

COMPONENTES CRÍTICOS E MODOS DE FALHA DE UMA BOMBA CENTRÍFUGA DE COMBATE A INCÊNDIO

WESLEY MODESTO DOS SANTOS¹
MESTRE MACCLARCK PESSOA NERY²

Resumo

Bombas são componentes fundamentais para a vida moderna. Elas trabalham nas mais diversas áreas, desde o bombeio de água em uma adutora para o abastecimento de grandes metrópoles, até o transporte de fluido em indústrias de processo. Dessa forma, o equipamento fica sujeito aos mais variados agentes causadores de degradação, fazendo-se necessário estudo destes, de modo a melhorar as condições de trabalho das bombas, aumentando sua vida útil. Frente ao exposto, este trabalho se dedica ao estudo dos modos de falhas que podem ser detectados em uma bomba centrífuga, neste caso específico, para o combate de incêndio. Foi desenvolvida uma FMEA (Efeitos dos Modos de Falhas) que auxiliou na detecção dos modos mais críticos. Em primeiro momento foi desenvolvida lista com todos os componentes da bomba. Em seguida, literatura específica, consultada na tentativa de levantar as condições de operação dos componentes, suas funções e problemas que ocorrem devido à manutenção inadequada. Ademais, tentou-se identificar os componentes críticos que ficam sujeitos às piores condições de operação e os principais modos de falha. Salienta-se que como resultante, obteve-se o enquadramento das principais problemáticas referentes às falhas da bomba analisada.

Palavras-chave: Bomba Centrífuga; Modos de Falha; Combate à Incêndio.

ABSTRACT

Pumps are key components to modern life. They work in a wide range of areas, from water pumping to a pipeline to large metropolitan areas, to the transportation of fluid in process industries. In this way, the equipment is subject to the most varied agents causing degradation, making them necessary to study them, in order to improve the working conditions of the pumps, increasing their useful life. In view of the above, this work is devoted to the study of fault modes

¹ Graduando em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Sergipe (UFS). E-mail: minho_254@hotmail.com

² Professor Orientador – Mestre em de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Sergipe (UFS). E-mail: pessoanery@live.com

that can be detected in a centrifugal pump, in this specific case, for fire fighting. An FMEA (Effects of Fault Modes) was developed that aided in the detection of the most critical modes. At first, a list was developed with all the components of the pump. Then, specific literature, consulted in an attempt to raise the operating conditions of the components, their functions and problems that occur due to inadequate maintenance. In addition, it intended to identify the critical components that are subject to the worst operating conditions and the main modes of failure. It should be noted that as a result, the main problems related to the failures of the pump analyzed were obtained.

Keywords: Centrifugal Pump; Failure Modes; Fire Fighting.

Introdução

A presença de bombas e instalações de bombeamento é fundamental em plantas que operam com o transporte de fluido de processo. Estes locais geralmente trabalham de forma contínua e interdependente, de modo que uma parada acidental devido a falha de uma pequena gaxeta, da bomba de extração, pode ocasionar perdas de somas financeiras exorbitantes.

Sob esse cenário, faz-se necessário a realização de um estudo dos modos potenciais de falha que qualquer equipamento de uma indústria possa enfrentar. Técnicas de manutenção são adotadas: Preditiva, Preventiva e Corretiva, dependendo da gravidade da situação do equipamento.

O passo inicial é determinar o ciclo de vida do equipamento. Conhecendo-se este ciclo e aplicando técnicas baseadas na confiabilidade, é possível ter garantia do retorno ou até maximizar o capital investido. Para tanto, há a necessidade de selecionar técnicas que identificam aspectos fundamentais da vida útil do equipamento. Neste caso, foi escolhida uma técnica complementar: a *Failure Mode Effects Analysis* ou Análise e Efeitos dos Modos de Falhas (FMEA), que proporciona visão sistêmica do processo e conhecimento do conhecimento do sistema bomba.

As bombas centrífugas estão dentro da classificação de turbo bombas, as quais apresentam duas partes essenciais que as caracterizam: o rotor e o difusor. O rotor é um componente rotatório dotado de pás que exercem forças sobre o líquido, promovendo sua aceleração. Ocorre aí a transformação da energia mecânica, da qual o rotor está dotado, em energia cinética para o

fluido. O difusor, por sua vez, tem a função de transformar progressivamente e continuamente a energia cinética do líquido em energia potencial de pressão. Isto é necessário para que o líquido atinja o bocal de saída da bomba com uma velocidade razoável e pressão adequada para o escoamento; para o caso das bombas centrífugas, o difusor apresenta-se sob a forma de voluta (MACINTYRE, 2013).

A realização dessa pesquisa foi motivada após experiência de trabalho (dois anos) em uma indústria de produção de fertilizantes no Estado de Sergipe. Lá foi observado que as bombas responsáveis pelo combate ao incêndio necessitavam de manutenção mais frequente, reparos de solda, adição de material, balanceamento, vedação contra vazamentos.

Apesar de não representar parada definitiva da planta de processo, a condição da bomba obrigava o deslocamento de mão de obra e a aquisição de material para a sua reparação. Dessa forma, fez-se necessária a realização de um estudo mais aprofundado, de modo a ir além do que foi observado no tempo de trabalho no local, tendo em vista contemplar aspectos capazes de reduzir custos futuros.

Portanto, o objetivo desse estudo é analisar modos de falhas de uma bomba centrífuga de combate a incêndio. Estimando com isso a confiabilidade e vida útil deste equipamento quando submetida às condições de serviço às quais é submetida. Ao mesmo tempo em que: a) elaborar FMEA para a bomba investigada a partir da opinião e experiência de campo de especialistas do setor, demonstrando o uso dessa metodologia na avaliação de vida do equipamento, identificando pontos críticos que possam ser melhorados para o aumento da confiabilidade e tomada de decisão dos gestores de ativos; b) construir uma árvore funcional a partir dos resultados qualitativos da FMEA; c) definir as funções de cada item da árvore funcional; d) construir uma árvore de falhas a partir de árvore funcional.

Este trabalho é dividido em quatro partes, organizados da seguinte forma. A primeira realiza revisão bibliográfica sobre o tema a ser modelado. A descrição de uma bomba centrífuga é feita a partir da apresentação dos seus componentes, além da análise sobre FMEAS e sua importância para a indústria em geral. Apresenta-se as conclusões de trabalhos consultados, e que serviram de referência. A segunda parte apresenta a metodologia de análise.

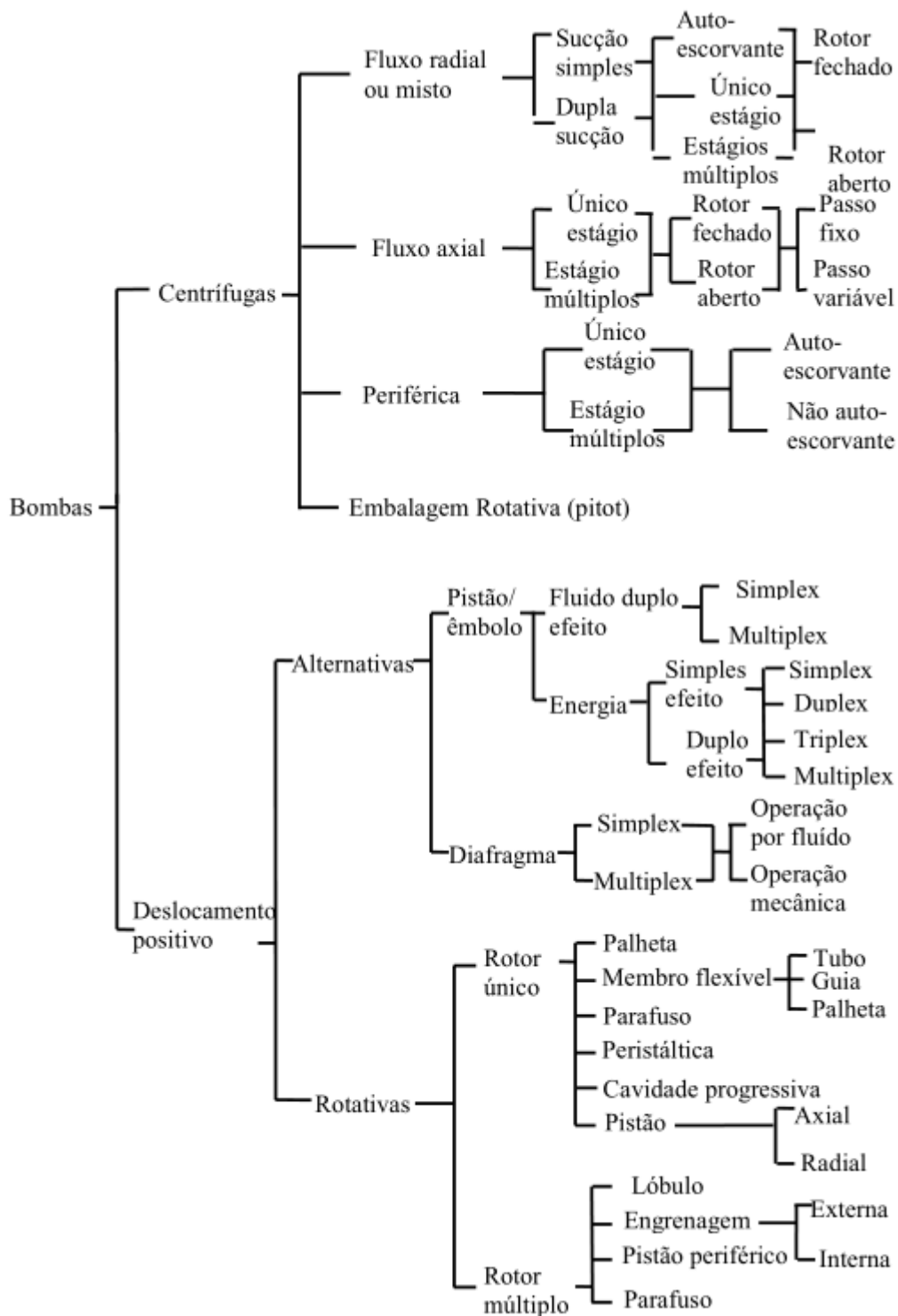
Nela demonstra-se como se efetivou a elaboração da FMEA, a divisão da tabela e a pontuação dos quesitos, estimando esclarecer como se deu a transição entre as colunas da tabela e os valores associados. Na penúltima parte apresenta-se a análise dos resultados obtidos. E por fim, chega-se à conclusão sobre o trabalho realizado e os resultados obtidos.

Revisão bibliográfica

Motobombas centrífugas

Motobombas centrífugas são utilizadas como o principal meio de transporte de fluido de trabalho por serem equipamentos simples, econômicos, recomendados por normas internacionais e eficientes (API 610), dentre outros tipos de bombas disponíveis para o transporte do fluido utilizadas no processo produtivo. Uma classificação detalhada das bombas é apresentada na figura 1.

Figura 1: Classificação detalhada das bombas (EUROPUMP, HYDRAULIC INSTITUTE, 2004).



A bomba centrífuga necessita ser previamente enchida com o líquido a bombear, isto é, deve ser escovada. Devido às folgas entre o rotor, o coletor e o restante da carcaça, não pode haver a expulsão do ar do corpo da bomba e

do tubo de aspiração, de modo a ser criada a rarefação com a qual a pressão, atuando no líquido do reservatório de aspiração, de modo que venha a ocupar o vazio deixado pelo ar expelido, e a bomba possa bombear. Ela, portanto, não é auto-aspirante ou auto-escovante, a não ser que se adotem recursos construtivos especiais.

Logo que se inicia o movimento do rotor e do líquido contido nos canais formados pelas pás, a força centrífuga decorrente deste movimento cria uma zona de maior pressão na periferia do rotor e, conseqüentemente, ocorre uma de baixa pressão na sua entrada, produzindo o deslocamento do líquido em direção à saída dos canais do rotor e à boca de recalque da bomba. Em virtude das pressões nelas reinantes, estabelece-se um gradiente hidráulico entre a entrada e a saída da bomba.

Em virtude da diferença de pressões que se estabelece no interior da bomba ao ter lugar o movimento de rotação, a pressão à entrada do rotor torna-se inferior à existente no reservatório de captação, dando origem ao escoamento do líquido através do encanamento de aspiração, do reservatório inferior para a bomba. Simultaneamente, a energia na boca de recalque da bomba torna-se superior à pressão estática à qual está submetida a base da coluna líquida na tubulação de recalque, obrigando o líquido a escoar para uma cota superior ou local de pressão considerável.

Estabelece-se então, com a bomba em funcionamento, um trajeto do líquido do reservatório para o superior através da tubulação de aspiração, dos canais do rotor e difusor e da tubulação de recalque. É na passagem pelo rotor que se processa a transformação da energia mecânica nas energias de pressão e cinética, que são aquelas que o líquido pode possuir. Saindo do rotor, o líquido penetra no difusor, onde parte apreciável de sua energia cinética é transformada em energia de pressão, e segue para a tubulação de recalque.

A bomba centrífuga avaliada nesse trabalho (Figura 2), da marca SULZER, modelo SMH 202-450 destinada a condução de água industrial para combate a incêndio, acionada por motor elétrico de indução trifásico de 4 pólos. Mais dados são fornecidos na tabela 1.

Figura 2: Bomba de combate a incêndio instalada no ambiente de trabalho. Registro antes da retirada para manutenção.



Tabela 1: Dados técnicos do modelo de bomba avaliado.

Líquido bombeado	Água industrial	Vazão de projeto/ mínima (m ³ /h)	637/230
NPSH disponível (m)	7,1	Altura manométrica total (m)	95,6
NPSH requerido (m)	5	Rendimento (%)	82,7
Rotação (rpm)	1780	Massa (kg)	619
Potência consumida (kW)	200	Pressão máxima de trabalho (bar)	15,0@ 20°C

Efeitos dos Modos de Falhas – FMA

A metodologia de Análise do Tipo e Efeito de Falha, conhecida como FMEA (do inglês *Failure Mode and Effect Analysis*), é uma ferramenta que busca, em princípio, evitar, por meio da análise das falhas potenciais e

propostas de ações de melhoria, que ocorram falhas no projeto do produto ou do processo. Existem dois tipos de FMEA:

FMEA DE PRODUTO: na qual são consideradas as falhas que poderão ocorrer com o produto dentro das especificações do projeto. O objetivo desta análise é evitar falhas no produto ou no processo decorrentes do projeto. É comumente denominada também de FMEA de projeto.

FMEA DE PROCESSO: são consideradas as falhas no planejamento e execução do processo, ou seja, o objetivo desta análise é evitar falhas do processo, tendo como base as não conformidades do produto com as especificações do projeto.

SANTOS (2011) desenvolveu um trabalho no qual faz uma análise dos modos de falhas de uma bomba centrífuga aplicada na injeção de água para recuperação de poços de petróleo. Nele, o autor elabora uma FMEA e uma FTA, com o diferencial de ter utilizado um software (BLOCKSIM) para esse fim. Conseguindo com isso um aumento da confiabilidade do item mais crítico para a operação do poço.

TOLEDO e AMARAL (2000-) desenvolveram trabalho no qual apresentam uma metodologia para ser seguida ao se elaborar uma FMEA, seja para produto ou processo. Nesta proposta, a forma de preenchimento e a pontuação de cada item são elementos importantes para a qualidade do trabalho de análise de falhas mediante a utilização desta ferramenta.

VERITATIS (2000-) apresenta uma análise de causas básicas de falhas em bombas centrífugas. Em seu trabalho, o autor ressalta pontos referentes à determinação do custo associada a falha recorrente do selo mecânico. Além disto, também apresenta diversas causas básicas de falhas nestes equipamentos, dividindo-as em causas mecânicas e hidráulicas.

ABDALLAH et al (2016) elaboraram uma Análise de Modos de Falha e Efeitos – FMEA – aplicada a uma bomba centrífuga do modelo Mission, tipo W1. Através de revisão bibliográfica, os autores puderam obter um total de 77% de referências diretas sobre medidas preventivas para os modos de falha levantados em bombas centrífugas; para os modos de falha sem referências diretas de ações preventivas, contou-se com a experiência técnica adquirida com a manutenção e montagem de bombas durante passagem pela empresa

Sigmarhoh do Brasil, bem como a interpretação das informações disponíveis na literatura.

Salienta-se que o primeiro passo para entender o mecanismo de falha é a classificação do seu tipo, pois neste procedimento as informações que são obtidas sobre a aparência da superfície devem ser comparadas com os conhecimentos existentes sobre o assunto. Deste modo, é possível a identificação do modo de falha atuante. Para ilustrar, a seguir são enumerados alguns problemas recorrentes em máquinas rotativas: a) Bombas superdimensionadas hidraulicamente; b) Bombas que sofrem cavitação; c) Falhas prematuras de selos mecânicos; d) Bombas com deficiências de projeto mecânico; e) Bombas submetidas a esforços excessivos nos bocais; f) Equipamentos obsoletos; g) Turbinas com governadores mecânicos; h) Ventiladores de torres de resfriamento que utilizam acoplamentos de aço.

Metodologia

À priori foi apresentada uma sugestão de modelo a ser seguido para o desenvolvimento de uma FMEA, com base na abordagem anteriormente citada, tendo em vista os conceitos necessários para a análise do funcionamento de bombas centrífugas, abordando os principais tópicos presentes nas bibliografias clássicas do tema. A descrição dos componentes essenciais ao seu funcionamento também constitui um dos escopos deste procedimento.

Para atingir o objetivo deste trabalho, a sequência de ações foram assim realizadas: (1) listar os componentes da bomba centrífuga e indicar as funções de cada um; (2) estabelecer os modos de falha de cada componente; (3) determinar as causas para cada modo de falha; (4) determinar os efeitos para cada modo de falha; (5) determinar os efeitos para cada modo de falha; (6) indicar os meios de detecção; (7) estabelecer ações corretivas e preventivas para cada modo de falha; (8) estabelecer os índices de severidade, ocorrência e detecção; (9) preencher a FMEA. (ABDALLAH et al., 2016).

Resultados obtidos

Existem vários elementos que compõem uma bomba centrífuga, desde elementos secundários, como anel lanterna e placa de desgaste, até os componentes essenciais, como rotor e difusor. Para uma análise eficiente de falhas no equipamento faz-se necessário levar em conta todos os seus componentes:

- Eixo: Transmite potência do motor para compressão do fluido;
- Impelidor: Comprime o fluido progressivamente dentro da voluta em estágios sucessivos;
- Dispositivo de equilíbrio: mantém o equilíbrio hidrodinâmico do conjunto rotor/impelidor;
- Selos: Vedam a saída de fluido do interior da voluta;
- Mancais: Suportam o eixo da bomba, lubrificando-a;
- Carcaça: Contém o fluido bombeado;
- Motor: Responde pela força motriz de compressão da bomba;
- Comando: Controla e fornece energia para o funcionamento do motor;
- *Skid*: Suporta e fixa o conjunto motor bomba.

Em muitos casos referentes à análise de falha, haja visto que as causas imediata e básica (raiz) são determinadas, uma ação corretiva pode ser tomada. Nos casos em que o “porque” não foi determinado, uma análise mais aprofundada se faz necessária. Na análise adicional torna-se altamente recomendado contar com a vantagem da experiência do fabricante para detectar as causas básicas.

Trata-se de um contexto no qual a elaboração da FMEA é um processo indutivo, sistemático. O passo inicial para tal procedimento é conhecer o funcionamento do sistema através da coleta de dados de campo e entrevistas com especialistas, pessoas mais experientes com o equipamento/processo estudado. A planilha é preenchida através da opinião de especialistas reunidos para discussão do assunto. É realizado um debate para debater os itens que vão compor a planilha da FMEA. Após definições dos itens, analisa-se a função do processo de cada item individualmente, e se determina o modo potencial de

falha que comprova o evento desse item sobre o sistema e os efeitos potenciais de falha.

A severidade dos efeitos dessa falha sobre o sistema e a classificação é mensurada através da análise de *ranking*, que vai de 1 (nenhum) até 10 (perigoso sem aviso prévio), assim como a detecção que pode ser de 1 (quase certa) até 10 (absolutamente incerta), e a ocorrência também de 1 (remota) até 10 (muito alta).

O mecanismo potencial de falha é proveniente da avaliação técnica ou do consenso entre os especialistas. O resultado da FMEA é um formulário que contém os componentes do equipamento (ou etapas do processo/sistema); a função de cada componente; os modos de falha possíveis; os efeitos e as causas dos modos de falha; os índices de severidade, de ocorrência e de detecção; o fator de risco RPN e, por fim, as ações corretivas e preventivas a serem tomadas (JARDIM, 2016).

A descrição de uma análise minuciosa para cada um dos 55 componentes da bomba estudada tornaria este texto demasiado extenso e enfadonho. Dessa forma, como elemento de consulta, apresenta-se a figura 3, a qual, extraída de uma empresa especializada na consultoria de bombas, demonstra alguns sintomas que podem ser usados para a realização da manutenção da bomba. Contudo, também serão apresentadas as tabelas 2, 3 e 4, respectivamente, com mais detalhes sobre a análise de falhas do eixo, rotor e rolamentos encontrados na bomba estudada.

Tabela 2: Análise de falhas eixo

Função	Transmitir força para compressão do fluido através da rotação do rotor.
Motivo	O motivo para a escolha deste item para análise é porque sua falha pode provocar a parada do equipamento e possui tempo superior a 180 dias para aquisição ou reparo.
Modo de falha	Não transmitir força para o sistema de compressão, não rotaciona.
Efeito potencial da falha	O equipamento para na ocorrência do evento.
Mecanismo de dano e falhas	Quebra do equipamento. A quebra pode ser de origem: erro do projeto (dimensionamento); construção (fundição, tratamento térmico, etc.); Estrutural (fadiga, cisalhamento, fratura, etc.)

Severidade do evento por queda	A severidade de uma falha do eixo por quebra atinge mais o equipamento do que as pessoas, devido à natureza construtiva da bomba. A categoria da severidade para este tipo de falha é 3; Denominação: “Moderada”, pois a sua falha causará só danos materiais.
Frequência	A frequência de paradas do equipamento por falhas de quebras foi obtida através de consenso das opiniões dos especialistas. A categoria de frequência é 2, denominada: “remota”. Nesta categoria não é esperado que o evento ocorra durante a vida útil do equipamento.
Criticidade	Na avaliação dos especialistas, o item eixo, com seu mecanismo potencial de falha foi assim descrita: a quebra foi considerada “controlável”, isto significa que só medidas de monitoração devem ser tomadas.
Detecção	A categoria é 3, denominado “Baixo”, ou seja, não possui recurso de detecção instalados no equipamento, sendo percebido somente por sentidos humanos.
NPR	O item “Eixo” teve como resultado de NPR igual a 96, isto significa a ocorrência do evento indesejado: parada do equipamento, causado por quebra é de médio potencial de risco. A justificativa é que mesmo com a quebra do eixo com a parada da bomba o mesmo será contido dentro da voluta, isto impossibilita um acidente mais grave a pessoas.

Tabela 3: Análise de falhas rotor

Função	Pressurizar o fluido para transporte
Motivo	A sua escolha como item crítico se deu porque a falha neste equipamento pode provocar a parada do mesmo e ser de risco grave para acidente devido à alta pressão de trabalho da bomba.
Modo de falha	Não pressurizar o fluido e fornecimento insuficiente de energia.
Efeito potencial da falha	Na ocorrência do evento verifica a parada do equipamento.
Mecanismo de dano e falhas	Nos mecanismos potenciais de falha ou causa provável, foram selecionados os que possuem histórico conhecido pelos especialistas: Cavitação, corrosão-erosão e desgaste por recirculação.
Severidade do evento por queda	A análise da severidade nos modos de falhas considerados para o impelidor foram vistos sob o viés da segurança das pessoas. A categoria da severidade para este tipo de falha foi considerada de 8 a 10; Denominação: “Catastrófica”, devido à alta pressão de trabalho da bomba.
Frequência	A frequência de paradas do equipamento por falhas de cavitação, corrosão-erosão e recirculação foi obtida através de registros históricos de falhas e do consenso das opiniões dos especialistas. A categoria de frequência é de 8 a 10, denominada: “ocasional”. Nesta categoria não é esperado

	que o evento ocorra frequentemente durante a vida útil do equipamento, e sim, pelo menos uma vez.
Criticidade	Na avaliação dos especialistas, o item rotor, com seus mecanismos potenciais de falha: cavitação, corrosão-erosão e recirculação, foi considerado de alto potencial, isto significa que as causas destes eventos provocarão consequências indesejáveis para a operação e manutenção. A categoria de criticidade é “B” é denominada de “indesejável”. Isto significa que medidas mais rigorosas devem ser tomadas para mitigar e/ou eliminar o risco de ocorrência desses eventos.
Detecção	A categoria é 1, denominado: “alta”, ou seja, possui recursos de monitoração instalados no equipamento, por exemplo, indicador de pressão com alarme na tela do controle operacional de estaca.
NPR	O item “rotor” teve como resultado de NPR igual a 400, colocando-o como o item mais crítico, mais susceptível a falhar devido às condições de operação. isto significa que a ocorrência do evento indesejado: parada da bomba centrífuga, causado por cavitação, corrosão erosão ou recirculação é de médio potencial de risco.

Tabela 4: Análise de falhas rolamentos

Função	Suportar o eixo da bomba centrífuga.
Motivo	O motivo para que este item fosse escolhido como um dos críticos no sistema bomba centrífuga é que sua falha provoca a parada imediata do equipamento.
Modo de falha	Não suportar o eixo da bomba centrífuga.
Efeito potencial da falha	O equipamento para na ocorrência do evento.
Mecanismo de dano e falhas	O aumento do aquecimento do rolamento é uma causa provável de falha e pode-se considerar os seguintes eventos motivadores: Deslocamento do rotor (devido à falha no equilíbrio hidrodinâmico); Falha na lubrificação; Falha no rolamento.
Severidade do evento por queda	A categoria da severidade para este tipo de falha é 3; Denominação “Moderada”, pois a sua falha causará só danos materiais.
Frequência	A frequência de paradas do equipamento por falhas devido a alta temperatura no mancal foi obtida através de consenso das opiniões dos especialistas. A categoria de frequência é 3, denominada: “ocasional”. Nesta categoria é esperado que o evento ocorra pelo menos uma vez durante a vida útil do equipamento.
Criticidade	Na avaliação dos especialistas, o item mancal, com seus mecanismos potenciais de falha: alta temperatura, foi considerado de alto potencial, isto significa que este evento provocará consequências indesejáveis para a operação e manutenção.

Detecção	A categoria é 2, denominada: “Moderado”, ou seja, possui recursos de detecção instalados no equipamento como, por exemplo, indicador de temperatura.
NPR	O item “rolamento” teve como resultado de NPR máximo igual a 128, isto significa a ocorrência do evento indesejado: a parada do equipamento causada por temperatura elevada é de baixo potencial de risco. Esta percepção é observada segundo a avaliação dos especialistas e de registros da manutenção.

Desta feita, abaixo ilustrada, a figura 3 apresenta de forma sucinta as inferências acerca dos sintomas e das causas referentes às falhas mecânicas e hidráulicas verificadas nas bombas.

Figura 3: Sintomas e Causas de Falhas Mecânicas e Hidráulicas Bombas

Sintomas	Hidráulicas				Mecânicas					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Causas	Bomba não bombeia o líquido	Bomba com capacidade insuficiente	Bomba com pressão insuficiente	Bomba com funcionamento intermitente	Mancal trabalhando quente ou falhando irregularmente	Alta taxa de falha em selo mecânico	Gaxeta teve vida curta	Vibrações da bomba elevadas mais do que o nível normal	Bomba requer potencia acima do que a especificada	Desgaste acelerado das partes internas úmidas
Bomba não escorvada	x	x	x	x						
Válvulas de sucção ou descarga fechada	x	x	x					x		
Tubulação da sucção inadequada	x	x	x							
Insuficiente NPSH	x	x	x			x		x		x
Ar excessivo no líquido	x	x	x	x						
Velocidade (RPM) baixa	x	x	x							
Rotação incorreta		x							x	
Impelidor quebrado ou palheta torcida		x	x		x			x		
Impelidor incorreto ou diam. Incorr. Impel.		x	x							
Pressão de topo muito elevada		x								
Instrumentos de difícil ou errada leitura		x	x							
Perda de ar na linha de sucção				x						
Desalinhamento excessivo do eixo					x	x		x		
Lubrificação inadequada					x					
Lubrificante contaminado					x					
Lubrificante de resfriamento inadequado					x					
Pressão axial ou radial muito elevada do que suportada pelo mancal					x					
Lubrificação imprópria no acoplamento					x			x		
Pressão de sucção muito elevada					x	x				
Instalação incorreta do rolamento					x	x		x		
Impelidor Desbalanceado					x	x		x		
Superaquecimento dos selos						x				
Desvio excessivo do eixo					x	x		x		
Falta de vedação nos selos						x				
Instalação incorreta do selo						x				
Bomba trabalhando seca						x				
Bomba trabalhando como projetada (não)					x	x	x	x	x	
Bucha do eixo gastada						x	x			
Gaxeta bucha não ajustada corretamente							x		x	
Gaxeta não instalada corretamente							x			
Impelidor travado	x							x		
Acoplamento desbalanceado					x	x		x		
Placa-base não instalada corretamente					x	x		x		
Velocidade de operação da bomba muito próxima a frequência natural do sistema								x		
Falhas nos mancais					x	x		x		
Suportes de tubos não apropriados					x	x		x		
Bomba e ou acionador não segurado na placa-base					x	x		x		
Peso específico acima do que o especificado					x	x			x	
Viscosidade acima do que a especificada					x	x			x	
Folga interna muito apertada								x	x	
Uso de produto líquido não especificado										x
Montagem incorreta da bomba			x		x	x	x	x		x
Concentração do sólido acima do que especificada										x

Conclusão

A técnica de falhas FMEA permitiu observar, qualitativamente, quais os itens mais críticos dentre aqueles que compõem o sistema bomba centrífuga através da opinião dos especialistas no setor de produção. Pode-se observar, após a definição do detalhamento funcional, a importância da criticidade de

cada item para o sistema bomba centrífuga que, por sua vez, é fundamental para o bombeio de água e o combate a incêndio.

Os principais modos, efeitos e causas das falhas de cada componente puderam ser definidos, mediante a proposta deste estudo. Tal achado permite melhor percepção do motivo da falha que ocasionou o acontecimento de determinado problema numa bomba, sabendo-se quais modos de falha, efeito e causa estavam relacionados entre si.

Diante dos achados técnicos foi possível sugerir ações corretivas para evitar o surgimento de novas falhas. Desse modo, os envolvidos na manutenção do equipamento podem estar melhor orientados em prol da solução do problema, agilizando o processo de reparo da máquina e minimizando possíveis prejuízos de produção.

Salienta-se a importância de o formulário FMEA ser reconhecido como um documento “vivo”, ou seja, uma vez realizada análise para um produto/processo em específico, esta deve ser revisada sempre que ocorrerem alterações neste produto/processo. Além disso, mesmo que não haja alterações, a análise deve ser regularmente revisada, tencionando confrontar as falhas potenciais imaginadas pelo grupo, com as que realmente estiverem ocorrendo no cotidiano do processo e utilização do produto. Mediante tais procedimentos é possível a incorporação de falhas não previstas, bem como a reavaliação, com base em dados objetivos, das falhas já previstas pelo grupo.

O minucioso procedimento para a coleta de informações possibilitou obter dados que constataram: os itens como rolamentos, selos mecânicos, anéis, gaxetas são críticos, pois, uma vez que estão em rotação direta e em contato dinâmico com outras peças, sofrem desgaste natural devido à lubrificação deficiente ou negligenciada pelos responsáveis quanto à observância da vida útil e das condições de operação.

Cabe salientar que outro item, o mais crítico de acordo com a planilha de FMEA, diz respeito ao rotor. Segundo informações obtidas junto aos técnicos responsáveis pela manutenção de equipamentos na planta industrial, esta bomba, por ser de combate a incêndio, e por isso aspirava água diretamente de um poço. Tratava-se de líquido sem tratamento prévio, por isso uma válvula de pé e crivo na sucção era utilizada para impedir a entrada de partículas sólidas ou outros corpos estranhos.

Esta situação culminou com a degradação prematura das pás do rotor da bomba. Por esta razão, o equipamento sofreu, majoritariamente, um processo severo de corrosão pela erosão, de modo que pedaços significativos de material sólido foram arrancados de seu corpo. Por ser um equipamento interligado, a água bombeada também é utilizada para o arrefecimento de certos componentes (selos, anéis, rolamentos).

Desta feita, faz importante salientar que, além dos aspectos técnicos observados nos componentes materiais das bombas, acrescido dos pareceres dos especialistas, os aspectos empíricos da utilização do equipamento deve ser fator de consideração. Assim, a presença de particulado ocasionou a falha prematura desses equipamentos, o que foi constatado na execução de manutenção corretiva, tendo em vista que frequentemente estes itens eram substituídos por novos.

Referências

AFFONSO, L. O. A. **Equipamentos mecânicos: Análise de Falhas e Soluções de Problemas**, 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2006. 336p.

_____. **Equipamentos mecânicos: Análise de Falhas e Solução de Problemas**. Rio de Janeiro: QUALITYMARK, 2005.

CALLISTER, JR., W.D. "**Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**", 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS. Fupai/Efficientia. "**Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento**". Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005. 272p.

DOS SANTOS, Valdir Aparecido. **Manual prático da manutenção industrial**. São Paulo: Ícone, 2007.

JARDIM, João Victor Abdallah. **Análise de falhas de uma bomba centrífuga**. **ResearchGate**. São Cristóvão, p. 1-11. jul. 2016.

LTDA, Verri Veritatis Consultoria. **Análise de causas básicas - Bombas centrífugas**.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Bombas e instalações de bombeamento**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

MANUAIS SULZER. **para a bomba centrífuga de combate à incêndio SMH 202** – 450.

PFLEIDERER, C., Petermann, R., 1979, “**Máquinas de Fluxo**”, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 545p.

RASE, Howard F. **DISEÑO DE TUBERIAS PARA PLANTAS DE PROCESO**. Madrid: H.blume, 1979.

SANTOS, Júlio César dos. **Análise de confiabilidade de uma bomba centrífuga**: aplicação na injeção de água para recuperação de petróleo. 2011. 178 f. Tese (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

SIGMARHOH DO BRASIL, [200-], “**Bombas Centrífugas Sigmarhoh**”, Sergipe, 44p.

SKF “**Bearing Installation and Maintenance Guide**”. 2012.

TOLEDO, José Carlos de; AMARAL, Daniel Capaldo. **FMEA** - Análise do Tipo e Efeito de Falha. [20-]. 12 f. - Curso de Engenharia de Petróleo, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, [20-].