

## **Utilização da FMEA para a mensuração dos custos de manutenção de uma mineradora: Estudo de caso**

Adriano Souto Herculano (UFPB) [adrianosout@hotmail.com](mailto:adrianosout@hotmail.com)

Sheyla Rodrigues Resende (UFPB) [sheylarr@gmail.com](mailto:sheylarr@gmail.com)

Maria Silene Alexandre Leite (UFPB) [leite@ct.ufpb.br](mailto:leite@ct.ufpb.br)

*Resumo: Este artigo propõe a utilização da ferramenta FMEA na atividade de manutenção industrial para o estabelecimento de novos critérios de rateio, os quais sejam capazes de proporcionar melhores condições para o processo de tomada de decisão dentro da gerência de manutenção. A pesquisa é classificada como um estudo de caso e no que diz respeito aos objetivos, pode ser classificada como exploratória descritiva, porque a partir da exploração do funcionamento da FMEA propõe-se uma nova abordagem para estabelecer critérios de rateio. A substituição do critério de rateio de horas máquinas ou energia para tipo de atividade permite uma alocação de custo mais precisa e promove a obtenção de melhores índices e informação para a tomada de decisão.*

*Palavra-chave: FMEA, Custo de manutenção, Critério de rateio*

### **1. Introdução**

A recente crise existente no ano de 2009 provoca duas conseqüências: redução drástica do crédito e a constatação de que não basta às empresas saberem reagir ao mercado e as suas crises, elas precisam se prevenir e antecipar cenários, ou seja, a empresa não deve ser reativa e sim proativa. A retração do crédito dentro do mundo globalizado no qual a concorrência é mais acirrada, afeta as empresas, pressionando-as a rever seus investimentos e redimensionar seus custos para se manterem competitivas no mercado.

O redimensionamento de custos ocorre de forma compulsória visando a sobrevivência da empresa e orienta os esforços em busca da melhoria da produtividade e da qualidade e a redução de custos através da eliminação de todas as formas de desperdícios para vencer a competição global. Este desafio se torna maior em empresas que utilizam o sistema de custeio RKW, pois este sistema foi desenvolvido visando basicamente a avaliação de inventários e para mensuração dos custos indiretos de fabricação (CIF) adota critérios de rateio (COGAN, 2007; HANSEN, 2003; PADOVEZE, 2006; SAKURAI, 1997). Segundo Padoveze (2006), dependendo do critério de rateio utilizado, o mesmo não permite aos gerentes, que buscam a eficiência e eficácia das operações de suas áreas funcionais, a informação precisa e oportuna de que necessitam para a gestão e mensuração de custos, bem como a aferição correta do desempenho de atividades em um ambiente de tecnologia avançada de produção gerando assim a existência de custos ocultos.

Kardec (2002) afirma que somente o uso eficiente de um modelo flexível de gerenciamento de custos é capaz de identificar, mensurar e avaliar sistematicamente os custos indiretos, cada vez mais crescentes e de difícil visualização devido ao grau de subjetividade. Na manutenção industrial esta subjetividade resulta da dificuldade de estabelecer parâmetros alinhados à estratégia da empresa para suas atividades.

A dificuldade em estabelecer parâmetros, alinhados à estratégia, para as atividades de manutenção atribui-se a três fatores: o primeiro, segundo Bornia (2002), deve-se ao fato da

atividade de manutenção ser considerada uma atividade que não agrega valor efetivo, mas propicia suporte para aquelas que agregam valor; o segundo fator, de acordo com Almeida (2001), é devido a complexidade técnica existente na atividade de manutenção exigindo serviço especializado e o; terceiro fator está relacionado ao fato da atividade de manutenção ser um serviço, mas a mesma está inserida dentro de um processo de manufatura, o qual sempre adota um sistema de gerenciamento de custos voltado para atender as necessidades de uma manufatura.

Diante do exposto, esta pesquisa propõe a utilização da ferramenta FMEA na atividade de manutenção industrial para o estabelecimento de novos critérios de rateio, os quais sejam capazes de proporcionar melhores condições para o processo de tomada de decisão dentro da gerência de manutenção, estando de acordo com os princípios da contabilidade financeira.

## 2. Abordagem Teórica

Na seqüência são discutidos alguns temas relevantes à consecução do objetivo proposto, destacando o conceito da ferramenta FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) e alguns aspectos ligados aos custos de manutenção.

### 2.1 FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*)

A FMEA é uma ferramenta de gerenciamento de risco que tem por objetivo identificar os possíveis modos de falhas de um dado produto/processo e suas respectivas causas, bem como os efeitos dessas sobre o cliente, interno ou externo, e através de procedimentos apropriados, permite atuar sobre tais itens de forma a reduzir ou eliminar a chance de ocorrência dessas falhas (PALADY, 2002).

Na elaboração da FMEA (figura 1), cada componente é examinado de forma a identificar seus possíveis modos de falha. Realiza-se a determinação do impacto de uma dada falha sobre o cliente, da probabilidade de uma dada causa e/ou modo de falha ocorrer e da possibilidade de se detectar o modo de falha e/ou a causa antes que o problema prejudique o cliente.

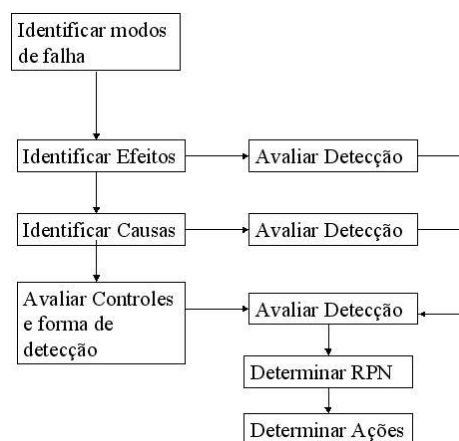


Figura 1 - Roteiro de Implementação da FMEA. Fonte: Palady, 2002.

A ferramenta FMEA através do estabelecimento das funções associadas às falhas, modos de falhas, causas e efeitos fornece um conjunto de dados que permite estabelecer uma relação diretamente proporcional entre a ação recomendada e o benefício desejado. Os quadros 1 e 2 apresentam os principais termos técnicos utilizados nesta ferramenta, os quais serão necessários para a compreensão da presente pesquisa. Destaca-se que o quadro 2 será fundamental no processo de mensuração de custos, pois ele apresenta a classificação que

servirá de base para o critério de rateio dos custos de manutenção.

<b>Componente</b>	<b>Parte integrante de um equipamento.</b>
Funções	Representa o que o usuário deseja que o item ou sistema faça dentro de um padrão de performance especificado. Sendo classificadas como principal (gera o objetivo principal do sistema), secundária (acrescenta objetivos ao sistema), auxiliar (modifica objetivos do sistema) e supérflua (introduz objetivos desnecessários).
Falha	Representa a interrupção ou alteração da capacidade de um item desempenhar determinada função esperada ou requerida. Pode ser do tipo funcional ou concreta que impossibilita de desempenhar sua função ou falha potencial ou latente na qual se caracteriza-se pela degeneração da sua função ou o início da ocorrência de uma falha funcional.
Modo de Falha	É um evento ou condição física que provoca uma falha funcional, trata-se de um fenômeno associado a passagem do estado normal para o estado anormal. Os modos de falha descrevem como as falhas funcionais acontecem. O modo de falha descreve o que está errado na funcionalidade do componente.
Causa de Falha	Descreve por que está errado a funcionalidade do componente. É importante esta distinção, pois é na etapa de projeto que se combate a causa da falha e na etapa de manutenção que se combate o modo de falha.
Efeito de Falhas	É o que acontece quando um modo de falha se apresenta. A avaliação destes efeitos será determinada preliminarmente baseados nos níveis de severidade existentes na MIL-STD – 882 D assim denominados: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Categoria I: Efeito Catastrófico (causa mortes, grandes danos ambientais e ao processo)</li> <li>– Categoria II: Efeito Crítico (lesão grave/incapacitante, graves danos ambientais ou ao processo)</li> <li>– Categoria III: Efeito Marginal (lesão leve, dano pequeno e ou atraso na produção)</li> <li>– Categoria IV: Efeito Insignificante</li> </ul>

Quadro 1 - Conceitos básicos do FMEA. Fonte: Siqueira, 2005.

<b>Tipo de atividade</b>	<b>Conceito</b>
Substituição Preventiva (SP)	Consiste na reposição programada de um componente ou peça de um determinado equipamento ou máquina em determinada idade limite, para prevenir sua falha funcional. Atividade direcionada por tempo.
Restauração Preventiva (RP)	Consiste na correção programada do desgaste ou desvio de um componente ou peça de um determinado equipamento ou máquina em determinada idade limite, para prevenir sua falha funcional. Atividade direcionada por tempo.
Inspeção Preditiva (IP)	Consiste na verificação programada de um componente ou peça de um determinado equipamento ou máquina por sentido humano e instrumental do estado de evolução de uma falha potencial com o objetivo de detectar e corrigir antes da evolução para uma falha funcional. Atividade direcionada por condição.
Inspeção Funcional (IF)	Consiste na verificação programada do estado funcional de um componente ou peça de um determinado equipamento ou máquina visando descobrir uma falha funcional que já tenha ocorrido. Envolve testar a funcionalidade do componente. Atividade direcionada por falhas.
Serviço Operacional (SO)	Consiste no ressurgimento de materiais consumíveis usados na operação normal do equipamento e outras atividades repetitivas como limpeza e outras associadas a conservação. Atividade direcionada para operação.
Manutenção Corretiva (MC)	Consiste na restauração não programada de um componente ou peça de um determinado equipamento ou máquina visando corrigir defeitos ou falhas potenciais detectadas. Atividade direcionada por condição.
Reparo Funcional (RF)	Consiste na recuperação não programada da capacidade funcional de um componente ou peça de um determinado equipamento ou máquina visando reparar falhas funcionais já ocorridas. Atividade direcionada por falha.

Quadro 2 - Tipos de atividades de manutenção. Fonte: Siqueira, 2005.

Siqueira (2005) afirma que em um mesmo componente podem existir diversos modos de falhas e diversas causas permitindo o desenvolvimento de inúmeras ações recomendadas,

por isso a aplicação do método é complexa, pois não existe um caminho definido. Se a ação de manutenção adotada em determinado componente não estiver associada ao modo de falha e nem a causa da falha pode-se concluir que esta ação não está alinhada com a manutenção da função do componente, podendo ser classificada como desnecessária ou supérflua, ou seja, gera perdas para a empresa.

Todos os dados levantados a partir da FMEA devem ser reunidos em um documento, na forma de uma tabela, permitindo a rápida compreensão e avaliação dos resultados obtidos. Existem duas formas de analisar os resultados obtidos, uma tradicional, através do número de prioridade de risco (RPN) e outra mais visual e preventiva, construindo-se um gráfico em que num eixo indica-se a possibilidade de ocorrência de um dado modo de falha ou suas causas e no outro a sua severidade (impacto da falha sobre ao cliente).

Nesta pesquisa será adotado o RPN para definir a ordem de prioridade das atividades. O cálculo do RPN será realizado através do produto dos índices de detectabilidade (quadro 3), frequência (quadro 4) e severidade (quadro 5) para cada atividade. As atividades com RPN de maior resultado terão prioridade sobre o as atividades com RPN de menor resultado.

Nível	Frequência	Descrição	Valor
1	Fácil	Falha detectável por procedimento operacional	1
2	Razoável	Falha detectável por inspeção operacional	2
3	Difícil	Falha detectável por ensaio funcional	3
4	Muito Difícil	Falha detectável apenas por desligamento	4
5	Impossível	Falha totalmente oculta	5

Quadro 3 - Detectabilidade de Risco. Fonte: Maddox, 2005.

Nível	Frequência	Descrição	Exemplo	Valor
1	Frequente	Falha ocorrerá continuamente	Problemas diários, semanais ou mensais	6
2	Provável	Falha ocorrerá com frequência	Falhas bimestrais ou trimestrais	5
3	Ocasional	Falha esperada de ocorrer ocasionalmente	Falhas semestrais	4
4	Remoto	Falha razoavelmente esperada	Falhas anuais	3
5	Improvável	Falha ocorrerá excepcionalmente	Falhas devido a acidente	2
6	Imprevisível	Falha praticamente não ocorrerá	Falhas devido terremotos, temporais, intervenção do Estado	1

Quadro 4 - Nível de Frequência de Modos de Falha. Fonte: Warren, 2002.

Categoria	Severidade	Valor	Danos		
			Ambiental	Pessoal	Econômico
I	Frequente	5	Grande	Mortal	Total
II	Provável	4	Significante	Grave	Parcial
III	Ocasional	3	Leve	Leve	Leve
IV	Remoto	2	Aceitável	Insignificante	Aceitável
V	Improvável	1	Inexistente	Inexistente	Inexistente

Quadro 5 - Nível de Severidade de Riscos. Fonte: Palady, 2002.

Em seguida será apresentada algumas metodologias utilizadas para calcular os custos de manutenção com intuito de entende-las para propor uma integração com a ferramenta

FMEA, objetivando uma mensuração dos custos de manutenção de uma forma mais adequada.

## 2.2 Custos de Manutenção

Segundo Kardec (2002) os custos na manutenção são representados através da seguinte relação (fórmula 1):

$$C_{man} = C_{Mat} + C_{MO} + C_{Fer} + C_{inv}$$

Fórmula 1 - Custo de Manutenção tradicional. Fonte: Kardec, 2002.

Onde:  $C_{man}$  = Custos totais de manutenção;

$C_{Mat}$  = Custos com materiais;

$C_{MO}$  = Custos com Mão-de-obra;

$C_{Fer}$  = Custos com ferramental e uso de bens, incluindo depreciação, pagamento de taxas e impostos;

$C_{inv}$  = Custos com investimentos ou falhas.

O gráfico da figura 2 mostra a resultante baseada nesta relação.

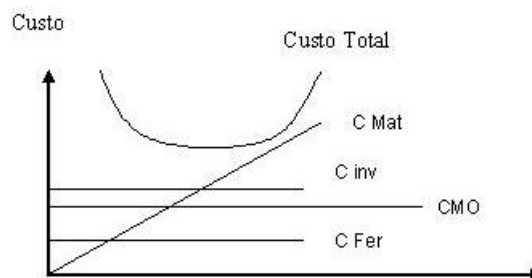


Figura 2 - Custos tradicionais de manutenção. Fonte: Kardec, 2002.

Verifica-se que no modelo tradicional a parcela  $C_{inv}$  (composta de custos com investimento e custo com falhas) possui comportamento constante. Almeida (2001) argumenta que este modelo precisa ser revisado, pois isto só ocorre se a parcela de investimento for muito maior do que a parcela de custos com falhas de maneira que a ordem de grandeza não seja afetada pela variação devido aos custos decorrentes de falhas.

Segundo Almeida (2001), os custos na manutenção podem ser representados através da relação apresentada na figura 3.

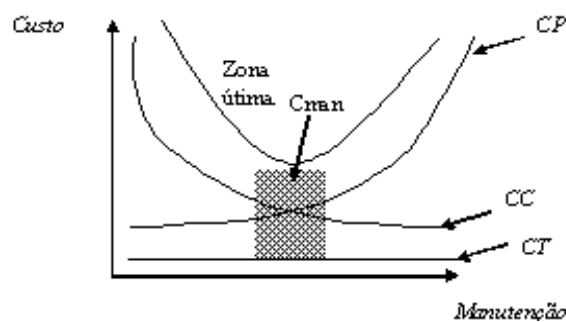


Figura 3 - Relação Manutenção x Custos. Fonte: Almeida, 2001.

Baseado na figura 3 verifica-se a seguinte relação (fórmula 2):

$$C_{man} = CP + CC + Cf$$

Fórmula 2 - Custo de Manutenção. Fonte: Almeida, 2001.

Onde:  $C_{man}$  = Custos totais de manutenção;

$CP$  = Custos com atividades de prevenção;

$CC$  = Custos com atividades de correção;

$Cf$  = Custos das falhas de manutenção.

Os custos das falhas de manutenção ( $Cf$  ou  $CT$ ) são os custos de todas as possibilidades de perdas decorrentes de cada configuração de falha. Destaca-se que, apesar de apresentar valores inferiores aos valores respectivos para as curvas  $CP$  e  $CC$ , a curva  $Cf$  ou  $CT$  não irá desaparecer, por causa do caráter probabilístico e da incerteza existente. A ocorrência de uma falha proporciona diversos custos a empresa, como: custo da insatisfação do cliente, perda de faturamento decorrente desta falha e os custos com multas e dispêndios decorrentes de legislações, contratos ou processos judiciais impostos.

Com relação aos três itens que compõem o custo total da manutenção, os custos das falhas são os mais difíceis de medir. Observando-se a figura 3, verifica-se que a zona ou região hachureada indica a melhor situação, ou seja, a situação de equilíbrio entre as curvas  $CP$  e  $CC$  que proporciona o menor valor de custo da curva  $Cman$ . À esquerda da região hachureada observa-se que a curva  $CP$  está em movimento ascendente (tendência de elevação) e a curva  $CC$  está em movimento descendente (tendência de queda), porém os custos ou valores da curva  $CC$  estão em um nível mais elevado do que os custos ou valores da curva  $CP$ , ou seja, nesta região a relação custo-benefício entre o tipo de manutenção a adotar e o retorno em termos monetários é a favor da adoção da prevenção e não da correção, já que o custo com a manutenção preventiva será inferior ao custo com a manutenção corretiva. À direita da região hachureada observa-se que a curva  $CP$  continua em movimento ascendente e a curva  $CC$  está em movimento descendente. Todavia, ocorreu uma inversão de nível, ou melhor, uma troca de posição, pois a curva  $CP$  está em um nível acima da curva  $CC$  e em função disto se conclui que nesta região o retorno que se obtém com a prevenção não compensa os gastos realizados, ou seja, a relação custo-benefício nesta região é a favor de se adotarem medidas corretivas.

Baseado em Falconi (1992) e Werkema (2002) estabelece-se a seguinte relação da fórmula 3:

$$Cf = Nf \cdot \sum (C_{ic} + C_{pfa} + C_{mu})$$

Fórmula 3: Custo falha. Fonte: Werkema, 2002.

Onde:  $Cf$  = Custo de falha;

$Nf$  = Número de falhas possíveis de ocorrer no determinado período. Pode ser obtido através da FMEA multiplicando o tipo de falha ocorrido pela sua respectiva quantidade no período;

$C_{ic}$  = Custos decorrentes da insatisfação do cliente;

$C_{pfa}$  = Custos decorrentes da perda de faturamento;

$C_{mu}$  = Custos decorrentes de multas ou processos judiciais em decorrência da falha.

Segundo Werkema (2002) a parcela  $C_{ic} + C_{pfa} + C_{mu}$  é difícil de ser mensurada e recomenda-se, quando possível, a substituição por uma parcela que represente melhor as características do processo e esteja alinhado com o princípio de que esta parcela deve

representar a insatisfação do cliente. Baseado em Kardec (2002) no campo da manutenção os aspectos relacionados a falha estão associados as dimensões qualidade e produtividade dos serviços prestados. Portanto, a parcela  $C_{ic} + C_{pfa} + C_{mu}$  será substituída pelos termos CNQ e CPD que representam a falha da manutenção que provoca a insatisfação junto ao seu respectivo cliente.

$$Cf = \sum Nf \cdot (CPD + CNQ)$$

Fórmula 4 - Custo falha dentro do processo de manufatura. Fonte: Autor, 2008.

Onde:  $Cf$  = Custo de falha;

$Nf$  = Número de falhas possíveis de ocorrer no determinado período;

$CPD$  = O custo ligado à produtividade direta;

$CNQ$  = O custo de não qualidade.

Segundo Almeida (2001) e Hansen (2003) os critérios de rateio utilizados na manutenção geralmente são determinados em horas-máquinas ou em consumo de energia elétrica. Estes critérios atendem a contabilidade financeira, porém dentro do campo da manutenção estes critérios não possibilitam o fornecimento de dados para análise quanto a efetividade dos serviços da manutenção e muito menos dentro da contabilidade gerencial da função manutenção.

### 3. Metodologia

Cervo e Bervian (2002) afirmam que as pesquisas científicas podem ser classificadas pela sua natureza, sua forma de abordagem, pelo caráter dos objetivos e dos procedimentos técnicos adotados.

Esta pesquisa é classificada, quanto à sua natureza, como aplicada, ou seja, os conhecimentos aqui gerados são aplicáveis em uma situação prática. Quanto à forma de abordagem, a pesquisa é classificada como um estudo de caso, pois será realizada dentro de uma empresa de mineração, situada no município de Parauapebas, sudeste do Pará. No que diz respeito aos objetivos, pode ser classificada como exploratória descritiva, porque a partir da exploração do funcionamento da FMEA propõe-se uma nova abordagem para estabelecer critérios de rateio para os custos indiretos de manutenção. Em relação aos procedimentos técnicos para coleta de informações, a pesquisa baseia-se em pesquisa bibliográfica, documentação direta e observação direta.

Delimitou-se como o objetivo geral do trabalho propor a utilização da ferramenta FMEA na atividade de manutenção industrial para o estabelecimento de novos critérios de rateio, os quais sejam capazes de proporcionar melhores condições para o processo de tomada de decisão dentro da gerência de manutenção.

### 4. Aplicação do estudo de caso

Selecionou-se como fonte de consulta para obtenção dos dados as Ordens de Serviços (OS), pois Kardec (2002) e Viana (2002) consideram as OS como a fonte de dados mais utilizada na manutenção e a empresa pesquisada também a adota para este fim. As Ordens de Serviços (OS) da empresa pesquisada contêm os registros dos materiais aplicados, das ferramentas e dos recursos utilizados (guindaste, caminhão munck, macacos hidráulicos, ou seja, equipamentos para içamento de carga), da equipe envolvida, do tipo da atividade e duração do serviço.

O custo de manutenção, obtido pela fórmula 1, será obtido diretamente do sistema da

empresa, enquanto que o cálculo do custo de manutenção, obtido pela fórmula 2, será composto pelos seguintes itens:

- *Custo com atividades de prevenção (CP)* que será obtido através do somatório dos gastos existentes nas OS's classificadas como substituição preventiva (SP), restauração preventiva (RP) e inspeção preditiva (IP), conforme definição do quadro 2.
- *Custo com atividades de correção (CC)* que será obtido através do somatório dos gastos existentes nas OS's classificadas como serviço operacional (SO), inspeção funcional (IF) e manutenção corretiva (MC), conforme definição do quadro 2.
- *Custo de falhas (Cf)* que será obtido através do somatório dos gastos existentes nas OS's classificadas como reparo funcional (RF), conforme definição do quadro 2.

Durante o levantamento das OS no banco de dados do sistema da empresa, verificou-se que a classificação reparo funcional (RF) não existia. A empresa possuía uma classificação diferente (quadro 6). Logo, o quatro tipos de atividades apresentados pela empresa serão considerados como RF.

<b>Tipo</b>	<b>Descrição</b>
Falha operacional	Ocorre quando existe desbalanceamento na linha por falha operacional e uma parte do circuito entra em recirculação ou opera em vazio.
Corretiva provocada	Ocorre quando existe uma falha devido uma falha operacional.
Teste de meia carga	Ocorre quando um defeito existe ou a manutenção não foi adequada e exige que a máquina opera com baixo rendimento.
Retrabalho	Ocorre quando existe uma falha devido a uma atividade de manutenção realizada de forma inadequada.

Quadro 6 - Classificação da empresa para o item reparo funcional (RF). Fonte: Pesquisa direta, 2008.

O quadro 7 apresenta os tipos de perda que podem ocorrer quando as atividades de manutenção (quadro 2) não são realizadas adequadamente.

<b>TIPO</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
Quebras	São perdas decorrentes de falha na atividade programada orientada para operação quanto ao aspecto de inspeção, lubrificação e pequenos ajustes.
Sobras	São perdas decorrentes de falha na atividade programada orientada para operação quanto ao aspecto de limpeza e controle de vazamentos.
Retrabalhos	São perdas decorrentes de falha na atividade não programada de correção de falhas o defeitos que precisam ser refeitos.
Refugos	São perdas decorrentes de falha na atividade não programada de correção de falhas que obrigam o equipamento a trabalhar em "meia-carga".
Ociosidades	São perdas decorrentes de falha na atividade programada orientada por condição ou por falha.
Ineficiências	São perdas decorrentes de falha na atividade programada orientada por tempo.

Quadro 7 - Tipos de perdas quanto ao resultado do serviço de manutenção. Fonte: Falconi, 1992; Falconi, 1998.

Os quadros 8 e 9 foram definidos para mensurar os custos de cada tipo de perda e associá-los as atividades de manutenção.

<b>Tipo de custo</b>	<b>Tipo perda quanto ao resultado</b>
CNQ	Quebra + Retrabalhos + Refugos
CPD	Sobras + Ociosidades + Ineficiência

Quadro 8 - Associação dos tipos de custos devido a falhas (Cf) com tipos de perdas. Fonte: Pesquisa direta, 2008.



TIPO	DESCRIÇÃO DO CÁLCULO DO CUSTO
Quebras	$\Sigma \{(\text{horas das OS's do tipo corretiva provocada}) / (\text{horas de todas as OS's no mesmo período})\} \times (\text{custo horário da manutenção})$
Sobras	$\Sigma \{(\text{horas de funcionamento do circuito de recirculação}) / (\text{horas de funcionamento do circuito geral no mesmo período})\} \times (\text{custo horário da operação do circuito geral})$
Retrabalhos	$\Sigma \{(\text{horas das OS's do tipo retrabalho}) / (\text{horas de todas as OS's no mesmo período})\} \times (\text{custo horário da manutenção})$
Refugos	$\Sigma \{(\text{horas de funcionamento do circuito e meia-carga}) / (\text{horas de funcionamento programado para o mesmo período})\} \times (\text{custo horário da operação do circuito geral})$
Ociosidades	Custo horário de manutenção x índice de ociosidade x quantidade de horas totais de manutenção corretiva
Ineficiências	Custo horário de manutenção x índice de ineficiência x quantidade de horas totais de manutenção preventiva

Quadro 9 - Mensuração dos custos de falhas com o rateio da atividade RF. Fonte: Pesquisa direta, 2008.

Os índices de ociosidade e ineficiência foram definidos, respectivamente, conforme as fórmulas 5 e 6 descritas no quadro 10.

ÍNDICE DE OCIOSIDADE – Fórmula 5	ÍNDICE DE INEFICIÊNCIA – Fórmula 6
$1 - \Sigma (\text{horas realizadas de manutenção corretiva} / \text{horas previstas de manutenção corretiva})$	$1 - \Sigma (\text{horas realizadas de manutenção preventiva} / \text{horas previstas pela manutenção preventiva})$

Quadro 10 - Índices de ociosidade e ineficiência. Fonte: Pesquisa direta, 2008.

Após a definição da metodologia que será utilizada no cálculo do custo de manutenção selecionou-se o item caminhão fora de estrada para exemplificar a análise. Considerou-se que o sistema caminhão fora de estrada é composto por 9 subsistemas (cabine; chassis; motor; embreagem / caixa de marcha / transmissão; eixos / diferencial / pneus; suspensão; freios; sistema elétrico e caçamba), entretanto é impossível apresentar o quadro FMEA completo por questões de limitação de espaço, por isso o quadro 11 exemplifica a FMEA apenas para um dos subsistemas citado.

SUBSISTEMA: CABINE								
FUNÇÃO: ACOMODAR O OPERADOR								
FALHA	MODO DE FALHA	EFEITO	SOLUÇÃO	CLASSIFICAÇÃO			RPN	Tipo de Atividade
				Detectabilidade (D)	Frequência (F)	Severidade (S)	D x F x S	
Acomodação inadequada e insegura	Retrovisor quebrado	Impossibilidade de manobrar	Trocar o retrovisor	1	6	5	30	IF
	Perfil danificado	Impossibilidade de dirigir	Trocar perfil	1	5	3	15	IF
	Canaleta danificada	Dificuldade para levantar o vidro	Trocar canaleta	1	5	3	15	IF
	Banco danificado	Impossibilidade de sentar	Reparar o banco	1	4	3	12	IF
	Guarnição danificada	Impossibilidade de dirigir	Trocar guarnição	1	4	3	12	MC
	Não conseguir levantar o vidro	Impossibilidade de dirigir	Trocar manivela e verificar engenho	1	5	4	20	IF

Quadro 11 - FMEA obtida. Fonte: Pesquisa direta, 2008.

Em seguida determina-se os custos das perdas para o sistema caminhão fora de

estrada. O equipamento funciona 24 horas por dia e está prevista 70 horas mensais de manutenção preventiva, logo a operação dispõe de 650 horas de trabalho no mês, pois considera-se 30 dias de trabalho no mês.

Para o cálculo do custo de quebra (quadro 12), somou-se as horas das OS's do tipo corretiva provocada e dividiu-se pelas 98 horas de todas as OS's realizadas no mesmo período, posteriormente mutipliou-se esse resultado por 3185, que corresponde ao custo horário de manutenção.

Para o cálculo do custo de sobras (quadro 12), verificou-se que foram registradas 9 horas e 24 minutos de funcionamento do circuito de recirculação, porém foi necessário converter os 24 minutos em horas obtendo-se o valor de 9,40. Dividiu-se as horas de funcionamento do circuito de recirculação pelas 650 horas de funcionamento do equipamento e mutiplicou-se esse resultado pelo custo horário de operação, que corresponde a R\$ 38.000.

Para o cálculo do custo de retrabalho (quadro 12), somou horas das OS's do tipo retrabalho e dividiu-se pelas 98 horas de todas as OS's realizadas no mesmo período, posteriormente mutipliou-se esse resultado por 3185, que corresponde ao custo horário de manutenção.

Para o cálculo do custo de refugo (quadro 12), verificou-se que foram registradas 13 horas e 41 minutos de funcionamento do circuito de meia-carga, porém foi necessário converter os 41 minutos em horas obtendo-se o valor de 13,68. Dividiu-se as horas de funcionamento do circuito de meia-carga pelas 650 horas de funcionamento do equipamento e mutiplicou-se esse resultado pelo custo horário de operação, que corresponde a R\$ 38.000.

Para o cálculo do custo de ociosidade (quadro 12), verificou-se que utilizou-se 28 horas em manutenção corretiva e que o índice de ociosidade obtido foi 0,00896, posteriormente multiplicou-se esses valores e o custo horário de manutenção.

Para o cálculo do custo de ineficiência (quadro 12), verificou-se que utilizou-se 70 horas em manutenção preventiva e que o índice de ineficiência obtido foi 0,00605, posteriormente multiplicou-se esses valores e o custo horário de manutenção.

CUSTO	CÁLCULO DO CUSTO DAS PERDAS
Quebras	$\Sigma (16/98 + 25/98 + 19/98 + 6/98 + 7,5/98) * 3185 = R\$ 2.400,00$
Sobras	$\Sigma (9,4/650) * 38000 = R\$ 550,00$
Retrabalhos	$\Sigma (4/98 + 12/98 + 7/98 + 2/98 + 6/98 + 9/98) * 3185 = R\$ 1.300,00$
Refugos	$\Sigma (13,68/650) * 38000 = R\$ 800,00$
Ociosidades	$3185 * 0,00896 * 28 = R\$ 800,00$
Ineficiências	$3185 * 0,00605 * 70 = R\$ 1.350,00$

Quadro 12 - Custo das perdas. Fonte: Pesquisa direta, 2008.

Em relação ao cálculo dos índices de ociosidade e ineficiência foi considerado as 62 OS's registradas no período, composto por 28 horas corretivas e 70 de preventiva, de maneira geral foi identificado uma média de 15 minutos de ociosidade por OS's corretiva e 21 minutos de ineficiência por OS's preventiva.

Posteriormente, define-se o custo ligado à produtividade direta (CPD = 2400 + 1300 +

800 = 4500) e o custo de não qualidade ( $CPD = 550 + 800 + 1350 = 2700$ ) e prossegue-se com a determinação dos custos de manutenção através da fórmula 2.

A tabela 1 mostra os resultados do custo de manutenção obtido através da metodologia tradicional representado pela fórmula 1 e obtida diretamente do software da empresa, e os custos de manutenção obtido através da metodologia proposta representado pela fórmula 2 e calculado ao longo do presente trabalho de pesquisa.

Tabela 1 – Comparativo dos custos.

		Variável	Valor (U.M.)	%			Variável	Valor (U.M.)	%
Situação: Tradicional Fórmula 1 $C_{man} = C_{Mat} + C_{MO} + C_{fer} + C_{inv}$		$C_{Mat}$	66.600,00	74	Situação: Proposta Fórmula 2 $C_{man} = CP + CC + Cf$		$CP$	59.400,00	66
		$C_{MO}$	8.100,00	9			$CC$	23.400,00	26
		$C_{Fer}$	4.500,00	5			$CPD$	4.500,00	5
		$C_{inv}$	10.800,00	12			$CNQ$	2.700,00	3
		$C_{man}$	90.000,00	100			$Cf$	7.200,00	8
		$C_{man}$	90.000,00	100		$C_{man}$	90.000,00	100	

Fonte: Pesquisa direta, 2008.

Analisando da tabela 1 pode-se verificar que o resultado geral é o mesmo ( $C_{man}$ ) o que comprova a metodologia e desta comparação pode se observar pro exemplo que o custo de falhas ( $Cf$ ) é praticamente igual ao custo com mão de obra ( $C_{MO}$ ), ou seja, vale a pena a empresa pensar em um programa de qualificação profissional ou de gestão da qualidade total, pois praticamente os atuais patamares de gastos devido às falhas são de valor monetário equivalente a folha de pagamento.

Analisando a tabela 1 pode-se verificar que o resultado do custo de manutenção é igual nas duas metodologias. Porém, comparando-se o resultado das duas metodologias identifica-se que o custo de falhas ( $Cf$ ) corresponde a praticamente 88,9% do custo de mão de obra ( $C_{MO}$ ), ou seja, a empresa precisa tomar alguma ação como, implantar um programa de qualificação profissional ou de gestão da qualidade total, pois os custos devido às falhas são de valor monetário equivalente a folha de pagamento.

## 5. Considerações Finais

Verifica-se que a proposta existente e resumida no quadro 13 atende os interesses da contabilidade gerencial e não fere os princípios da contabilidade financeira. Possibilitando uma complementação das informações disponíveis na metodologia tradicional. Destaca-se que a forma proposta facilita o rastreamento e a obtenção dos dados auxiliando o gerenciamento no dia-a-dia.

Situação	Critério de Rateio	Variável	Fonte de dados	Método
Tradicional (Fórmula 1)	Horas máquinas ou energia elétrica	$C_{Mat}$ , $C_{MO}$ , $C_{Fer}$ e $C_{inv}$	Ordem de Serviço (OS)	Obtido através do rateio padrão
Proposta (Fórmula 2)	Tipo de Atividade pelo FMEA	$CP$ , $CC$ e $Cf$	Ordem de Serviço (OS)	$CP$ - Obtido do somatório dos gastos existentes nas OS's classificadas como SP, RP e IP (Quadro 2) $CC$ - Obtido do somatório dos gastos existentes nas OS's classificadas como SO, IF e MC (Quadro 2) RF - Através das fórmulas desenvolvidas no Quadro 9

Quadro 13 - Resumo das metodologias apresentadas. Fonte: Pesquisa direta, 2008.

A substituição do critério de rateio de horas máquinas ou energia para tipo de atividade permite uma alocação de custo mais precisa e promove a obtenção de melhores índices e informação para a tomada de decisão.

### Referências

- AFFONSO, Luiz Otávio Amaral. *Equipamentos mecânicos: Análise e solução de problemas*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.
- ALMEIDA, Adiel Teixeira. *Gestão da Manutenção*. Recife – Pernambuco: Ed. Universitária da UFPE, 2001.
- ALVAREZ, Omar Emir. *Manual de Manutenção Planejada*. Editora Universitária – UFPB. João Pessoa, 1998.
- BORNIA, Antonio Cezar. *Análise Gerencial de Custos em Empresas Modernas*. Porto Alegre: Editora Bookman, 2002.
- CERVO, A. L.; BERVIAN, P A. *Metodologia científica*. 5. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002. 242 p.
- COGAN, Samuel. *Contabilidade Gerencial: uma abordagem da teoria das restrições*. São Paulo: Editora Saraiva, 2007.
- FALCONI, Vicente. *Gestão da Qualidade Total no modelo japonês*. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1992.
- FALCONI, Vicente. *Gerenciamento da Rotina*. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.
- FEMENICK, Tomislav R. *A Problemática e a solução para os custos invisíveis e custos ocultos*. Revista da FARN. Natal, v. 4, n. 1/2, jul. 2004/dez. 2005.
- GIL, Antonio Carlos. *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo: Atlas, 1991.
- HANSEN, Don R. *Gestão de Custos: Contabilidade e Controle*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.
- IEC 60300-3-3: Dependability management - Part 3-3: Application guide - Life cycle costing
- KAPLAN, Robert *et al.* *Contabilidade Gerencial*. São Paulo: Editora Atlas, 2000.
- KARDEC, Alan. *Gestão Estratégica e Indicadores de Desempenho*. Rio de Janeiro: Qualitymark, ABRAMAN, 2002.
- MADDOX, M.E. *Error apparent*. *Industrial Engineer*, v.37, n.5, p. 40-44, 2005.
- MARTINS, Gilberto de Andrade. *Manual para elaboração de monografias e dissertações*. São Paulo: Atlas, 1994.
- MEDEIROS, Luiz E. *Contabilidade de custos: um enfoque prático*. Porto Alegre: Ortiz, 1994.
- MIL –STD – 882 D. “Standard Practice For Sistem Safety Program Requirements”. MIL 882, Fort Benning, USA, 2002.
- PADOVEZE, Clóvis Luís. *Curso Básico Gerencial de Custos*. São Paulo: Editora Pioneira Thomson Learning, 2006.

PALADY, Paul. *FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos*. São Paulo: IMAN, 2002.

SAE 1999. Reliability and Maintainability Guideline for Manufacturing Machinery and Equipment

SAE International. “*A Guide to the Reability – Centered Maintenance (RCM) Standard*”. SAE JA 1012, Warrendale, PA, USA, 2002.

SAKURAI, Michiharu. *Gerenciamento Integrado de Custos*. São Paulo: Atlas, 1997.

SCAPIN, Carlos Alberto. *Análise Sistemica de Falhas*. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999.

SHANK. John K. A revolução dos custos: Como reinventar e redefinir sua estratégia de custos para vencer em mercados competitivos. 2º Edição –Rio de Janeiro – Campus – 1997.

SIQUEIRA, Yony Patriota de. *Manutenção Centrada na Confiabilidade: manual de implementação*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

TIFFANY, Paul; PETERSON, Steven D. *Planejamento estratégico*. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1996, 3 ed.

VIANA, Herbert Ricardo. *PCM- Planejamento e Controle da Manutenção*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

WARREN. *FMEA: Failure Mode, Effetcs and Analysis*. USA, 2002.

WERKEMA, Maria Cristina. *Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos*. Belo Horizonte - Minas Gerais: QFCO, 1995.

WERKEMA, Maria Cristina. *Criando a cultura Seis Sigma*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

WERNKE, Rodney. *Gestão de custos*. São Paulo: Atlas, 2001.