonstra a pouca eficácia destas atividades preventivas.

Com este exemplo fica claro como o conceito EBM permite identificar de forma pro-ativa não conformidades no processo de manutenção, que podem levar a situações críticas em termos operacionais, como acidentes sérios ou perdas por paradas imprevistas do veículo.

Case 2 – Aplicação do conceito EBM em um sistema de telecomunicação

Este segundo exemplo trata da aplicação do conceito EBM no processo de falhas de uma estação de telecomunicações. Esta estação está em operação na cidade de Sete Lagoas, em Minas Gerais. Esta localidade é conhecida pela alta incidência de raios no período de chuvas, que ocorre entre os meses de outubro e março. Na figura 8 é mostrada a distribuição mensal de precipitações (parte superior da figura). Esta alta incidência de raios origina um aumento na taxa de falhas nos diversos subsistemas da estação, o que pode ser verificado na parte inferior da figura 8. As atividades de manutenção são, em geral, corretivas e as ocorrências são indicadas através de um sistema de telemetria, que monitora automaticamente a condição operacional de toda a estação. Como as atividades de manutenção acontecem após a indicação das alarmes, quase todas estas atividades são corretivas.



↑ Figura 8 – Comparação entre a distribuição de precipitações e interrupções no sistema de telecomunicações da estação de Sete Lagoas-MG.

A partir dos históricos de falhas, foram analisados os perfís de confiabilidade de todos os subsistemas da estação (ver figura 9). Neste caso, não é interessante comparar o perfil de confiabilidade com as atividades de manutenção, já que praticamente todas as atividades foram de caráter corretivo. Ressalta-se que a estação está equipada com dispositivos de proteção contra aumentos bruscos de tensão originados por descargas elétricas. Os baixos índices de confiabilidade observados em alguns subsistemas da estação mostra claramente a existência de processo de degradação atuando nestes componentes de proteção, que evidentemente não estavam cumprindo a sua função no sistema.

SYSTEM	RELIABILITY (%)	CONDITION	
<i>Infra-estrutura SLA-IU</i>	14,82		←
<i>Comutação SLA-IU</i>	0,012	CRITICAL	←
<i>Infra-estrutura Transmissão</i>	02,00	CRITICAL	←
<i>ELR-NSG</i>	19,46		←
<i>ELR-HNE</i>	76,13		←
<i>ELR-PRY</i>	57,95		←
<i>ELR-BFI</i>	21,32		←
<i>ELR-AISA</i>	13,53		←
<i>LOSA</i>	100,0		←
<i>JEQ</i>	48,32		←
<i>BLD</i>	63,47		←
<i>SVCT</i>	17,77		←
<i>AMAD</i>	83,37		←
<i>FLD</i>	23,35		←
<i>Braço rádio SLA-IU/JEQ-RD</i>	0,083	CRITICAL	←
<i>Braço rádio BLD-RD</i>	69,51		←

← <10%

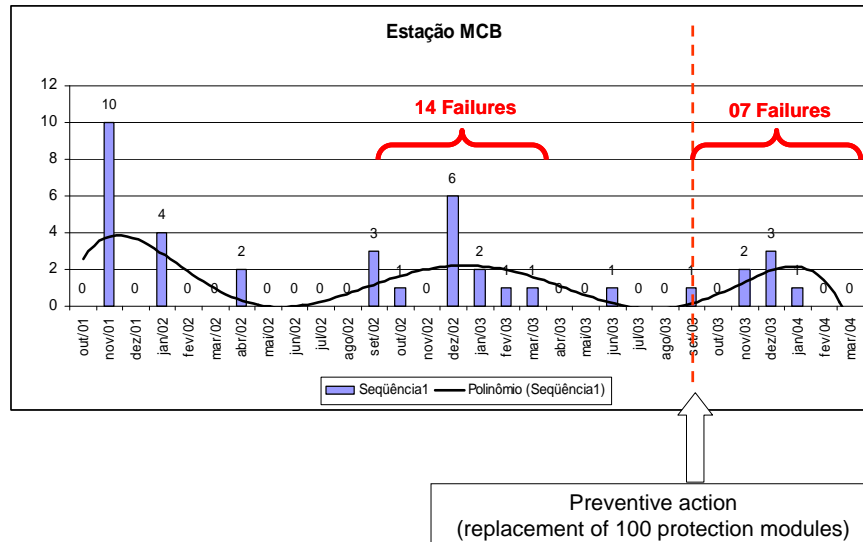
← 10-70%

← > 70%

Figura 9 – Perfil de confiabilidade nos subsistemas da estação Sete Lagoas – MG.

A partir dos baixos níveis de confiabilidade nos sistemas de transmissão e comutação, o processo de manutenção dos módulos de proteção foi analisado e verificou-se que estes módulos nunca eram trocados de forma preventiva, somente de forma corretiva, quando queimavam. Esta atitude corretiva fazia com que alguns módulos trabalhassem de forma precária, sem proteger totalmente a sobrecarga dos raios. Como parte destas sobrecargas eram passadas para o resto dos circuitos da estação, originavam outros modos de falhas menos freqüentes em outros componentes do sistema. Esta era a origem do processo de degradação observado na estação e responsável pelos baixos níveis de confiabilidade dos seus subsistemas.

A partir desta análise foi proposta uma ação corretiva antidegradação, que foi a troca de 100 módulos de proteção antes do período de chuva do ano 2003. O resultado foi uma drástica redução na taxa global de falhas de toda a estação (uma redução superior a 50%) comparado com o período de chuva dos anos anteriores. Na figura 10 é mostrado o perfil de falhas antes e depois desta ação antidegradação.



FAILURE RATE REDUCTION OF 50% WITH ONLY 1 ACTION !!!!

Figura 10 – Comportamento de falhas antes e depois da troca dos módulos de proteção (atividade anti-degradação).

Neste segundo case é possível observar também como o conceito EBM permite reduzir significativamente a taxa de falhas e aumentar a confiabilidade do sistema através de ações antidegradação de baixo custo de grande eficácia para o sistema.

Conclusões

A manutenção é uma atividade de significado estratégico para as organizações. A falta de controle na manutenção origina grandes perdas operacionais para os sistemas de produção. O método proposto neste trabalho, baseado nos conceitos de monitoramento contínuo do perfil de confiabilidade e risco de falha, denominado EBM (Manutenção Baseada nos Efeitos), permite o monitoramento dos processos de degradação nas instalações e a definição de ações pro-ativas de manutenção, que permitem controlar a eficiência global das instalações e também aumentar a confiabilidade dos sistemas (redução das paradas imprevistas de máquina). Este projeto está em fase de implantação em uma siderúrgica de Belo Horizonte, para controlar todos os processos de manutenção dos sistemas de produção. O objetivo é automatizar o cálculo de confiabilidade e risco através de rotinas informatizadas via WEB e agilizar a retro-alimentação das informações aos sistemas de gestão de manutenção existentes na empresa. Outro projeto semelhante está em fase de implantação em sistemas de manutenção automotiva, interligando oficinas de manutenção e usuário de veículos, visando a melhoria da performance das oficinas e o aumento da confiabilidade dos veículos.

O objetivo final deste trabalho é possibilitar que os sistemas de controle de manutenção sejam melhorados, para que as organizações se tornem mais competitivas e assumam posições de destaque nos mercados globais.

Reconhecimentos

O Núcleo de Engenharia de Confiabilidade e Manutenção de Sistemas (NEC&MS) do CEFET-MG agradece a FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais) pelo financiamento do projeto "Plano de Saúde Veicular", que permite aplicar os conhecimentos da metodologia exposta neste trabalho no ambiente de manutenção veicular. Agradece também a empresa TELEMAR pelo financiamento do projeto EBM no ambiente da Estação Sete Lagoas, localizada em Minas Gerais.

Bibliografia

CASTRO D. E., Bessa A. L., "**The significance of Degradation Processes in Reliability Analysis**", 9ª Conference SMRP – Society for Maintenance and Reliability Professionals, San Antonio – Texas, 2001.

CASTRO, D. E. "**Using degradation process analysis to reduce reactive maintenance**", Maintenance Technology, n. 4, p.14-18, April. 2002.

CAMPOS, V. F. "Total Quality Control" , Fundação Christiano Ottoni, Bloch Editores S.A. – RJ , 1992.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. "**Portal da Energia**"- Internet site. <http://www.cptec.inpe.br/~energia/>, April. 2003.

JONES, R. B, "**Risk-Based Management**", Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 1995