



Especialização em Engenharia de Manutenção – ABRAMAN-IEC-PUCMINAS

COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS DA MANUTENÇÃO COM ABORDAGEM DA FERRAMENTA FMEA.

Autor: Geovane Padovani Resende

Instituição/Empresa: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Formação Acadêmica: Bacharel em Engenharia Mecânica

E-mail: gpadv@gmail.com

Professores Orientadores: Prof. Dr. Daniel Enrique Castro, PhD.

Prof. Marlon A. Pinheiro, Msc.

Resumo. *Este artigo propõe a comparação entre duas formas de composição de custos de manutenção, sendo uma delas a forma mais utilizada (critério de rateio por hora máquina ou energia elétrica) e a proposta com a abordagem da ferramenta FMEA (por tipo de atividade) possibilitando novas formas de avaliação na distribuição dos custos, os quais são capazes de proporcionar melhor gestão no processo de tomada de decisão dentro da gerência de manutenção. Este artigo apresentou um estudo de caso para a aplicação das metodologias de análise de custos e teve como objetivos comprovar a eficácia dos métodos e a avaliação dos resultados finais, que permitiu demonstrar aos gestores como podem alocar custos com maior precisão e promover a obtenção de melhores índices e informações para a tomada de decisão.*

Palavras-chave: *Manutenção, Custos, FMEA, Gestão*

1. INTRODUÇÃO

A atual crise à qual o país atravessa trás como conseqüência a redução drástica do crédito, e logo, as empresas precisam se prevenir e antecipar cenários, ou seja, a empresa não deve ser reativa e sim proativa. A retração do crédito no mercado 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 à sobrevivência da empresa, porém, se faz necessário uma avaliação dos processos mais aprofundada por parte das empresas para que não ocorram prejuízos da produtividade e da qualidade. Logo o que se deve buscar é orientar esforços de modo a se alcançar a redução de custos através da eliminação de todas as formas de desperdícios para vencer a competição global. O grande desafio dos gestores é buscar 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.

A metodologia de custeio mais empregada nas organizações é a RKW (Reichskuratorium für Wirtschaftlichkeit) é um processo de fixação de preço do produto com base na alocação dos custos fixos e variáveis, somados a eles também as despesas que a empresa apresenta. Surgiu na Alemanha ao redor de 1900. Esse sistema de custeio visa 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).

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. Essas dificuldades são atribuídas 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 comparação do método de custeio tradicional com um método onde se propõe a utilização da ferramenta FMEA 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.

2. DESENVOLVIMENTO

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).

Para a elaboração da FMEA, cada componente é avaliado 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.

Através do estabelecimento das funções associadas às falhas, modos de falhas, causas e efeitos, a ferramenta FMEA, 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 que serão apresentados a seguir definem os principais termos técnicos utilizados nesta ferramenta, os quais serão necessários para a compreensão da presente pesquisa. 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.

COMPONENTE	PARTE INTEGRANTE DE UM EQUIPAMENTO
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 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 da Falha	Descreve o 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 das 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: - Categoria I: Efeito Catastrófico (causa mortes, grandes danos ambientais e ao processo) - Categoria II: Efeito Crítico (lesão grave/incapacitante, graves danos ambientais e ao processo) - Categoria III: Efeito Marginal (lesão leve, dano pequeno e ou atraso na produção) - Categoria IV: Efeito Insignificante

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

TIPO DE ATIVIDADE	CONCEITO
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 o 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 as atividades com RPN de menor resultado.

Nível	Detectabilidade	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.

2.2 Formas de Obtenção dos Custos de Manutenção

Serão apresentadas agora, algumas técnicas utilizadas para calcular os custos de manutenção. Após entendê-las, será proposto a integração com a ferramenta FMEA, objetivando uma comparação entre o método tradicional e o proposto, em seguida será avaliada sua eficácia na mensuração de custos de manutenção de forma mais adequada.

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

$$C_{\text{man}} = C_{\text{Mat}} + C_{\text{Mo}} + C_{\text{Fer}} + C_{\text{inv}} \quad (1)$$

Sendo: C_{man} = Custos totais de manutenção;

C_{Mat} = Custos com materiais;
 C_{Mo} = Custos com mão-de-obra;
 C_{Fer} = Custos com ferramental;
 C_{inv} = Custos com investimentos ou falhas.

No gráfico da figura 2 é possível ver a resultante baseada nesta relação. Observa-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.

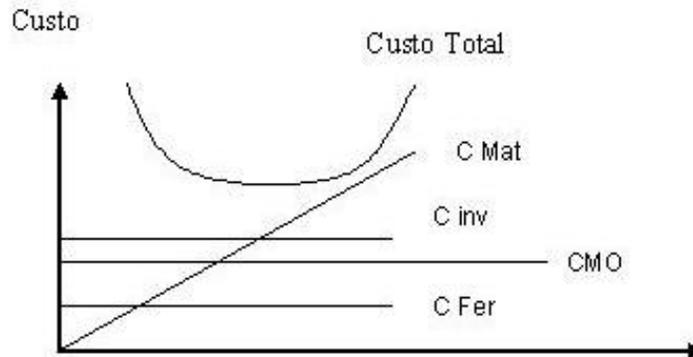


Figura 2 - Custos tradicionais de manutenção. Fonte: Kardec, 2002.

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

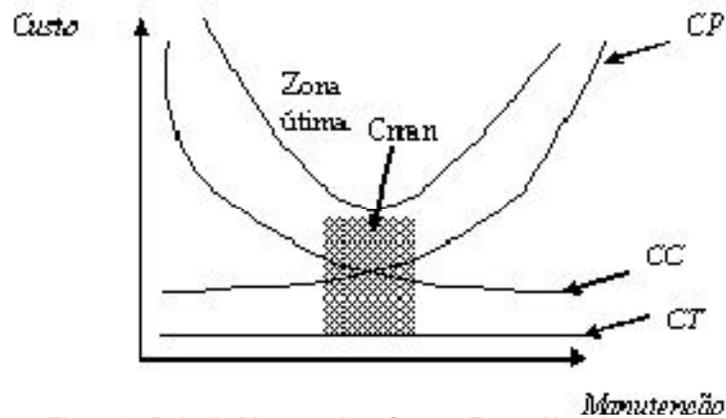


Figura 3 - Relação Manutenção x Custos. Fonte: Almeida, 2001.

Diante da figura 3, chega-se à (equação 2) que fornece a seguinte relação segundo Almeida, 2001:

$$C_{man} = CP + CC + C_f \quad (2)$$

Sendo: C_{man} = Custo total de Manutenção;
 CP = Custos com atividades de prevenção;
 CC = Custos com atividades de correção;
 C_f = Custos das falhas de manutenção.

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. Os custos das falhas de manutenção (C_f ou CT conforme figura 3) 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 C_f ou CT não irá desaparecer, por causa do caráter probabilístico e da incerteza existente.

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 hachurada 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 C_{man} . À esquerda da região hachurada 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 hachurada 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.

Conforme Falconi (1992) e Werkema (2002) estabelece-se a seguinte relação da equação 3:

$$C_f = N_f \cdot \sum (C_{ic} + C_{pfa} + C_{mu}) \quad (3)$$

Sendo: C_f = Custo de falha;

N_f = Número de falhas possíveis de ocorrer no determinado período. Pode ser obtido através da FMEA multiplicando o número de modo 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 em decorrência de 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 às falhas estão associados às 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 e então a função custo de falha será reescrita conforme a (equação 4):

$$C_f = N_f \cdot \sum (CNQ + CPD) \quad (4)$$

Onde: C_f = Custo de falha;

N_f = Número de falhas ocorridas no determinado período;

CNQ = Custo de não qualidade;

CPD = Custo ligado à produtividade direta.

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.

2.3 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 estudos 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 com base em um ativo de uma indústria química, situada no município de Contagem, região central de Minas Gerais. No que diz respeito aos objetivos, pode ser classificada como exploratória descritiva, porque a partir da exploração do funcionamento da FMEA propõe-se uma 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 e documentação direta (histórico de ativo por um período de um ano)

O objetivo geral do trabalho é propor a utilização da ferramenta FMEA na atividade de manutenção industrial para o estabelecimento de outros critérios de rateio, os quais sejam capazes de proporcionar melhores condições no processo de tomada de decisão dentro da gerência de manutenção.

2.4 Estudo de caso

Como fonte de consulta para obtenção dos dados utilizou-se o histórico do ativo conjunto moto-bomba, por um período de um ano, com os registros das 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 (Talhas, caminhão *munk*, ou seja, equipamentos para içamento de carga), da equipe envolvida, do tipo de atividade e duração do serviço.

O custo de manutenção, obtido pela (equação 1), será obtido diretamente do sistema da empresa, enquanto que o cálculo do custo de manutenção, obtido pela (equação 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), inspeção preditiva (IP) e restauração preventiva (RP) 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 (C_f)** 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, verificou-se que a classificação reparo funcional (RF) para empresa era classificada conforme (quadro 6).

Tipo	Descrição
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 opere 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, 2016.

Segundo Falconi (1998) os tipos de perda que podem ocorrer quando as atividades de manutenção (quadro 2) não são realizadas adequadamente são classificadas conforme o quadro 7.

Tipo	Descrição
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.
Ineficiência	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, 1998.

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

Tipo de custo	Tipo de perda quanto ao resultado
CNQ	Quebra + Retrabalho + Refugos
CPD	Sobras + Ociosidades + Ineficiência

Quadro 8: Associação dos tipos de custos devido a falhas (*Cf*) com tipos de perdas. Fonte: Pesquisa direta, 2016.

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

Quadro 9: Mensuração dos custos de falhas com o rateio da atividade RF. Fonte: Pesquisa direta, 2016.

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

ÍNDICE DE OCIOSIDADE (Equação 5)	ÍNDICE DE INEFICIÊNCIA (Equação 6)
$\frac{\sum(\text{horas realizadas de manutenção corretiva})}{\sum(\text{horas previstas de manutenção corretiva})}$	$\frac{\sum(\text{horas realizadas de manutenção preventiva})}{\sum(\text{horas previstas de manutenção preventiva})}$

Quadro 10: Índices de ociosidade e ineficiência. Fonte: Pesquisa direta, 2016.

Descrita a metodologia que será utilizada no cálculo do custo de manutenção, selecionou-se o item *Conjunto Moto-Bomba* onde se dispõe o quadro FMEA conforme anexo I.

2.5 Resultados

Segue abaixo a aplicação dos dados coletados e dimensionamento dos custos conforme metodologia proposta.

Custo com atividades de prevenção: O custo com as atividades de prevenção, obtido através dos somatórios dos gastos nas OS's classificadas como substituição preventiva (SP),

inspeção preditiva (IP) e restauração preventiva (RP) será: $(CP = 640,00 + 95 + 415,46 = R\$1150,46)$.

Custo com atividades de correção: O custo com as atividades de correção, obtido através do somatório dos gastos existentes nas OS's classificadas como serviço operacional (SO), inspeção funcional (IF) e manutenção corretiva (MC) será: $(CC = 135,00 + 121,60 + 1247,20 = R\$1503,80)$.

Custo de quebra: somou-se as horas das OS's do tipo corretiva provocada (4 horas) e dividiu-se pelas 71 horas de todas as OS's realizadas no mesmo período, posteriormente multiplicou-se esse resultado por R\$64,57, que corresponde ao custo horário de manutenção. Logo, o custo de quebra foi igual a R\$3,64.

Custo de sobras: dividiu-se as horas de funcionamento do circuito de recirculação (16,3 horas) pelas 8760 horas de funcionamento do equipamento no ano e multiplicou-se esse resultado pelo custo horário de operação, que corresponde a R\$303,49. Logo, o custo de sobras foi igual a R\$0,56.

Custo de retrabalho: somou-se as horas das OS's do tipo retrabalho (10 horas) e dividiu-se pelas 71 horas de todas as OS's realizadas no mesmo período, posteriormente multiplicou-se esse resultado por 64,57, que corresponde ao custo horário de manutenção. Logo, o custo de retrabalho foi de R\$9,09.

Custo de refugo: dividiu-se as horas de funcionamento do circuito de meia-carga (22,35 horas) pelas 8760 horas de funcionamento do equipamento no ano e multiplicou-se esse resultado pelo custo horário de operação, que corresponde a R\$303,49. Logo, o custo de refugo foi de R\$0,77.

Custo de ociosidade: multiplicou-se as 20,5 horas de manutenção corretiva pelo índice de ociosidade obtido (0,2278) e em seguida multiplicou-se pelo custo horário de manutenção que é de R\$64,57. Obteve-se assim um custo de ociosidade de R\$301,54.

Custo de ineficiência: multiplicou-se as 24 horas de manutenção preventiva pelo índice de ineficiência obtido (0,1333) e em seguida multiplicou-se pelo custo horário de manutenção que é de R\$64,57. Obteve-se então um custo de ineficiência de R\$206,57.

Conforme o (quadro 8) o custo ligado à produtividade direta será: $(CPD = 0,56 + 301,54 + 206,57 = R\$508,67)$ e o custo de não qualidade será: $(CNQ = 3,64 + 9,09 + 0,77 = R\$13,50)$. Logo, da (equação 4) o **custo de falha** será: $\{C_f = 4 \times (13,50 + 508,67) = R\$2088,68\}$.

Das 35 OS's registradas no período avaliado, compostas por 37 horas corretivas e 34 horas de preventiva, por meio dos índices de ociosidade e ineficiência, obteve-se ainda uma média de 19,4 minutos de ociosidade por OS corretiva multiplicando-se o índice de ociosidade (0,22778) pelas 37 horas de corretiva e em seguida, dividindo-se este resultado pelo número de 26 OS's corretivas. Obtêm-se também uma média de 30,2 minutos de ineficiência por OS preventiva multiplicando-se o índice de ineficiência (0,13333) pelas 34 horas de preventiva e em seguida, dividindo-se este resultado pelo número de 9 OS's preventivas.

A tabela 1 mostra os resultados do custo de manutenção obtido através da metodologia tradicional, onde o critério de rateio é definido a partir da hora máquina ou energia elétrica, representado pela (equação 1) em que os dados foram coletados do *software* da empresa, e também os custos de manutenção obtido através da metodologia proposta onde o critério de rateio é definido a partir do tipo de atividade pelo FMEA representado pela (equação 2) e calculado ao longo do presente trabalho de pesquisa.

CUSTO DE MANUTENÇÃO					
Critério de rateio tradicional (hora máquina ou energia elétrica – equação 1)			Critério de rateio proposto (tipo de atividade pelo FMEA – equação 2)		
Variável	Valor (U.M.)	%	Variável	Valor (U.M.)	%
C_{Mat}	1985,60		CP	1150,46	
C_{Mo}	1383,80		CC	1503,80	
C_{Fer}	535,58		C_f	2089,04	
C_{inv}	680,00				
C_{man}	4584,98		C_{man}	4743,30	

Tabela 1: Comparativo dos custos. Fonte: Autor, 2016.

Analisando os resultados da tabela 1 pode-se verificar que os valores dos custos de manutenção encontrados em cada método estão bem próximos (diferença de 158,32) o que comprova a eficácia das metodologias, porém, era esperado que os valores fossem idênticos, uma vez que, os dados relacionados aos custos trabalhados, foram retirados do mesmo histórico. Acredita-se que essa diferença está relacionada ao valor do custo horário de operação do circuito, utilizado para a determinação dos custos de não qualidade (CNQ) e dos custos ligados à produtividade direta (CPD), pois estes dependem do valor das tarifas do kWh que variam conforme o horário de ponta e fora dele. Verifica-se também que pelo critério de rateio proposto (tipo de atividade pelo FMEA), os custos com falhas são superiores aos gastos com manutenções preventivas, corretivas, e também, muito superior aos custos com mão de obra. Há também de se levar em consideração os altos valores de tempos perdidos por OS com ociosidade (19,4 min por OS corretiva) e com ineficiência (30,2 min por OS preventiva), o que se leva a crer que talvez a empresa deva investir em um programa de qualificação profissional ou a implantação de melhorias no programa de gestão da qualidade total.

3. CONCLUSÃO

Com o mercado globalizado no qual a concorrência é mais acirrada, as empresas, pressionadas, são obrigadas a rever seus investimentos e redimensionar seus custos para se manterem competitivas no mercado.

Como foi dito neste artigo, o redimensionamento de custos ocorre de forma compulsória visando à sobrevivência da empresa, porém, se faz necessário uma avaliação dos processos mais aprofundada por parte das empresas, para que não ocorram prejuízos da produtividade e da qualidade. Diante do exposto na metodologia proposta neste artigo, podemos concluir que ela possibilita uma avaliação complementar às informações disponíveis na metodologia tradicional, permitindo uma alocação de custos mais precisa, identificando deficiências, facilitando o rastreamento e a obtenção de dados que auxiliam nas tomadas de decisão das gerências no dia-a-dia.

4. AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por toda força e saúde concedida para que eu pudesse concluir mais esta etapa, aos meus pais, em especial à minha querida mãe pelo incessante incentivo e cuidados, à minha irmã por toda ajuda, aos meus colegas de turma pelo companheirismo, aos professores do curso de especialização em Engenharia de Manutenção pelos conhecimentos e experiências transmitidos a nós alunos.

ANEXO I

ANÁLISE DOS EFEITOS E MODOS DE FALHAS FMEA (CONJUNTO MOTO-BOMBA)											
Função: Transferência de Reagente											
Índice	Item	Função no processo	Modo de falha	Efeitos potenciais de falha	Causa(s), mecanismo(s), potenciais de falha	Solução	Classificação			RPN	Tipo de Atividade
							Severidade (S)	Frequência (F)	Detecção (D)		
15.01	Carcaça	Conter o fluido	Vazamento	Parada da bomba	Rachadura Degradação	Substituição da carcaça	5	2	3	30	MC
15.02	Eixo	Transmitir torque	Não transmitir força	Parada de bomba	Quebra	Substituição/ Recuperação do eixo	3	2	3	18	MC
15.03	Selo	Conter o fluido e manter a pressão interna	Vazamento	Parada da bomba	Contaminação por sólidos/ Alta temperatura	Substituição do selo	3	5	2	30	IF
15.04	Skid	Fixação do conjunto moto-bomba	Desprendimento de fixação	Mal funcionamento do conjunto	Excesso de vibração	Aperto e fixação correta do conjunto	1	4	2	8	IP
15.05	Rotor	Pressurizar o fluido	Não pressurizar o Fluido	Perda de eficiência do conjunto	Desgaste/ Deterioração por cavitação	Substituição do rotor	5	3	1	15	SP
15.06	Mancal	Suportar o eixo	Não suportar os esforços do eixo	Parada da bomba	Alto aquecimento	Substituir rolamentos, alinhar e balancear	3	3	2	18	IP
15.07	Comando	Controle do motor/proteção	Descontrole/ vulnerabilidade	Parada da bomba	Falta de eletricidade	Verificar sistema de proteção	3	2	1	6	RF- (Falha Operacional)
15.08	Motor	Transmitir potência	Não transmitir potência	Parada da bomba	Curto circuito entre fases	Verificar isolamento	3	2	1	6	RP
15.09	Sistema de lubrificação	Lubrificar partes móveis	Não executar lubrificação	Parada da bomba	Falta de lubrificante	Repor lubrificante	4	6	1	24	SO

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, Adiel Teixeira. **Gestão da Manutenção**. Recife – Pernambuco: Ed. Universitária da UFPE, 2001.
- 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.
- 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.
- MIL –STD – 882 D. **“Standard Practice For System 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 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 Sistêmica 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.
- WERNKE, Rodney. **Gestão de custos**. São Paulo: Atlas, 2001.

Abstract. *This article proposes a comparison between two forms of composition maintenance costs, one of the most used form (sharing criterion for time machine or electricity) and the proposal to approach the FMEA tool (by type of activity) enabling new forms of assessment in the distribution of costs, which are able to provide better management decision-making process within the maintenance management. This paper presented a case study for the application of cost analysis methodologies and aimed to prove the effectiveness of the methods and evaluation of the final results, which allowed to show managers how they can allocate costs more accurately and promote the achievement of better indices and information for decision making.*

Keywords: *Maintenance, costs, FMEA, Management*