

APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE PARA DESENVOLVIMENTO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO EM UMA DISTRIBUIDORA DE COMBUSTÍVEIS

ALINE VERONESE DA SILVA (UFRGS)

aline_vs@yahoo.com.br

José Luis Duarte Ribeiro (UFRGS)

ribeiro@producao.ufrgs.br



Este trabalho apresenta uma aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), contemplando seu uso na base operacional de uma empresa distribuidora de combustíveis. Apoiado na MCC foi feito um estudo dos equipamentos da Estação de EEnchimento de caminhões-tanque da empresa e foi construído um plano de manutenção. O plano visa reduzir paradas inesperadas e, assim, contribuir para a melhoria do desempenho nos indicadores de tempo de operação. Este artigo apresenta uma abordagem original que inclui: (i) a modelagem da distribuição dos tempos de falha combinando informações quantitativas referentes ao MTBF e informações qualitativas referentes à natureza do item em questão, seguido de (ii) determinação dos intervalos de manutenção preventiva segundo critérios probabilísticos. A abordagem utilizada neste artigo para modelar os tempos entre manutenções é mais precisa que as recomendações da literatura de MCC e constitui a principal contribuição deste artigo.

Palavras-chaves: Manutenção, confiabilidade, distribuidora de combustíveis, MCC

1. Introdução

A automação industrial em escala mundial, iniciada após a Segunda Guerra Mundial e viabilizada pela evolução da informática e telecomunicações, resultou na dependência da sociedade em relação aos métodos automáticos de produção (SIQUEIRA, 2005). Ao mesmo tempo, a exigência por níveis ótimos de produtividade não tolera perdas decorrentes de falhas em equipamentos. Nesse contexto, a manutenção de uma planta industrial ocupa papel importante, uma vez que evita perdas por paradas. Quando mal gerenciada, a manutenção torna-se uma fonte de gastos e oferece soluções precárias e tardias, perpetuando o conceito de que esse serviço constitui um mal necessário. A boa administração de recursos de manutenção, por outro lado, maximiza a disponibilidade dos equipamentos e introduz modificações que podem melhorar o desempenho, confiabilidade e segurança das operações. Dessa maneira, os custos passam a ser controlados, e são empregadas técnicas para identificar e antecipar problemas potenciais (SEELING, 2000).

Dentre os diversos métodos que buscam melhorar o desempenho da manutenção, destaca-se a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC). Segundo Lafraia (2001), a avaliação probabilística do risco de falha de um sistema ou produto caracteriza o aspecto fundamental da análise de confiabilidade conduzida pela MCC. Esse autor acrescenta que a MCC visa proporcionar um bom desempenho funcional com baixo índice de falha de um sistema. Fogliatto (2006) esclarece que o foco da MCC é preservar a função do sistema, e não restabelecer o item físico para uma condição ideal. Através da identificação de modos de falhas, a manutenção volta-se para as funções mais importantes do equipamento e, assim, contribui para a redução de custos.

O tema deste artigo é a manutenção de equipamentos, estudada no âmbito das empresas do setor de derivados do petróleo. O objetivo principal é formular um plano de manutenção em uma base de distribuição de derivados de petróleo, a partir do estudo da confiabilidade dos equipamentos. Além disso, é realizada uma análise funcional dos equipamentos e uma análise dos modos e efeitos de falha dos itens físicos. Por fim, é apresentado um estudo da confiabilidade dos equipamentos, são determinados os itens físicos críticos ao sistema estudado e são indicados os intervalos de manutenção preventiva/ preditiva. A contribuição principal deste artigo é a modelagem dos tempos de falha utilizando abordagem qualitativa. Uma vez modelados os tempos de falhas, as equações correspondentes foram usadas na determinação matemática dos intervalos de manutenção preventiva. A abordagem proposta neste artigo é mais consistente e mais precisa que as recomendações da literatura de MCC.

Além da abordagem proposta, o estudo se justifica sob dois aspectos: quanto à relevância do tema abordado e quanto à importância do ambiente industrial estudado. No que diz respeito ao tema abordado, a manutenção de equipamentos constitui um fator importante na gerência da produção, visto que é a forma pela qual as empresas tentam evitar as falhas e paradas de produção (SLACK et al., 2002). Dados da Associação Brasileira de Manutenção (ABRAMAN, 2007) mostram que, em 2005, o custo total da manutenção representou em média 4,5% do faturamento bruto nas empresas brasileiras, perfazendo uma parcela significativa do PIB nacional. No que tange ao ambiente industrial no qual o estudo foi realizado, destaca-se o tipo de produto manuseado, assim como as atividades desenvolvidas. Para Ballardin (2007), em função da matéria-prima processada, empresas distribuidoras de derivados de petróleo são consideradas de alta periculosidade. Em ambientes desse tipo, os

riscos e falhas devem ser evitados, a fim de garantir bons níveis de segurança. Somado a isso, há o fato de que a indústria de petróleo e derivados mantém em geral dois focos: excelência ambiental e operacional. Para atingir o primeiro, é preciso mais do que cumprir a legislação, é necessário que sejam planejadas ações contínuas para evitar derrames, vazamentos e liberação excessiva de gases. A excelência operacional, por sua vez, é traduzida através de políticas de qualidade, redução de custos e eficiência logística (CARDOSO, 2004). A MCC, então, apresenta-se como uma boa alternativa para o controle da manutenção em uma base de distribuição, visto que possibilita que a maior parte dessas metas seja alcançada.

2. Referencial teórico

2.1. Conceitos de Manutenção

Xenos (1998) define manutenção como o conjunto de atividades desenvolvidas com o objetivo de manter a função original de equipamentos e evitar a degradação destes causada pelo desgaste natural ou pelo uso. Esse autor ressalta que, em um sentido restrito, as atividades de manutenção estarão limitadas ao retorno de um equipamento às suas condições originais, mas que, em um sentido mais amplo, as atividades de manutenção também compreendem modificações nas condições originais do equipamento, a fim de evitar a ocorrência ou reincidência de falhas, reduzir o custo e aumentar a produtividade. Segundo Pinto e Nascif (1999), preservar o meio ambiente é outra função da manutenção.

Segundo De Souza (2004), os tipos de manutenção indicam de que maneira a intervenção nos equipamentos é realizada. Dentre as diversas maneiras de classificá-los, um dos mais usuais separa a manutenção não-planejada e a manutenção planejada. A manutenção não-planejada consiste na correção da falha após a sua ocorrência. Geralmente, é estritamente corretiva. Nesse caso, a perda inesperada do desempenho do equipamento pode acarretar em perdas na produção e na qualidade do produto, além de elevados custos indiretos de manutenção. A manutenção planejada, por sua vez, pode ser entendida como um conjunto de ações que leva à diminuição ou eliminação da perda de produção, minimizando custos e tempo de reparo (ZAIIONS, 2003).

Para Zaions (2003), a manutenção planejada pode ser dividida em: (a) Manutenção Corretiva; (b) Manutenção Preventiva; (c) Manutenção por Melhorias. Enquanto a manutenção preventiva divide-se em: (i) Manutenção de Rotina, (ii) Manutenção Periódica e (iii) Manutenção Preditiva.

2.2. Conceitos de Confiabilidade

Fogliatto (2006), Elsayed (1992) e Lafraia (2001) definem a confiabilidade como a probabilidade de um item desempenhar adequadamente seu propósito especificado, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais pré-determinadas. Fogliatto (2006) acrescenta que a confiabilidade de um item pode ser descrita matematicamente como a probabilidade do mesmo cumprir sua função com sucesso, podendo assumir valores entre zero e um, e podendo ser calculada por axiomas da probabilidade. Assim, a definição de alguns aspectos é importante para o entendimento desse conceito, como pode ser observado na Figura 1.

2.3. Manutenção Centrada na Confiabilidade

Segundo Moubray (2001), a MCC consiste em um processo utilizado para determinar o que deve ser feito em um sistema industrial a fim de assegurar que os itens físicos realizem suas funções. As raízes desse método remontam à década de 1960. Movida pela necessidade de melhorar a confiabilidade dos equipamentos e, ao mesmo tempo, conter os custos de manutenção, a indústria aérea americana desenvolveu as técnicas que constituem a MCC (MOUBRAY e LLC, 2001).

Função	Descrição	Equação
Densidade de Probabilidade	Varição da probabilidade de falhas por unidade de tempo	$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$
Função Acumulada de falhas	Probabilidade de falha em um período de tempo Δt	$F(t_2) - F(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} f(t).dt$
Confiabilidade	Probabilidade de um item sobreviver em um intervalo de tempo	$R(t) = \int_t^{\infty} f(t).dt = 1 - \int_0^t f(t).dt = 1 - F(t)$
Função de risco	Taxa instantânea de falha	$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$
MTTF	Tempo médio até falha	$MTTF = \int_0^{\infty} R(t).dt$
MTBF	Tempo médio entre falhas	$MTBF = \int_0^{\infty} R(t).dt$

Figura 1 – Descrição de variáveis de confiabilidade
 Fonte: Adaptado de Elsayed (1992) e Lafraia (2001)

Como principais resultados esperados com a implementação da MCC, Lafraia (2001) cita a otimização das tarefas de manutenção, através da análise das conseqüências das falhas. Além disso, espera-se também um decréscimo das atividades de manutenção preventiva e no custo. Segundo Zaions (2003), observa-se a partir da MCC melhorias na segurança humana e proteção ambiental e também do desempenho operacional em termos de quantidade, qualidade do produto e serviço ao cliente. Conseqüentemente, espera-se um aumento na vida útil dos itens físicos mais dispendiosos, a criação de um banco de dados completo sobre a manutenção e melhoria no trabalho em equipe, com maior motivação do pessoal envolvido na manutenção.

3. Metodologia

3.1. Descrição da empresa e processo

O estudo foi realizado em uma empresa que atua no ramo petroquímico, como distribuidora de combustíveis derivados de petróleo. Trata-se de uma multinacional anglo-holandesa, presente em cerca de 130 países, cuja sede brasileira situa-se no Rio de Janeiro e cujos centros de operação estão espalhados por todo o país. No Rio Grande do Sul, mantém uma base operacional na região metropolitana próxima de Porto Alegre.

A base operacional possui uma Estação de Enchimento de Caminhão Tanque (ECT) com cinco ilhas de carregamento: duas funcionam pelo sistema top, com capacidade para carregar três caminhões simultaneamente, enquanto as outras três ilhas são adaptadas para caminhões do tipo *bottom*, as quais foram instaladas em 2005. Cada ilha de carregamento possui bicos de enchimento correspondentes a mais de um produto.

O processo de enchimento de caminhão-tanque (CT) é similar entre uma base de distribuição

e outra, dependendo das exigências de segurança da empresa operante do terminal. Na base em estudo, tal processo segue padrões da empresa multinacional e também exigências do Ministério do Trabalho para a realização da atividade. Quando o CT é *bottom*, ao entrar na ilha de enchimento, o motorista aciona os dispositivos de aterramento e *overfill*. O primeiro tem a finalidade de evitar os efeitos da eletricidade estática, enquanto o segundo caracteriza-se como uma barreira eletrônica, cujo objetivo é travar o carregamento caso o volume digitado seja excedido. O dispositivo *overfill* é instalado no CT, e sua manutenção é de responsabilidade da transportadora.

Na ilha de carregamento, há um braço de enchimento correspondente a cada produto, por isso, o motorista deve conferir o produto que consta no bilhete de carregamento e conectar o bico de enchimento correspondente ao compartimento do CT. Em cada braço de carregamento, há um relógio medidor, no qual o motorista insere o bilhete de carregamento e digita (pré estabelece) o volume desejado. Só então os relógios medidores são acionados por meio de uma alavanca, que possui dois estágios: o primeiro estágio (estágio baixo), cuja vazão é de 330 litros/min e a utilização é recomendada para compartimentos com volumes pequenos, e o segundo estágio (estágio alto) de vazão correspondente a 1350 litros/min. Assim que faltarem 500 litros para atingir o volume pré estabelecido, a vazão cai automaticamente para o primeiro estágio (330 litros/min), e o enchimento pára quando o volume pré estabelecido é atingido. Caso isso não ocorra, o sensor *overfill* é acionado: entre o acionamento do sensor e a parada efetiva do carregamento, ainda são despejados 70 litros de produto no CT. Se esse sensor não funcionar, há uma segunda barreira eletrônica, a “botoeira de emergência”, que consiste em um botão que deve ser acionado pelo motorista que envia um comando para desativar o relógio medidor. Se, ainda assim, o enchimento não parar, há uma terceira barreira, a válvula de fecho rápido, a qual deve ser acionada manualmente pelo motorista. Após terminar o carregamento, é realizada a conferência da carga pelos operadores, os bicos de carregamento são desconectados, as válvulas são fechadas e os compartimentos lacrados.

3.2. Procedimentos metodológicos

Enquanto método de pesquisa, foram seguidos os preceitos da pesquisa-ação, uma abordagem através da qual os pesquisadores desempenham um papel ativo na resolução de algum problema estabelecido. Na realização da pesquisa-ação, os pesquisadores e os participantes da situação-problema estão envolvidos de modo participativo ou cooperativo. Este método teve origem no ambiente empresarial e, por isso, é uma abordagem eficaz para problemas relacionados com tecnologia e inovação técnica. Assim, a coleta de dados, bem como a aplicação de conceitos acadêmicos em uma organização, quando realizados pelo pesquisador, caracterizam uma situação de pesquisa-ação (FURASTÉ, 2006; THIOLENT, 1997).

No que tange as etapas do trabalho, foi usada a sistemática para aplicação da MCC, baseada nas metodologias propostas por Rausand e Einarsson (1998) e Lafraia (2001). A sistemática sugerida pelos primeiros autores compreende oito etapas associadas ao item físico ou sistema sob manutenção, todas englobadas pelos cinco passos propostos por Lafraia (2001) a fim de implementar a MCC. A etapa 1 envolve a preparação do estudo. Compreende a definição do grupo que trabalhará no processo de implementação da MCC. Nessa etapa do processo, são definidos os objetivos e o escopo da análise (FOGLIATTO, 2006).

A segunda etapa contempla a seleção do sistema. Nessa etapa, deve-se determinar o que vai ser avaliado e em que nível. Deve-se decidir se a análise será realizada na planta industrial, em um sistema, em itens físicos ou em componentes (RAUSAND E EINARSSON, 1998).

Segundo Lafraia (2001), o objetivo da análise funcional é traduzir a estrutura física de um item em palavras. Por isso, a Análise das Funções e Falhas Funcionais (AFF) é uma das primeiras etapas da operacionalização da MCC, constituindo a terceira etapa do método. Nesta etapa, também são definidas as fronteiras do sistema, é realizada a descrição do sistema e de seus parâmetros e é feita a listagem de funções e falhas funcionais. (RAUSAND E EINARSSON, 1998)

A quarta etapa diz respeito à seleção dos itens críticos: são identificados os itens físicos potencialmente críticos com relação às falhas funcionais listadas anteriormente (FOGLIATTO, 2006). Embora as informações sobre manutenção já estivessem sendo agrupadas desde o início do estudo, somente depois do entendimento do contexto e dos equipamentos é que esses dados são utilizados. Sellitto (2005) ressalta que se deve atentar especialmente para os dados de tempo entre falhas de equipamentos, visto que através do tratamento estatístico dessas informações é possível determinar tempos ótimos entre manutenções. Assim, a quinta etapa corresponde principalmente à análise das informações obtidas, consistindo em coletar informações suficientes para subsidiar decisões nas demais etapas. Compreende também os cálculos de confiabilidade dos componentes (FOGLIATTO, 2006).

Segundo Siqueira (2005), a MCC recomenda a documentação sistemática das falhas possíveis em um sistema, de forma permanente e auditável. Logo, a Análise de modos e efeitos de falha (FMEA – Failure Mode and Effects Analysis) é uma das técnicas mais utilizadas, assim como a Análise da Árvore de Falhas (FTA – Fault Tree Analysis), recomendada por Rausand e Einarsson (1998). A aplicação dessas ferramentas constitui a sexta etapa da aplicação da MCC (LAFRAIA, 2001).

As duas etapas restantes à aplicação da MCC dizem respeito ao estabelecimento de um Plano de Manutenção para os itens analisados. A sétima etapa contempla a seleção de tarefas preventivas. Uma vez que os modos de falha estão identificados, serão selecionadas as ações viáveis para sua prevenção, através da aplicação de uma árvore lógica de decisão de tarefas e de um diagrama de decisão do tipo de tarefa, considerando o efeito potencial da falha associada.

Na oitava etapa, é definida a periodicidade das tarefas de manutenção preventiva listadas na etapa anterior (RAUSAND E EINARSSON, 1998). No estudo descrito neste artigo, os tempos de manutenção foram determinados de acordo com critérios probabilísticos. Considerando o efeito potencial da falha, foram alocados aos equipamentos tempos entre manutenções associado a confiabilidades de 0,70 ou 0,95. Tal abordagem, explicada em maior detalhe nas etapas subsequentes, constitui uma das contribuições desse estudo, uma vez que a literatura da MCC faz menção principalmente a técnicas qualitativas.

4. Resultados

4.1. Etapa 1: Preparação do estudo

Quanto à definição dos objetivos da aplicação da MCC, o principal consistia em determinar um plano de manutenção preventiva e preditiva constituído de maneira racional. Assim, espera-se diminuir as paradas para manutenção corretiva nas ilhas de enchimento e, assim, melhorar os indicadores de produtividade e nível de serviço do terminal.

A equipe que trabalhou na implementação do método inclui o Encarregado de Operações do turno 2, responsável pela contratação de serviços de manutenção da base e gestão da

manutenção; o Encarregado de manutenção da equipe terceirizada que presta serviço na base e, ainda, um especialista em MCC, no caso, um dos autores deste estudo.

4.2. Etapa 2: Seleção do Sistema

Ainda na fase inicial do estudo, foi determinado qual sistema avaliar e em que nível. Na base em estudo, devido à importância da atividade de enchimento de caminhões-tanque, o estudo concentrou-se nesse setor da empresa (o ECT), contemplando os equipamentos cujo funcionamento caracteriza-se como crítico para a realização da tarefa em tempo hábil e de maneira eficaz. Assim, foi realizado um estudo da confiabilidade dos equipamentos da Estação de Enchimento de caminhões-tanque, o qual se caracteriza hierarquicamente no nível de sistema.

4.3. Etapa 3: Análise das funções e falhas funcionais

Primeiramente, foram definidas as fronteiras do sistema: onde ele inicia e onde ele termina, definindo as atividades e etapas que fazem parte do processo de enchimento de CT. Tais aspectos podem ser vistos na Figura 2.

Definidas as fronteiras do sistema, foi possível listar os itens físicos que fazem parte dele, sendo os principais: braço de carregamento bottom, válvula do acoplador bottom, sensor de aterramento, tomada woga (serve de ligação para os sensores de aterramento e overfill), controlador de senso, painel de aditivação, relógio medidor de vazão, gerador de pulso (alternador eletro-mecânico), botoeira de emergência (trava de segurança do sistema) e Skid do biodiesel (B100), o qual injeta biodiesel na proporção correta no carregamento de diesel.

Fronteiras Físicas do Sistema	
Inicia com	Termina com
Sistema de aterramento é acionado pelo motorista	Produto é bombeado do tanque de origem e é deslocado por dutos até o bico de carregamento, sendo despejado no tanque do CT
Motorista pré-estabelece o volume a ser carregado, digitando no RM	Operador confere compartimento carregado.
Relógio Medidor envia comando para acionar a bomba	Motorista lacra o CT.
Operador/motorista aciona comando manual para acionar a bomba de aditivo	
Considerações necessárias	
Nas três ilhas bottom, há 4 bicos para diesel S500, 3 para diesel S2000, 2 para álcool hidratado e 3 para gasolina C.	
Nas três ilhas bottom, há 4 bicos para diesel S500, 3 para diesel S2000, 2 para álcool hidratado e 3 para gasolina C.	

Figura 2 – Fronteiras físicas do sistema ECT

Após a definição dos itens físicos relevantes para o funcionamento do sistema, foram definidas as suas funções e falhas funcionais, conforme visto no exemplo da Figura 3.

Nº	Função	Nº	Falha Funcional
F-01	Enviar comando para acionar bomba do produto a carregar	FF-01	Não enviar comando de acionamento para a bomba
		FF-02	Enviar comando de acionamento para bomba incorreta
F-02	Carregar produto correto na quantidade correta no CT	FF-03	Carregar produto incorreto
		FF-04	Carregar quantidade incorreta
		FF-05	Não interromper o carregamento ao atingir a quantidade pré-estabelecida (virar em 9999)
		FF-06	Não gravar quantidade carregada no BM
		FF-07	Válvula do bico de carregamento não acoplar corretamente no CT

Figura 3 – Exemplo de função e falha funcional do sistema

4.4. Etapa 4: Seleção dos itens físicos críticos

Visto que há poucos equipamentos relacionados no ECT, não foram selecionados itens críticos para a aplicação da MCC nesta etapa do estudo. Contudo, em uma etapa à frente, foram apontados os equipamentos cuja confiabilidade é crítica para o sistema como um todo. A criticidade foi estimada a partir da análise da confiabilidade de cada item e a confiabilidade do sistema, considerando o caráter quantitativo inerente à MCC. Essa e outras análises são detalhadas nas etapas seguintes do estudo.

4.5. Etapa 5: Análise de modos e efeitos de falha

Ao iniciar a coleta de dados para a análise quantitativa da MCC, a falta de dados confiáveis de histórico de tempos entre falhas dos equipamentos surgiu como um obstáculo para a análise de dados. Por isso, optou-se pela realização de uma análise qualitativa das informações, estruturando, através de uma FMEA, os conhecimentos tácitos dos gestores da manutenção da base de distribuição.

A FMEA foi aplicada de modo a fornecer dados úteis ao cálculo da confiabilidade do sistema. Para isso, além da análise detalhada das falhas funcionais, modos e efeitos da falha, a atribuição do índice de ocorrência de falhas é muito importante, visto que possibilita que seja estimada uma taxa de falha para o equipamento. Lafraia (2001) sugere escalas com índices a serem atribuídos nos campos Probabilidade de ocorrência, Severidade e Probabilidade de detecção da falha, de acordo com a percepção do gestor. Um exemplo do tipo de documento desenvolvido pode ser visualizado na Figura 4, que mostra a FMEA, do braço de carregamento.

Nº do FMEA: 01					Departamento responsável: Operações					
Identificação do item: Braço de carregamento bottom					Data do FMEA: 30/03/2008					
Modelo: Mecânico										
Função de projeto	Falha funcional	Modo de Falha	Efeitos da falha	Causa da falha	Severidade	Detecção	Fatores		Grau de Risco	MTBF associado
							Ocorrência Possível λ	Índice		
Ligar a saída da tubulação e a válvula do acoplador. Suporte de sensores.	Carregar produto incorreto	Não permite escoamento do produto correto	Carregamento de produto incorreto, necessitando descarga incorreta no cliente, contaminando tanque.	Identificação incorreta do braço Ligações entre a saída da tubulação e a válvula do acoplador invertidas	8	2	0,00005	2	32	20000
	Vazamento na saída da tubulação ou na válvula do acoplador	Vazamento de produto	Derrame / gotejamento de produto	Falha na vedação	7	1	0,0010	6	42	200
Menor MTBF							0,0010		200	

Figura 4 – FMEA do braço de carregamento

Dentre os tempos médios entre as falhas atribuídos, o do relógio medidor foi o menor, de

apenas 8 dias, devido principalmente a falhas mecânicas (desgaste de engrenagens) e erros de operação. Os desgastes mecânicos, em alguns casos, são também decorrentes de erros na operação, como a inserção incorreta do bilhete medidor no relógio.

As causas das falhas da tomada *woga*, cujo MTBF foi estabelecido em 20 dias, são resumidas a falhas elétricas ou falhas ao acoplar a tomada ao CT. Isso significa que erros na operação são também responsáveis por esse índice alto. Os outros dois equipamentos com MTBF igual a 20, o *skid* B100 e o sensor de aterramento, têm como causas falhas elétricas ou mecânicas, decorrentes de desgaste. Os itens físicos cujos MTBF foi definido em 80 dias (gerador de pulso, controlador de senso e painel de aditivação), apresentam as mesmas causas de falhas: falhas elétricas, mecânicas e erro na operação, no caso do painel de aditivação.

4.6. Etapa 6: Coleta e análise de informações

A coleta de informações não iniciou de maneira estanque apenas depois da realização da quinta etapa. Trata-se de uma fase contínua iniciada juntamente com as primeiras atividades do trabalho, conforme prevêem Rausand e Hoyland (2003) e Fogliatto (2006). Esta etapa engloba a estimativa dos dados de confiabilidade dos equipamentos. Para isso, fez-se uso dos dados qualitativos atribuídos aos itens através do FMEA, e foram aplicados os procedimentos metodológicos explicados anteriormente. A análise desses dados foi dividida em três grupos, de acordo com o tipo de equipamento: (i) elétrico ou mecânico com manutenção freqüente, (ii) mecânicos sem manutenção freqüente e (iii) eletro-mecânicos. Além disso, foram analisados os dados de confiabilidade dos subsistemas formados pelos equipamentos do ECT e do sistema completo.

Sabe-se que os equipamentos elétricos ou eletrônicos – a saber: controlador de senso, sensor de aterramento e tomada *woga* – usualmente apresentam uma taxa de falha $h(t)$ constante, bem como os equipamentos mecânicos submetidos a manutenções freqüentes, como a válvula do acoplador *bottom*

Para outros itens físicos, classificados como mecânicos sem manutenção freqüente, a probabilidade de falha pode ser modelada por uma distribuição de Rayleigh, um caso específico da distribuição de *Weibull*, com parâmetro de forma (γ) equivalente a 2 (crescimento linear da taxa de falha). Esse é o caso do braço de carregamento do ECT, cujo histórico de tempos entre falhas também apresentou-se insuficiente: no máximo 4 eventos por equipamento, totalizando 41 observações para os 17 itens. Tais dados foram levados em consideração para estimar qualitativamente o MTBF do item em 200 dias.

Os demais itens físicos do ECT podem ser classificados como equipamentos eletro-mecânicos, já que possuem funções elétricas e mecânicas. O histórico de falhas do gerador de pulso, do painel de aditivação, do *skid* do biodiesel e da botoeira de emergência também era inexistente ou mínimo; o do relógio medidor, entretanto, constituía o banco de dados mais completo de todos os equipamentos. Ribeiro (2008) define o comportamento da confiabilidade $R(t)$ de equipamentos eletro-mecânicos em dois momentos distintos, dos quais o primeiro refere-se apenas a falhas dos componentes elétricos do item físico, e o segundo a falhas dos componentes elétricos e mecânicos. Sendo assim, a distribuição de probabilidade de falha de um equipamento eletro-mecânico seria descrita por uma função mista, composta de uma parcela correspondente apenas aos equipamentos elétricos (distribuição exponencial) e outra correspondente a falhas adicionais associadas ao desgaste dos equipamentos mecânicos (distribuição de *Rayleigh*).

Os gráficos da taxa de falha $h(t)$ gerados no software ProSis 98 de cada tipo de equipamento podem ser vistos na figura 5.

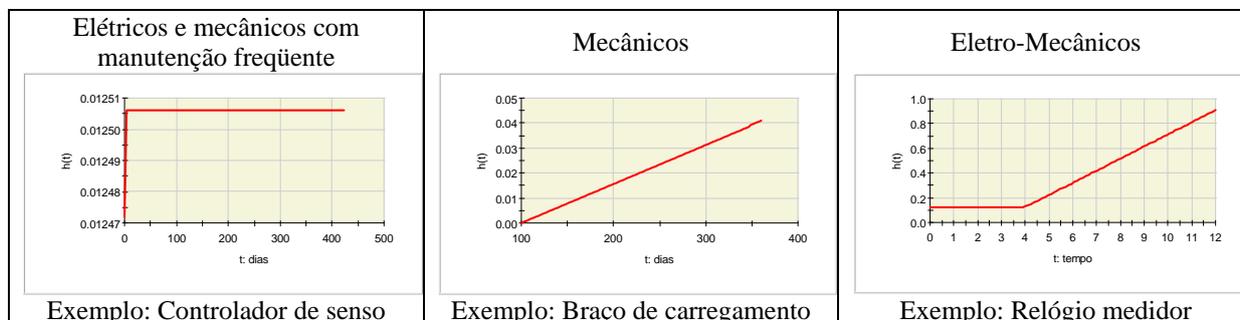


Figura 5 – Gráficos $h(t)$ dos equipamentos do ECT

Dessa forma, pôde-se calcular através do software ProSis 98 o tempo especificado para o estudo de confiabilidade, neste caso estimado em 3,15 dias, o que significa que se a taxa de utilização do sistema fosse constante por 24 horas, a cada 3,15 dias haveria uma falha em um dos itens do sistema. Cada uma das 3 ilhas de carregamento *bottom* possui 4 sistemas de carregamento com os mesmos equipamentos, com exceção do *skid* B100, redundante apenas nos braços de carregamento de diesel S200 e diesel S500. Há diferenças nas taxas de utilização dos sistemas de carregamento, de acordo com os produtos carregados, o que faz com que esse índice seja maior para produtos como diesel e gasolina, com maior utilização, e menor para os sistemas para álcool hidratado.

Para um período de 24 horas de operação, a confiabilidade do sistema seria de 0,8121, um índice considerado baixo, ainda mais replicando esse valor para os outros 12 sistemas de carregamento, que possuem as mesmas características. Os equipamentos que mais impactam a confiabilidade do sistema são aqueles com menor MTBF, como o relógio medidor, tomada *woga* e válvula *bottom*.

4.7. Etapa 7: Seleção de tarefas preventivas

A aplicação da ferramenta Árvore Lógica de Decisão (ALD) classificou os modos de falha quanto a quatro categorias: (i) relacionado com a segurança; (ii) relacionado com a integridade ambiental, (iii) relacionado com paradas forçadas do ECT e (iv) relacionado com perdas econômicas, dispostos nesta ordem de importância. Assim, foram consideradas críticas as falhas que atenderam positivamente às questões relativas ao meio ambiente, segurança e perda de produtividade ou operacional. Não foram identificadas falhas ocultas (não perceptíveis pelo operador), tampouco falha cujo efeito tenha apenas conseqüências econômicas.

Após a classificação do efeito da falha, aplicou-se o diagrama de seleção de tarefas sugerido por Rausand e Hoyland (2003), a fim de identificar o tipo de manutenção pertinente à falha e ao seu efeito. Foram definidas manutenções preventivas de revisão ou substituição, preditivas e corretivas. Um exemplo do resultado da aplicação da ALD e do diagrama de decisão de tarefas pode ser visualizado na Figura 6. A definição das tarefas de manutenção consiste, basicamente, em verificações elétricas, mecânicas ou eletro-mecânicas dos itens físicos, de acordo com as especificações dos fabricantes e os padrões de operação da companhia.

Análise FMEA		Árvore Lógica de decisão				Tipo de Manutenção				Tarefa de manutenção		
Item Físico	Falha funcional	Sob condições normais de trabalho, os operadores sabem que a falha ocorreu?	O modo de falha causa algum problema de segurança?	O modo de falha causa algum problema ambiental?	O modo de falha causa alguma parada total ou parcial da planta?	Classificação do efeito	Existe um indicador mensurável de alerta de falha?	A taxa de falha é crescente?	É viável uma revisão?	O modo de falha é imperceptível?	Tipo de Manutenção	Tarefa de manutenção
Braço de Carregamento	Carregar produto incorreto	SIM	NÃO	NÃO	SIM	Operacional	NÃO	SIM	SIM		Revisão	Manutenção preventiva na instalação do equipamento.
Braço de Carregamento	Vazamento na saída da tubulação ou na válvula do acoplador	SIM	NÃO	SIM	NÃO	Ambiental	NÃO	SIM	NÃO		Substituição	Troca de gaxeta / oringue. Lubrificação
Válvula bottom	Não permitir a passagem de produto.	SIM	NÃO	NÃO	SIM	Operacional	NÃO	NÃO	SIM		Revisão	Manutenção na válvula de autorização (mecânica) da VB. Lubrificação
Válvula bottom	Permitir a passagem excessiva de produto	SIM	SIM	SIM	SIM	Segurança	SIM				Preditiva (baseada na condição)	Manutenção na válvula de autorização (mecânica) da VB. Troca de gaxeta / oringue
Válvula bottom	Permitir passagem de produto sem o comando mecânico.	SIM	SIM	SIM	SIM	Segurança	NÃO	NÃO		NÃO	Corretiva	Manutenção na válvula de autorização (mecânica) da VB. Troca de gaxeta / oringue
Válvula bottom	Válvula do bico de carregamento não acoplado corretamente no CT	SIM	SIM	SIM	NÃO	Segurança	NÃO	NÃO		NÃO	Corretiva	Manutenção mecânica no conector da válvula
Válvula bottom	Válvula do bico de carregamento não desconecta do CT	SIM	NÃO	NÃO	SIM	Operacional	NÃO	NÃO		NÃO	Corretiva	Manutenção mecânica no conector da válvula
Válvula bottom	Não conter escoamento de produto	SIM	SIM	SIM	SIM	Segurança	NÃO	SIM			Substituição	Troca da gaxeta / oringue
Controlador de senso	Não enviar sinal elétrico do acoplamento do braço	SIM	NÃO	NÃO	SIM	Operacional	NÃO	NÃO		SIM	Preventiva (teste funcional)	Manutenção elétrica no controlador de senso / solenóide de autorização
Sensor de aterramento	Não permitir início do carregamento, assim que a eletricidade estática estiver bloqueada.	SIM	SIM	NÃO	SIM	Segurança	NÃO	NÃO		SIM	Preventiva (teste funcional)	Manutenção na fiação elétrica e sensor
Tomada woga	Não acionar o sensor de aterramento	SIM	SIM	NÃO	SIM	Segurança	NÃO	NÃO		SIM	Preventiva (teste funcional)	Manutenção elétrica na tomada woga
Tomada woga	Não acionar o sensor overfill	SIM	SIM	SIM	SIM	Segurança	NÃO	NÃO		SIM	Preventiva (teste funcional)	Manutenção elétrica na tomada woga
Gerador de pulso	Não envio do comando para acionamento da bomba de B100.	SIM	NÃO	NÃO	SIM	Operacional	NÃO	SIM	SIM		Revisão	Verificação da ligação elétrica do gerador de pulso / skid B100
Gerador de pulso	Envio do comando para carregamento da quantidade incorreta de B100	SIM	SIM	SIM	SIM	Segurança	NÃO	SIM	SIM		Revisão	Verificação dos sensores elétricos do skid B100 e da parte mecânica do gerador de pulso

Figura 6 – Exemplo de aplicação da ALD e Diagrama de seleção de tarefas

4.8. Etapa 8: Definição da periodicidade das tarefas de manutenção preventiva

Foi realizado um estudo da confiabilidade dos equipamentos mais críticos para o enchimento de carro-tanque. Por isso, optou-se por definir a periodicidade da manutenção dos itens físicos também através de métodos probabilísticos, mais precisos e consistentes. A análise quantitativa consistiu em determinar o tempo entre manutenções t de cada item físico associado a uma confiabilidade $R(t)$ pré-determinada. Os cálculos para a obtenção desses valores foram realizados no software ProSis.

Optou-se por atribuir o tempo correspondente à confiabilidade R de 0,95 para as tarefas cuja falha funcional leva a danos à segurança ou ambientais. Esse tempo é designado por t_{05} , uma vez que a probabilidade de uma falha ocorrer antes da visita de manutenção é de 5%. Para aquelas falhas onde o dano é apenas operacional, a equipe de trabalho da MCC optou por adotar o tempo correspondente à confiabilidade R de 0,70, sendo que o mesmo critério foi adotado para os equipamentos cujo tempo de falha é superior ao período de observação. Esses tempos são designados por t_{30} , uma vez que a probabilidade de uma falha ocorrer antes da visita de manutenção é de 30%. Os resultados dessa análise estão expostos na tabela 1.

Em função dos tempos calculados para cada componente, definiu-se que o relógio medidor e o *Skid* B100 terão uma inspeção diária da parte mecânica (*pre-set* e engrenagens), baseada na condição do item. A válvula *bottom* e a tomada *woga* terão inspeções a cada dois dias, sendo que a manutenção preventiva ou corretiva será determinada de acordo com a condição dos itens. As verificações elétricas do gerador de pulso, do relógio medidor, do *Skid* B100 e do painel de aditivação serão realizadas a cada cinco dias. O sensor de aterramento será verificado a cada duas semanas, enquanto o braço de carregamento terá uma manutenção

anual. A boteira de emergência será verificada semestralmente.

Item Físico	R(t) requerida	Tempo associado (dias)	Tempo entre manutenções (dias)
Relógio Medidor (inspeções mecânicas)	0,95	t05 = 0,41	1
Relógio Medidor (inspeções elétricas)	0,70	t30 = 2,85	5
Skid B100 (inspeções mecânicas)	0,95	t05 = 1,03	1
Skid B100 (inspeções elétricas)	0,70	t30 = 7,13	5
Válvula do acoplador bottom	0,95	t05 = 2,03	2
Tomada Woga	0,95	t05 = 2,03	2
Gerador de pulso	0,95	t05 = 4,11	5
Painel de aditivção	0,95	t05 = 4,11	5
Sensor de aterramento	0,95	t05 = 11,26	14
Braço de carregamento	0,95	t05 = 499,38	365
Botoeira de emergência	0,95	t05 = 205,28	182

Fonte: Autores

Tabela 1 – Tempos entre manutenções para os diversos itens

5. Conclusões

Este estudo teve como objetivo formular um plano de manutenção preventiva especificando os intervalos adequados entre as intervenções de manutenção, considerando a confiabilidade inerente de cada componente e o efeito potencial da falha. Para atingir os objetivos principais propostos, foram utilizadas as etapas de aplicação da MCC propostas por Rausand e Einarsson (1998) e Lafraia (2001). Tais abordagens propõem a sistematização da aplicação em oito etapas, iniciando com a preparação do estudo e definição do sistema, passando por análises qualitativas de funções e falhas funcionais, até chegar a análises quantitativas da confiabilidade dos equipamentos.

Dessa forma, definiu-se o intervalo de manutenção para cada item físico da estação de enchimento de caminhões-tanque, de acordo com os efeitos potenciais das suas falhas funcionais, priorizados através da árvore lógica de decisão, a qual classificou os efeitos em danos à segurança, ao meio ambiente e operacional, nesta ordem de importância. Com essa classificação, pôde-se escolher a melhor abordagem para definição da periodicidade de verificação dos equipamentos. O cálculo dos intervalos de manutenção foi baseado em critérios probabilísticos, mais precisos e consistentes que as recomendações qualitativas presentes na literatura da MCC.

Quanto aos objetivos secundários, a análise funcional dos equipamentos bem como a análise dos modos e efeitos de falha serviram como suporte para a elaboração do plano manutenção. Para tanto, foram aplicadas as sistematizações propostas por Lafraia (2001) e Rausand e Hoyland (2003) para definir as funções e falhas funcionais, dispondo os conceitos, conforme definido pelos autores citados, em uma planilha. A elaboração da FMEA considerou as definições de falha funcional, modo e efeito de falha. Para a determinação dos fatores de criticidade, foram utilizadas escalas de classificação propostas por Lafraia (2001), as quais se baseiam na experiência de profissionais. Ainda quanto aos objetivos secundários, destaca-se o estudo da confiabilidade dos equipamentos do ECT. A análise matemática dos dados gerou material consistente para o auxílio à tomada de decisão, já que expôs de maneira clara o comportamento das falhas dos itens físicos.

Com a aplicação da MCC, a empresa aprendeu uma nova maneira de organizar e utilizar os dados de manutenção, incluindo armazenagem eletrônica de dados e elaboração de relatórios

de manutenção mais precisos no que diz respeito às datas de manutenção e à descrição das falhas.

Para completar a análise da MCC, sugere-se a aplicação do método a outros setores da empresa, tais como o parque de bombas e a bacia de tanques. Além disso, a análise de falhas poderia se estendida à frota de caminhões-tanque que prestam serviço à companhia. Por fim, sugere-se uma análise mais apurada dos custos envolvidos com as tarefas de manutenção, que poderia auxiliar na definição da estratégia de terceirização dessas atividades.

Referências

- ABRAMAN.** *Associação Brasileira de Manutenção*. Disponível em: <www.abraman.com.br>. Acessado em 20 de agosto de 2007.
- BALLARDIN, L.** *Análise do trabalho dos operadores de uma distribuidora de derivados de petróleo*. Porto Alegre, RS. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.
- CARDOSO, L. C. S.** *Logística do Petróleo: Transporte e Armazenamento*. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.
- DE SOUZA, F. J.** *Melhoria do pilar “Manutenção Planejada” da TPM através da utilização da RCM para nortear as estratégias de manutenção*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.
- ELSAIED, E. A.** *System reliability engineering: lecture notes*. Porto Alegre: UFRGS, 1992.
- FOGLIATTO, F.** *Notas de Aula da Disciplina de Manutenção e Confiabilidade*. UFRGS: 2006
- FURASTÉ, P. A.** *Normas técnicas para o trabalho científico – Elaboração e formatação*. Porto Alegre: Ed. Brasul, 2006.
- LAFRAIA, J. R. B.** *Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade*. Rio de Janeiro: Qualitymak, 2001.
- MOUBRAY, J.** *Is Streamlined RCM Worth the Risk?* Revista Maintenance Technology Online. Barrington, IL, USA, jan/2001. Disponível em <<http://www.mt-online.com/articles/01-01mm.cfm>>. Acessado em 01/10/2007.
- NOWLAN, F. S. & HEAP, H. F.** *Reliability Centered Maintenance*. Technical Report AD/A066-579, National Technical information Service, US Department of Commerce. Springfield, Virginia: 1978.
- PINTO, A. K. & NASCIE, J.** *Manutenção: Função Estratégica*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1999.
- RAUSAND, M. & EINARSSON, S.** *An Approach to Vulnerability Analysis of Complex Industrial Systems*. Oxford: Blackwell Publishing, 1998.
- RAUSAND, M. & HOYLAND, A.** *System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications*. New York: Wiley, 2003.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S. & JOHNSTON, R.** *Administração da Produção*. São Paulo: Editora Atlas, 2002.
- SEELING, M. X.** *Desenvolvimento de um sistema de gestão da manutenção em uma empresa de alimentos do Rio Grande do Sul*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.
- SELLITTO, M. A.** *Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos*. Revista Produção, São Paulo, SP, vol. 15, nº 1: Abepro, 2005.
- SIQUEIRA, I. P.** *Manutenção Centrada na Confiabilidade*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.
- THIOLLENT, M. J. M.** *Pesquisa-Ação nas Organizações*. São Paulo: Atlas, 1997.
- XENOS, H. G.** *Gerenciando a Manutenção Produtiva*. Belo Horizonte: Editora Desenvolvimento Gerencial, 1998.

ZAIOS, D. R. *Consolidação da metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade em uma planta de Celulose e Papel.* Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.