

## **APLICAÇÃO DA FILOSOFIA DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC) NA DEFINIÇÃO DE POLÍTICA DE MANUTENÇÃO DE PONTES ROLANTES**

**Antenor Paulo Prada Galvão, [antenor.galvao@uol.com.br](mailto:antenor.galvao@uol.com.br)<sup>1</sup>**  
**Fernando Jesus Guevara Carazas, [fernando.carazas@poli.usp.br](mailto:fernando.carazas@poli.usp.br)<sup>2</sup>**  
**Gilberto Francisco Martha de Souza, [gfmsouza@usp.br](mailto:gfmsouza@usp.br)<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Programa de Educação Continuada da EPUSP, PECE, Brasil

<sup>2</sup>Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil

**Resumo.** Atualmente as empresas estão buscando excelência em seu processo de manufatura, quer sob o ponto de vista do aumento da qualidade dos produtos ou através do melhor aproveitamento da capacidade produtiva do chão de fábrica. A atividade de manutenção deve ser cada vez mais integrada ao processo produtivo, visando reduzir a ocorrência de falhas nos equipamentos. Com esta redução tem-se uma maior disponibilidade dos equipamentos e, portanto do sistema produtivo. Dessa forma a atividade de manutenção torna-se um fator importante no aumento da competitividade de um sistema produtivo. A engenharia de manutenção deve atuar junto ao sistema produtivo com o objetivo de avaliar as falhas mais críticas para o processo produtivo bem como definir a política de manutenção mais adequada para minimizar a sua ocorrência. Para tanto a aplicação da filosofia da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) tem ganhado bastante importância, pois é um método estruturado que possibilita definir as falhas críticas de equipamentos e as atividades de manutenção, preditivas ou preventivas, cuja aplicação possam minimizar a ocorrência destas falhas. O presente trabalho tem por objetivo estudar o setor de manutenção de pontes rolantes de uma grande empresa multinacional, produtora de bens de capital, localizada no município de São Paulo. Este departamento, que inicialmente executava suas atividades com pessoal próprio, passou a ser terceirizado e atualmente pertence a uma divisão do grupo destinada exclusivamente a prestação de serviços industriais. Com as terceirizações e a posterior passagem do contrato de manutenção para a nova divisão, grande parte do histórico das manutenções foi perdido, porém o plano de manutenção permanece inalterado. O objetivo deste trabalho é executar uma análise crítica do plano de manutenção existente, utilizando os conceitos de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), levantar os pontos falhos e, ao final, propor um novo programa de manutenção. Com o novo programa de manutenção pretende-se conseguir aumento na confiabilidade e na disponibilidade dos equipamentos com redução dos custos de manutenção..

**Palavras Chave:** Manutenção, pontes rolantes, confiabilidade, produtividade.

### **1. INTRODUÇÃO**

Em processos industriais tais como os de fundição, usinagem, conformação de peças e produção de máquinas de grande porte, há uma necessidade significativa de transportar grande quantidade de matérias-primas assim como os próprios bens produzidos. Esta atividade é realizada com a aplicação de grandes pontes rolantes. As pontes rolantes são equipamentos destinados à movimentação horizontal e vertical de cargas. Os mesmos podem estar montados em uma ou duas vigas transversais a uma determinada altura dentro da instalação industrial. A altura e a capacidade de carga dependem da estrutura da instalação industrial. Uma ponte rolante desloca-se horizontalmente ao longo do caminho de rolamento, no sentido da profundidade da instalação (longitudinal). O carro, por sua vez, desloca-se horizontalmente ao longo das vigas da ponte rolante. Desta forma a ponte rolante cobre boa parte da área interna da instalação industrial, como mostra a Fig. (1).

Até o ano de 1998 cada uma das empresas do grupo industrial onde o estudo é aplicado era responsável pela manutenção de suas pontes rolantes, a qual passou a ser terceirizada até o ano de 2004. Nos últimos anos, os serviços de manutenção das empresas do grupo foram unificados. Neste processo de terceirização e a posterior passagem do contrato de manutenção para a nova divisão, grande parte do arquivo de manutenção, inclusive desenhos e histórico das manutenções foi perdido, porém o plano de manutenção permanece inalterado.

Assim, este trabalho tem como objetivo executar uma análise crítica do plano de manutenção existente, e, baseado nos conceitos da filosofia da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), levantar os pontos falhos e propor um novo programa de manutenção. Com o novo programa de manutenção pretende-se conseguir um significativo aumento da confiabilidade e da disponibilidade dos equipamentos, com conseqüente redução dos custos de manutenção.

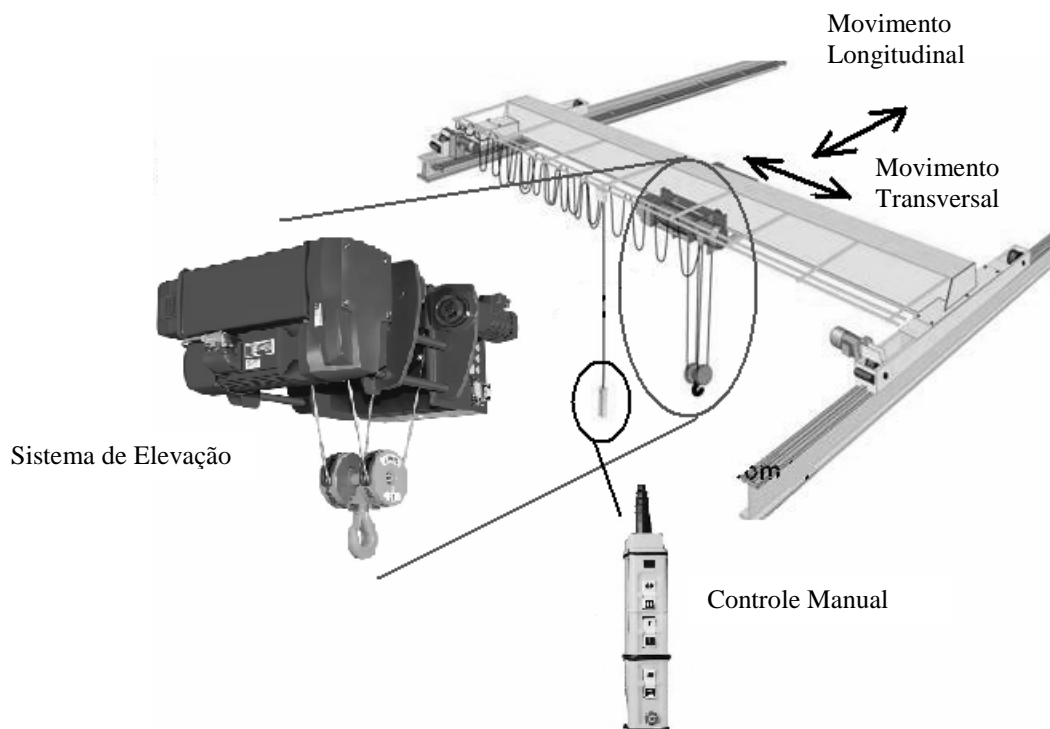


Figura 1. Representação de uma ponte rolante

## 2. O PROGRAMA DE MANUTENÇÃO ATUAL

O plano de manutenção preventiva atual tomou por base as atividades que eram executadas anteriormente, as quais se dividem em quatro tipos de intervenções: Manutenção preventiva mecânica, Inspeção de cabos de aço, Lubrificação e Manutenção preventiva elétrica.

As periodicidades das manutenções preventivas das pontes rolantes são definidas conforme as solicitações de cada empresa e baseadas na experiência do próprio pessoal da manutenção.

Por outro lado, os equipamentos são classificados em quatro níveis, considerando-se o porte da ponte rolante e conseqüentemente o grau de complexidade da mesma.

Com conhecimento dos tempos necessários para executar cada atividade, um plano anual de manutenções preventivas é programado, e as atividades são descritas em planilhas de cálculo computadorizadas, onde, conforme estas são executadas, os campos da planilha são realimentados e preenchidos. Desta forma acompanha-se a execução dos serviços da instalação e se estrutura um banco de dados para as atividades futuras.

Em relação ao plano atual de manutenção, pode-se fazer algumas observações:

- As pontes rolantes do setor de fundição têm como padrão três intervenções anuais, e as de menor solicitação, duas. Assim, neste setor da fábrica exige-se uma quantidade muito maior de inspeções dos cabos de aço (6 a 9 inspeções anuais).
- A periodicidade das intervenções preventivas é definida com base no porte do equipamento, não considerando nem a frequência de utilização nem a severidade da operação.
- Traçando um comparativo entre os dados colhidos entre os diversos equipamentos nos diferentes setores do grupo, se observa que a menor disponibilidade é apresentada pela ponte rolante no setor de fundição que exige uma quantidade maior de intervenções corretivas.
- Avaliando o total de horas despendido em atividades de manutenção preventiva nas pontes rolantes da unidade de fundição verifica-se que este valor é superior ao observado em pontes rolantes operando em outras unidades da empresa.
- Ainda no setor de fundição, verifica-se que este utiliza um significativo número de horas em intervenções corretivas nas pontes rolantes, sendo o maior valor observado entre as unidades do grupo.

Dessa forma verifica-se que a disponibilidade das pontes rolantes do setor de fundição é inferior à observada em outras unidades do grupo, mesmo sendo submetidas à um programa de intervenções preventivas mais detalhado que o aplicado nas demais pontes.

Pode-se concluir que os fatores que mais contribuem para esta menor disponibilidade são o grau de utilização e a severidade de uso dos equipamentos. Adicionalmente, conclui-se que o plano de manutenção preventiva é inadequado, pois não atinge o objetivo de minimizar as ações corretivas, e conseqüentemente não contribui para garantir certo nível de confiabilidade e disponibilidade do equipamento.

Analisando o complexo e extenso plano de manutenção atual, verifica-se que este não considera tarefas e/ou intervenções importantes que poderiam reduzir a realização de paradas desnecessárias, o que reduz consideravelmente a disponibilidade dos equipamentos e conseqüentemente da linha produtiva como um todo.

### 3. MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE E A ESTRUTURA DO NOVO PROGRAMA DE MANUTENÇÃO

Os conceitos de MCC tiveram a sua origem na necessidade da indústria aeronáutica de planejar atividades de manutenção durante a década de 70 para os aviões de grande fuselagem (*Wide Body*) como o Boeing 747. A FAA (*Federal Aviation Administration*) estipulou que o programa de manutenção preventiva destes jatos teria que ser mais rigoroso em função da sua grande capacidade de transporte de passageiros. Compreendida a dificuldade econômica por trás desta mudança, a *United Airlines* liderou uma equipe para reavaliar os conceitos de manutenção associados como a prática preventiva e determinar as estratégias para lograr segurança e economia na operação das aeronaves comerciais (Smith, 2003). O resultado foi empregado no planejamento das atividades de manutenção da aeronave Boeing 747 e posteriormente em todas as aeronaves modernas, dando origem ao que hoje é conhecido como MCC. Esta experiência gerou o relatório que anos depois se tornaria o trabalho pioneiro em expor os conceitos da filosofia do MCC, (Norwlan e Heap, 1978). Posteriormente o MCC foi aplicado na indústria da geração de energia termonuclear; nas forças armadas; na indústria de gás e petróleo e hoje em dia estendendo-se para a todas as áreas da indústria. (Rausand, 1998).

A filosofia da MCC tem como objetivo principal a identificação das funções de cada um dos componentes de um sistema permitindo assim a aplicação de atividades de manutenção especificadas para cada um dos componentes considerados críticos visando garantir a disponibilidade operacional, além de uma clara redução nos custos de manutenção. A criticidade de um componente é definida pela perda do desempenho operacional do equipamento em função da falha funcional deste componente. Quando maior esta perda mais crítico é o componente. (Carazas, Silva Souza, 2009) A metodologia da MCC é formada por uma seqüência de passos ou fases que permitem a sua aplicação nos diversos ramos da indústria, as quais são (Carazas e Souza, 2008):

- a) Definição do sistema e coleta de dados e informações
- b) Descrição funcional – elaboração da Árvore Funcional
- c) Análise de Modos e Efeitos de Falhas (FMEA) – determinação da consequência das falhas funcionais do sistema associadas à falha de cada um dos componentes.
- d) Identificação dos componentes críticos.
- e) Seleção das políticas de manutenção para os componentes críticos.
- f) Avaliação dos resultados da implementação destas políticas.

Para o presente caso de aplicação pode-se adaptar esta seqüência como apresentado na Fig. (2).

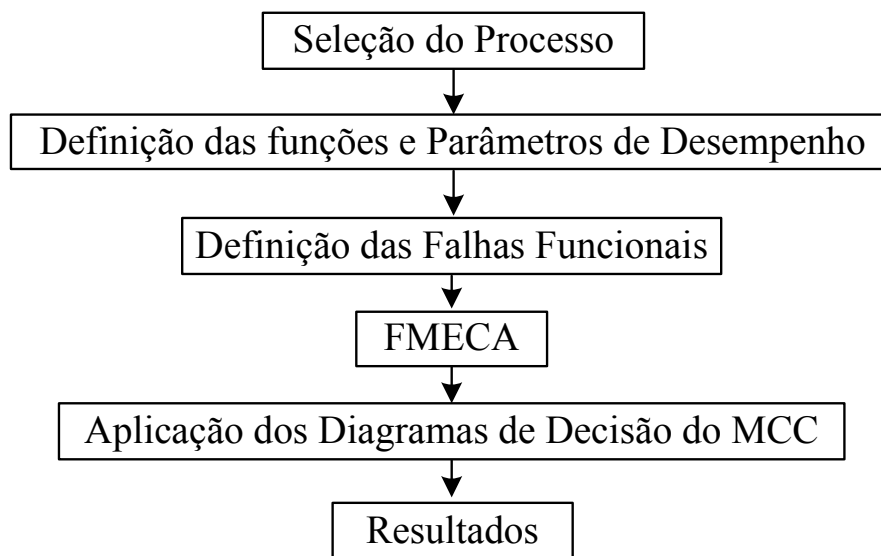


Figura 2. Estrutura da avaliação do plano atual de manutenção

### 4. APLICAÇÃO

#### 4.1. Seleção da Área do Processo Produtivo para a Análise

O programa de manutenção a ser reavaliado é o das duas principais pontes rolantes do setor de fundição, (sendo que a instalação possui 83 pontes rolantes no total), pois as pontes rolantes têm uma função fundamental no processo produtivo, tanto para montagem dos moldes, como para a alimentação dos fornos além do vazamento dos moldes. Normalmente o sucesso do vazamento dos moldes depende do bom funcionamento de uma única ponte rolante. Caso a mesma falhe, ou não atenda aos parâmetros requeridos, perde-se todo o material, a panela e o molde, fato que traz um grande prejuízo para a empresa.

Comparando os índices anuais acumulados dos equipamentos ao longo do ano de 2008, verifica-se que a ponte rolante denominada como “P2” é a que apresenta menor disponibilidade, um número de quebras elevado, maior tempo total de reparo e tempo médio de reparo elevado. Já a ponte rolante “P3”, embora também apresente grande número de paradas e conseqüentemente um menor tempo médio entre falhas, apresenta um tempo total de reparo baixo, pois suas falhas são menos complexas e de rápida resolução e, portanto, desta forma com algumas ações pontuais consegue-se trazer este equipamento às condições normais de operação. Na Fig. (3), apresenta-se a comparação da disponibilidade das pontes P2 e P3, onde se verifica que a ponte “P2” apresenta menos disponibilidade. Baseado nestas considerações o estudo está concentrado na ponte “P2”.

As falhas observadas na ponte “P3” são similares às observadas na ponte “P2”, com muitas paradas para regulagem dos freios, quer do mecanismo de elevação como da própria ponte, e paradas para troca do cabo, totalizando 43 horas de manutenção corretiva. No caso da ponte “P2” observou-se também falha nos redutores de translação e de elevação e uma quebra no acoplamento do sistema de elevação, fatos que reduziram a disponibilidade desta ponte. O tempo total de manutenção corretiva foi de 130 horas.

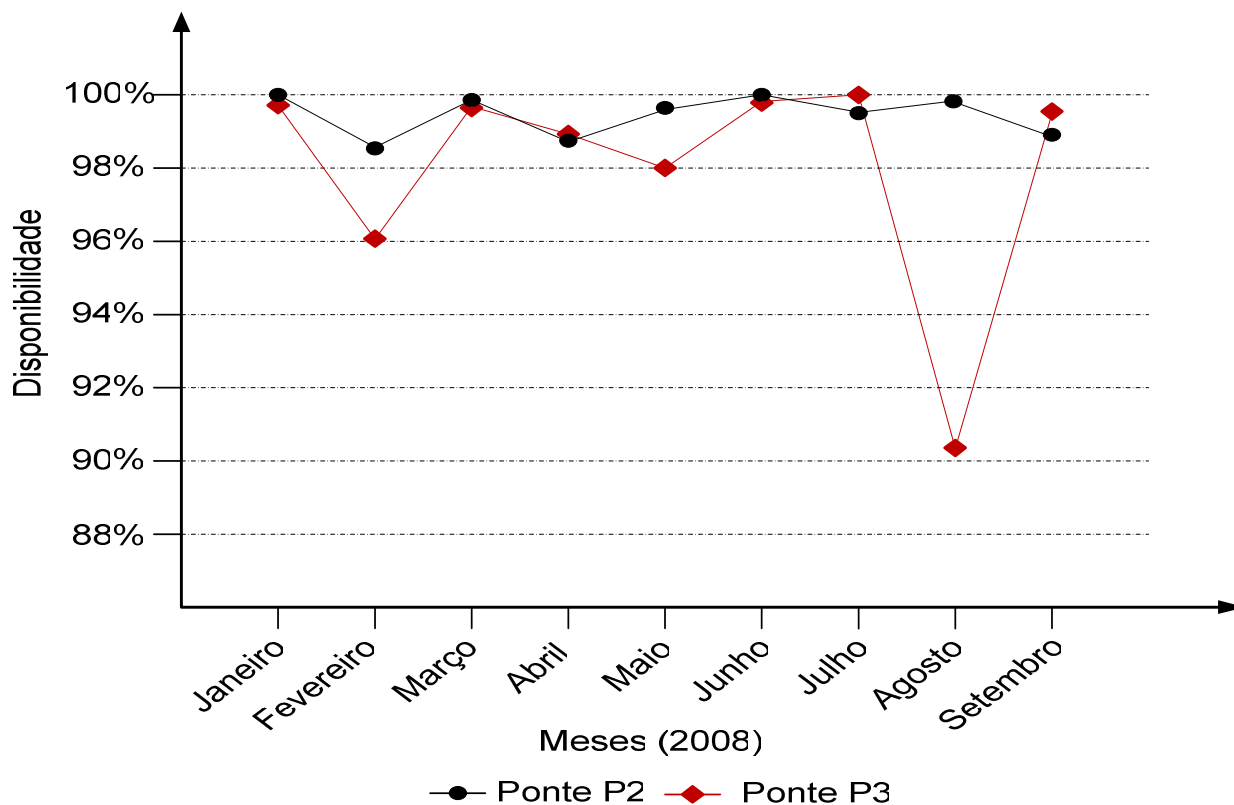


Figura 3. Disponibilidade das pontes rolantes “P2” e “P3”

#### 4.2. Definição das Funções e os Parâmetros de Desempenho Esperados

As funções principais da ponte rolante “P2” são: levantar e movimentar painéis com aço líquido, com carga de até 30 000 Kg, através do mecanismo de elevação principal; levantar e movimentar um eletroímã, com o mecanismo de elevação auxiliar alimentando os fornos, sendo que a massa total do eletroímã e da carga pode chegar até 10 000 Kg. Esta forma de utilização é requerida 24 horas por dia. Como função secundária esta ponte rolante indica o peso de aço líquido que está sendo transportado, através de um sistema de balança instalado no chassi do carro da translação transversal da ponte rolante. Todas as operações da ponte requerem um alto nível de segurança, pois uma falha na operação poderia por em risco a vida dos funcionários assim como o patrimônio da empresa.

O equipamento opera em um ambiente agressivo, com alto índice de partículas em suspensão e próximo das painéis de fundição contendo aço líquido a mais de 1.200 °C. Este equipamento tem grande impacto nos negócios da empresa, pois como mencionado anteriormente, é peça única e fundamental no transporte do aço líquido entre o forno e o molde de fundição. Como o processo operacional opera em fluxo (de modo contínuo), da “P2” é exigida alta disponibilidade.

#### 4.3. Determinação das Falhas Funcionais

Os subsistemas que basicamente compõem uma ponte rolante são: i) Elevação: composta por uma talha ou tambor com o respectivo acionamento e sistema de freio, onde se enrola e desenrola o cabo de aço que está ligado a um moitão, por um conjunto de polias e onde está fixado o gancho da elevação; ii) Translação Transversal: está composta por um

carro, contendo o sistema de elevação e que se desloca sobre trilhos fixados nas vigas da ponte rolante, dispõe de motorização, transmissão e freios. Em alguns casos, este carro possui dois sistemas de elevação, o principal, e o auxiliar de menor capacidade; iii) Translação Longitudinal: é executada pela própria ponte rolante que dispõe de rodas nas cabeceiras e se deslocam sobre os trilhos do caminho de rolamento. Também dispõem de motorização, transmissão e freios; iv) Estrutura: é composta por duas vigas estruturais, as quais são apoiadas em duas cabeceiras e fixadas através de parafusos estruturais. Também fazem parte da estrutura os passadiços, que são utilizados para suportar os equipamentos e quadros elétricos da ponte rolante, além de servirem de acesso para manutenção. Descritos os componentes principais podem ser definidas as funções e falhas funcionais para os mesmos, tal como apresentado na Tab. (1).

Tabela 1 – Subsistemas, funções requeridas e falhas funcionais

Componente	Função Principal	Falha Funcional
Elevação	Içar a carga	Não içar a carga requerida
	Executar a elevação na velocidade definida	Não obedecer ao comando de velocidade
	Sustentar a carga	Não sustentar a carga
Translação Transversal	Movimentar a carga transversalmente	Não movimentar a carga transversalmente
	Executar a movimentação na velocidade definida	Não obedecer ao comando de velocidade
	Parar o movimento com precisão	Não parar o movimento
Translação Longitudinal	Movimentar a carga longitudinalmente	Não movimentar a carga longitudinalmente
	Executar a movimentação na velocidade definida	Não obedecer ao comando de velocidade
	Parar o movimento com precisão	Não parar o movimento
Estrutura da Ponte Rolante	Suportar o peso próprio	Não suportar o peso próprio
	Suportar os componentes da Ponte Rolante	Não suportar os componentes da Ponte Rolante
	Suportar a carga requerida	Não suportar a carga requerida

#### 4.4. Análise de Modos e Efeitos de Falhas (FMEA- *Failure Mode and Effects Analysis*)

Com a definição das falhas funcionais do equipamento, se parte para a identificação: dos modos de falha, das suas causas e dos principais efeitos com as suas respectivas severidades. Esta avaliação é executada com a aplicação da Análise de Modos e Efeitos de Falhas, conhecido como FMEA. Por se tratar de um sistema basicamente mecânico com um tempo razoável de operação, usa-se o próprio histórico de operação para estudar as possíveis falhas críticas.

Desta forma, ao se elencar as falhas de forma decrescente em função do tempo total de reparo, pode-se subdividi-las em 3 grupos, A, B e C; que representam respectivamente 80%, 15% e 5% do tempo total gasto para reparo, conforme indicado na Tab. (2).

Tabela 2 – Definição das falhas críticas – Ponte Rolante “P2”

Modo de Falha		Nº de Paradas	%	% acumul.	Tempo Total de Reparo(h)	%	% acumul.	Tempo Médio de Reparo (h)
A	Falha do redutor da translação	2	4,26	4,26	60,00	46,45	46,45	30,00
	Desgaste do cabo de aço	2	4,26	8,51	11,00	8,52	54,97	5,50
	Cabo de aço fora da roldana	4	8,51	17,02	11,00	8,52	63,48	2,75
	Falha no fim de curso da elevação	10	21,28	38,30	11,00	8,52	72,00	1,10
	Falha no redutor da elevação	1	2,13	40,43	7,00	5,42	77,42	7,00
	Quebra do acoplamento da translação	1	2,13	42,55	6,00	4,65	82,06	6,00
B	Falha nas resistências da elevação	3	6,38	48,94	4,25	3,29	85,35	1,42
	Falha no manete de comando	3	6,38	55,32	3,50	2,71	88,06	1,17
	Falha do acoplamento da elevação	1	2,13	57,45	2,00	1,55	89,61	2,00
	Freio da elevação desregulado	4	8,51	65,96	1,91	1,48	91,09	0,48
	Freio da ponte desregulado	4	8,51	74,47	1,68	1,30	92,39	0,42
	Freio da elevação não atua	2	4,26	78,72	1,67	1,29	93,68	0,84
C	Falha no controle remoto 1	2	4,26	82,98	1,50	1,16	94,84	0,75
	Falha no controle remoto	1	2,13	85,11	1,33	1,03	95,87	1,33
	Falha nos comandos da elevação	1	2,13	87,23	1,25	0,97	96,84	1,25
	Freio do carro desregulado	2	4,26	91,49	1,25	0,97	97,81	0,63
	Cabo de aço fora do tambor	1	2,13	93,62	1,00	0,77	98,58	1,00
	Falha no fim de curso da translação	1	2,13	95,74	1,00	0,77	99,36	1,00
	Falha do comando da transl. transv.	1	2,13	97,87	0,50	0,39	99,74	0,50
	Freio da elevação travado	1	2,13	100,00	0,33	0,26	100,00	0,33
<b>Total</b>		47			129,17			

Através da análise desta tabela verifica-se que apenas seis modos de falha são responsáveis por 82 % do tempo total gasto em reparos. Com os modos de falha críticos identificados se efetua a análise do tipo FMEA, obtendo os resultados

apresentados na Tab. (3), onde os níveis de severidade vão de 1 a 10, sendo que 10 é muito grave ou crítico e 1 de pouco impacto. (Carazas e Souza, 2008).

Através do registro de falhas da ponte rolante “P2” ao longo de um período de operação de 8760 horas (correspondendo ao ano de 2008), se observa que este equipamento apresentou 38 paradas ao longo deste período, porém ao classificar as falhas, pode-se constatar que ocorreram 47 falhas, pois em uma ocorrência, que é chamada de parada encontra-se, às vezes, 2 ou 3 modos de falhas diferentes.

**Tabela 3 – FMEA da ponte rolante “P2”**

Item	Falha funcional	Modo de falha	Causa da falha	Mecanismo de falha	Efeito Potencial da falha	Sev.
Elevador	Não iça a carga	Falha no redutor do elevador	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quebra do eixo</li> <li>• Quebra das engrenagens</li> <li>• Folga no eixo</li> <li>• Falta de lubrificação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desgaste /sobrecarga</li> <li>• Desgaste /sobrecarga</li> <li>• Desgaste /sobrecarga</li> <li>• Desgaste</li> <li>• Vazamento de óleo</li> </ul>	Sistema de elevação não opera.	7
		Cabo de aço fora da roldana	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operação inadequada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de treinamento</li> </ul>	Parada do sistema	7
		Quebra do cabo de aço	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desgaste</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de lubrificação /sobrecarga</li> </ul>	Queda da carga	10
		Falha no fim de curso da elevação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mau contato</li> <li>• Falha no mecanismo</li> <li>• Fiação quebrada</li> <li>• Rompimento do cabo de aço</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sujeira</li> <li>• Travamento</li> <li>• Falha do isolamento</li> <li>• Desgaste/ corrosão</li> </ul>	Colisão do moitão como o carro	6
Translação longitudinal	Não movimentar a carga longitudinalmente	Falha no redutor da translação da ponte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quebra do eixo</li> <li>• Quebra da engrenagem</li> <li>• Folga no eixo</li> <li>• Falta de lubrificação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desgaste /sobrecarga</li> <li>• Desgaste /sobrecarga</li> <li>• Desgaste /sobrecarga</li> <li>• Desgaste</li> <li>• Vazamento de Óleo</li> </ul>	Sistema inoperante	7
		Quebra do acoplamento da translação da ponte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Parafuso quebrado</li> <li>• Rompimento do elemento elástico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fadiga</li> <li>• Desgaste</li> </ul>	Sistema inoperante	7

#### 4.5. Aplicação do Diagrama de Decisão do MCC

Para relacionar os efeitos potenciais causados por um modo de falha com uma prática de manutenção, que possa minimizar a sua probabilidade de ocorrência a um custo aceitável, aplica-se o diagrama de decisão do MCC. Estes diagramas são apresentados por diversos autores tais como: Smith, (2003); Moubray (1999); Carazas e Souza (2009); Lafraia (2001) e Siqueira (2004).

As conclusões obtidas com a aplicação do diagrama de decisão são apresentadas de forma resumida na Tab. (4).

**Tabela 4 – Resultados da aplicação do MCC**

Efeito Potencial da Falha	Prática de manutenção sugerida pelo diagrama de decisão	Prática de manutenção utilizada atualmente
Sistema de elevação inoperante	Inspeção programada	Manutenção preventiva
Travamento do sistema	Manutenção corretiva	Manutenção preventiva
Queda da carga	Manutenção preditiva	Manutenção preventiva
Colisão do moitão com o carro	Manutenção preditiva	Manutenção preventiva
Sistema de translação inoperante	Manutenção corretiva	Manutenção preventiva
Sistema de translação da ponte inoperante	Manutenção preventiva com substituição programada	Manutenção preventiva com desmontagem do acoplamento

Como produto da análise realizada sobre as pontes rotantes é possível propor um novo programa de manutenção, sendo este baseado no programa existente, onde se mantém as atividades e periodicidades dos itens que não foram avaliados por este estudo e aplicam-se as novas práticas de manutenção definidas pelo diagrama de decisão. Este plano de manutenção leva em consideração as condições de operação e a severidade de uso da ponte rolante “P2”, objeto deste estudo. Do plano de manutenção preventiva existente retiraram-se os itens referentes aos modos de falha estudados e para eles criaram-se os Planos de Inspeção Programada e de Substituição Programada.

Para definir as periodicidades, tomaram-se por base os dados do histórico de falhas do último ano de operação. De posse do tempo médio entre falhas (MTBF) e associando-o à criticidade de cada modo de falha, estabeleceu-se a periodicidade adequada para cada ação.

Para as inspeções nos redutores, adotou-se periodicidade anual para os redutores das translações e periodicidade bianual para os redutores da elevação, devido a sua criticidade. Para os cabos de aço adotou-se periodicidade bianual, devido à criticidade da sua falha. E para os limites fim de curso das elevações, adotou-se periodicidade mensal para a elevação principal e bimensal para a elevação auxiliar, devido a frequência de utilização da elevação principal ser maior. Quanto à substituição planejada dos acoplamentos, adotou-se periodicidade anual, baseado no MTBF, sujeito a ajustes com o decorrer do plano.

Complementando o plano de manutenção, além da elaboração de um plano de treinamento adequado para a equipe de manutenção, foi recomendado que os operadores de ponte rolante fossem convidados a participar da manutenção dos equipamentos no sentido de realizarem pequenas inspeções diárias, que muito ajudariam na prevenção de falhas, tal como recomenda a filosofia da manutenção para a produtividade total, TPM. O TPM é definido como o conjunto de atividades voltadas ao resultado, no sentido de obter máxima eficiência da produção e maximizar o ciclo de vida dos equipamentos aproveitando os recursos existentes, procurando reduzir as perdas. A filosofia do TPM exige a participação de todos os elementos da cadeia operativa, desde os próprios operadores dos equipamentos até as chefias e os altos executivos da direção da empresa, (Galvão, 2009).

Desta forma, elaborou-se um programa de treinamento para os operadores, onde eles são instruídos sobre a melhor prática para a operação. Como por exemplo, algumas observações importantes a serem realizadas, no início da operação, dentre elas, nos cabos de aço, nos sistemas de frenagem, no funcionamento dos limites fim de curso, nas sinalizações de segurança e finalizando, uma pequena inspeção visual e auditiva, a fim de identificar alguma anormalidade. Estas verificações devem ser anotadas em um formulário que é recolhido diariamente e estas analisadas pela equipe da manutenção.

## 5. RESULTADOS OPERACIONAIS E NA REDUÇÃO DE CUSTOS

Os valores relacionados com a redução de custos das manutenções preventivas são obtidos através da diferença entre o custo de mão de obra das atividades que foram suprimidas do plano original de manutenção e dos novos custos de mão de obra das atividades sugeridas neste trabalho. Estima-se que a economia de mão-de-obra em manutenções preventivas poderia chegar a R\$ 2.380,00 por ano para este equipamento. Isto representa aproximadamente 50% do custo original.

Já em relação aos custos das manutenções corretivas pode-se destacar que: os seis modos de falhas selecionados como críticos representam 82% do tempo total de reparo para este equipamento. Os custos de mão-de-obra para recuperar estes modos de falha específicos foram de R\$ 15.640,00. Considerando-se que as práticas de manutenção sugeridas irão prevenir a ocorrência destas falhas, tem-se uma economia do mesmo valor (R\$15.640,00), deixando de executar estas ações corretivas.

Espera-se também uma redução nos custos dos materiais utilizados na manutenção preventiva. Isto por meio da adequada seleção das frequências para intervenções, deixando de lado substituições desnecessárias ou muito antes do prazo. Isto gera uma economia significativa na compra de materiais assim como em todos os custos envolvidos no processo de compra e estocagem dos itens de reposição.

Ao avaliar um plano de manutenção em processos produtivos de grande porte, além de garantir a disponibilidade do equipamento, deve-se buscar a redução dos custos relacionados com as paradas de máquinas. Com o novo plano de manutenção o tempo para manutenções preventivas é reduzido em 28 horas, e se espera reduzir o tempo total de paradas por manutenção corretiva, que totalizou 106 horas com a aplicação do antigo plano de manutenção.

Entre os principais resultados operacionais pode-se destacar:

- Criação de um plano de treinamento dirigido aos mecânicos e eletricitistas, específico para pontes rolantes;
- Criação de um programa de treinamento para os operadores, onde eles são instruídos sobre a melhor prática para a operação;
- Criação da “Ficha de Checagem”, que é preenchida por todos os operadores antes do início de cada turno de trabalho ou após a execução de alguma tarefa de manutenção.

Após a implantação do plano de treinamento com a equipe de manutenção, observa-se maior interesse dos funcionários pelo exercício da função e diminuição do índice de retrabalho da ordem de 50%. Anteriormente, a cada 100 horas de manutenção, 15 horas em média eram dedicadas a retrabalhos e atualmente este valor caiu para 8 horas. O programa de treinamento para os operadores trouxe uma redução de 70% nas paradas de máquina causadas por erro humano. Eles são instruídos sobre a melhor prática para se executar movimentações de carga, sem sobrecarregar o equipamento ou evitando situações que possam causar danos aos componentes tais como cabos de aço, acoplamentos, redutores, sistemas de freio, entre outros. Os operadores são, também, alertados em como identificar algum problema simples que possa ocorrer e comunicar a manutenção antes que este problema se agrave.

A implantação da Ficha diária de checagem possibilitou à manutenção intervir imediatamente ao menor sinal de anormalidade, antes mesmo que a ponte rolante entre em operação. Isto reduziu o número de chamadas emergenciais em praticamente 95%. Atualmente, registra-se, em média, uma chamada emergencial por semana, nas instalações (83 pontes rolantes), enquanto até o ano anterior registravam-se, em média, 20 chamadas por semana. A Ficha diária também permite a manutenção registrar com maior precisão o surgimento das falhas, e com isso ter um melhor controle do tempo médio entre falhas, contribuindo assim para o aperfeiçoamento do plano de manutenção.

## 6. CONCLUSÕES

A avaliação e elaboração de um novo plano de manutenção para o conjunto de pontes rolantes da empresa sob análise, trará resultados positivos à medida que este seja implantado no conjunto completo de pontes rolantes.

Como resultado da implementação deste novo plano de manutenção no equipamento “P2” se observou redução de custos da ordem de R\$18.020,00 apenas avaliando 6 modos de falha funcionais identificados como críticos pela nova política de manutenção.

Os conceitos da Manutenção Produtiva Total (TPM) foram devidamente implementados, embora de forma inicial. Estes têm por objetivo trazer aos operadores de ponte rolante à responsabilidade sobre o seu equipamento e criando a preocupação de participar da manutenção, mesmo na condição de vigias do estado operacional do equipamento. A implementação trouxe grande ajuda à atividade de manutenção, reduzindo a taxa de falhas e diminuindo a exposição ao risco da operação do equipamento.

Em relação aos programas de treinamento dos operadores e às fichas diárias de checagem, foram encontradas resistências no início da implantação. Isto é natural, e requer certa didática e/ou psicologia para ser superada, porém, vencida esta etapa, os operadores começam a ver vantagens no TPM e o retorno natural da sua aplicação como a redução do número de paradas para ações corretivas, entre outras.

A reformulação da Política de Manutenção de uma empresa, baseada na técnica da Manutenção Centrada em Confiabilidade irá trazer vários benefícios para a empresa, como ilustrado com o exemplo na implementação de tal mudança no equipamento “P2”, dentre os quais se destacam: i) aumento do desempenho operacional; ii) garantia de alta disponibilidade dos equipamentos no sistema produtivo e conseqüentemente uma redução no tempo de reparo; iii) Aumento da vida operacional dos equipamentos, iv) melhoria do banco de dados de manutenção, pois os registros gerados pela implementação dos conceitos da MCC proporcionam uma fonte importante de informações para as equipes de manutenção, operação, inspeção e projeto. Os dados fornecem informações para identificar as necessidades de habilidades e ferramentas específicas da equipe de manutenção, de forma a decidir qual a melhor política de estoques de peças sobressalentes e manter os desenhos e manuais atualizados.

A implantação da Manutenção Centrada em Confiabilidade, pela complexidade e importância das mudanças exigidas, deve estar amparada em uma decisão empresarial. Para tanto é necessário que esta decisão faça parte dos objetivos e metas estabelecidos no planejamento empresarial da organização. Possivelmente estas mudanças esbarrarão em fortes resistências culturais, paradigmas que só podem ser quebrados através da demonstração da eficácia das medidas adotadas e da criação de uma cultura coletiva favorável a sua implantação.

## 7. REFERÊNCIAS

- Smith, A. M. 2003, Hinchcliffe, G. R., “RCM - Gateway to World Class Maintenance”, Butterworth-Heinemann.
- Norwlan, F. S. and Heap, H. F. 1978. “Reliability-Centered Maintenance”, Technical Report AD/A066-579, US Department of Commerce, Springfield, Bolby Acces Press, Washington DC, US, 494p.
- Rausand, M. 1998. “Reliability Centered Maintenance” Reliability Engineering and System Safety, pp121-132.
- Moubray, J. 1999. “Reliability-Centred Maintenance” Butterworth-Heinemann, New York, 440P.
- Carazas F. G. and Souza G. F. M. 2008. “RCM Application for Availability Improvement” IEEE Latin America Transactions, Vol. 6, NO. 5.
- Carazas F, Silva D, Souza G. F. M. 2009. “Method to Select Instrumentation for Hydraulic Turbines in Retrofitting Process”. International Conference on Computers & Industrial Engineering CIE39. Troyes – France. July 6-8
- Lafraia, J. R. B., 2001 “Manual de Confiabilidade, Mantabilidade e Disponibilidade”. Qualitymark Editora – Petrobrás, Rio de Janeiro.
- Siqueira, I. P. 2004 “Manutenção Centrada em Confiabilidade: Manual de Implementação” Qualitymark Editora Rio de Janeiro
- Galvão A. P.P, 2009 “Aplicação das técnicas de manutenção centrada em confiabilidade (mcc) ao departamento de manutenção de pontes rolantes de uma empresa de bens de capital, que trabalha pelo sistema tradicional de manutenção” Monografia apresentada à Escola Politécnica da universidade de São Paulo para obtenção do certificado de especialista em Eng. e Gestão de Operações de Manufatura e Manutenção.

## 8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.



## APPLICATION OF THE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) TO DEFINITION OF MAINTENANCE POLICY FOR HANDLING CRANES

Antenor Paulo Prada Galvão, [antenor.galvao@uol.com.br](mailto:antenor.galvao@uol.com.br)<sup>1</sup>

Fernando Jesus Guevara Carazas, [fernando.carazas@poli.usp.br](mailto:fernando.carazas@poli.usp.br)<sup>2</sup>

Gilberto Francisco Martha de Souza, [gfmsouza@usp.br](mailto:gfmsouza@usp.br)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Educação Continuada da EPUSP, PECE, Brasil

<sup>2</sup>Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil

**Abstract.** *This paper is based on the cranes maintenance sector of a capital goods company, in the city of São Paulo, Brazil. The cranes maintenance was done by its employees until 1998, when service was entrusted in the hands of a contractor maintenance company. It remained this way up to 2004, when the company created a new subsidiary, exclusively for Industrial Services, which assumed that responsibility. Due to the changes of hiring a contractor maintenance company, and later, transferring of the contracts to a newly created subsidiary, a substantial part of maintenance records were lost, and the plan adopted from the crane was basically a follow up of what had been done in the past, remaining that way up to today. The purpose of this paper is to present a critical analysis of the maintenance plan, based on Reliability Centered Maintenance (RCM) techniques, to detect its faults, and to create a new maintenance program using some concepts of Total Productivity Maintenance (TPM), with the objective of getting the crane operators involved in basic maintenance procedures. Through the proposed maintenance program the company aims at reaching for more reliability and availability of equipment, while reducing maintenance costs.*

**Keywords:** *Maintenance, handling cranes, reliability, productivity.*