

## IDENTIFICAÇÃO DOS MECANISMOS DE DANOS ATUANTES EM BOMBAS CENTRIFUGAS MAGNÉTICAS ATRAVÉS DA ANÁLISE DE FALHA

Miguel Cardoso Junior<sup>1</sup>

Ubatan Almeida Miranda<sup>2</sup>

### RESUMO:

Na indústria química e petroquímica a utilização de bombas centrífugas magnéticas são praticamente predominantes para a transferência de fluidos líquidos considerados limpos e perigosos. Desta forma é de suma importância conhecer os mecanismos de danos, causa raiz das falhas e gerar planos de manutenção mais efetivos para estes equipamentos. Neste artigo são abordados, através de um estudo real, os mecanismos de danos existentes, os modos de falha e plano de manutenção criado a partir de uma análise de Análise de Modos e Efeitos de Falhas - FMEA. As ações adotadas a partir de planos preventivos buscam a redução de falhas inesperadas, redução no custo operacional e de manutenção, visto que o equipamento apresenta maior monitoramento e/ou acompanhamento durante sua vida operacional.

**Palavras-chave:** Planos de manutenção. FMEA. Mecanismo de danos. Bombas centrífugas.

### 1 INTRODUÇÃO

Bombas industriais são equipamentos usados para o transporte de fluidos na indústria química e petroquímica. Os mesmos requerem um plano de manutenção baseado em sua criticidade para a unidade produtiva onde o equipamento está instalado (MATTOS 1998; SILVA 2008). A necessidade de planos de manutenção

---

<sup>1</sup> Engenheiro Mecânico (UNIFACS, 2009) – Técnico em Eletromecânica - CREA/BA 60813. Pós-graduando em Engenharia de Confiabilidade (SENAI CIMATEC). E-mail: [mjunior2787@gmail.com](mailto:mjunior2787@gmail.com)

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia Mecânica (UNICAMP, 2002). Professor Assistente da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC. E-mail: [ubatan.miranda@fieb.org.br](mailto:ubatan.miranda@fieb.org.br).

preventivos, os quais trazem atividades / técnicas de manutenção com base no tempo e/ou na condição de componentes/equipamentos, são aplicados de forma estratégica levando em consideração o custo-benefício (KARDEC 2009).

Ainda segundo KARDEC (2009) a manutenção preventiva reduz ou evita a falha ou quebra dos equipamentos. No entanto, para equipamentos de maior importância operacional é utilizado também a manutenção preditiva, modelo este descrito por KARDEC (2009) e XENOS (2014) como sendo um monitoramento da condição e ação corretiva planejada quando necessário.

Para o equipamento em estudo aqui apresentado, atualmente utiliza-se o modelo de manutenção corretiva o qual, segundo VIANA (2002), é uma intervenção realizada após a ocorrência de falha de um item, o impossibilitando de realizar a função ao qual o mesmo foi requerido. Diante do exposto e levando em consideração que as falhas inesperadas podem trazer altos custos de manutenção, perdas de produções e outros fatores, nos remete a uma análise de falha e conhecer os mecanismos de danos atuantes nos equipamentos, as quais buscam evitar novas falhas, através da investigação multidisciplinar onde são identificadas as causas básicas e em seguida a tomada de ações mitigadoras (AFFONSO, 2002; LAFRAIA, 2001).

Para suportar os estudos de análise de falha, a engenharia de confiabilidade é suportada por ferramentas já consolidadas, tais como 05 Porquês, Ishikawa e FMEA – (*Failure Mode and Effect Analysis*), e que são aplicadas em indústrias de diversos segmentos.

A aplicabilidade de um estudo de FMEA possibilita através de um sistema lógico, a hierarquia das falhas potenciais e suas respectivas ações preventivas a serem adotadas para minimizar ou evitar a sua ocorrência (KARDEC 2009).

Como objeto de estudo, a aplicabilidade de planos de manutenção oriundo de um estudo de FMEA, busca otimizar o recurso de manutenção e garantir o aumento da confiabilidade e disponibilidade dos ativos (KARDEC 2009; SIQUEIRA 2005).

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Atualmente, em uma indústria do setor petroquímico, as bombas centrífugas magnéticas utilizadas para o transporte de ácido acrílico estão apresentando falhas

repentinas acarretando um alto custo de manutenção e indisponibilidade operacional. O entendimento de fatores tais como a causa raiz, mecanismo de danos existentes, histórico de falhas, cronologia da falha são de suma importância para uma análise de confiabilidade do equipamento e/ou sistema. As ferramentas de confiabilidade representam meios já consolidados em indústrias de diversos segmentos para proporcionar ganhos com redução de custos diretos e indiretos, planos de manutenção mais eficientes quanto à realidade de cada componente e/ou máquina. Buscando revisar a atual estratégia de manutenção (Manutenção Corretiva) aplicada a estas bombas, este artigo apresenta resultados oriundo de uma análise de campo utilizando a ferramenta do FMEA trazendo assim um plano de manutenção mais otimizado, sendo o mesmo customizado de acordo com a vida operacional do equipamento, passando assim a existir uma estratégia de Manutenção Preventiva e Preditiva.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

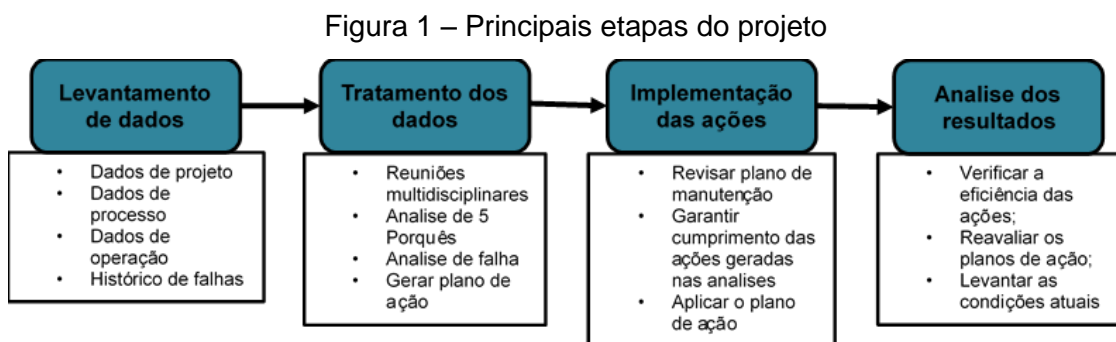
Propor um plano de manutenção preventivo e preditivo para as bombas magnéticas de transferência de ácido acrílico baseado em um estudo de confiabilidade com o uso da técnica de FMEA, análise do histórico de falhas e análise do sistema operacional.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Aumentar a disponibilidade dos equipamentos;
- Reduzir o número de falhas
- Reduzir o custo de manutenção dos equipamentos;
- Identificar as técnicas de manutenção e suas frequências adequadas para garantir o funcionamento do equipamento dentro dos limites estabelecidos em projeto;

### 3 METODOLOGIA

O projeto está dividido em quatro principais etapas, conforme apresentado pela Figura 1.



Fonte: próprio autor (2017)

#### 3.1 Levantamento de dados

##### Dados de projeto do equipamento

Equipamento / Função: Bomba centrífuga de acoplamento magnético

Modelo: MCN80-50-200/A2dd

Fluído de operação: Ácido acrílico

Temperatura de operação: 40 °C

Vazão mínima: 10m<sup>3</sup>/h

##### Descrição do sistema

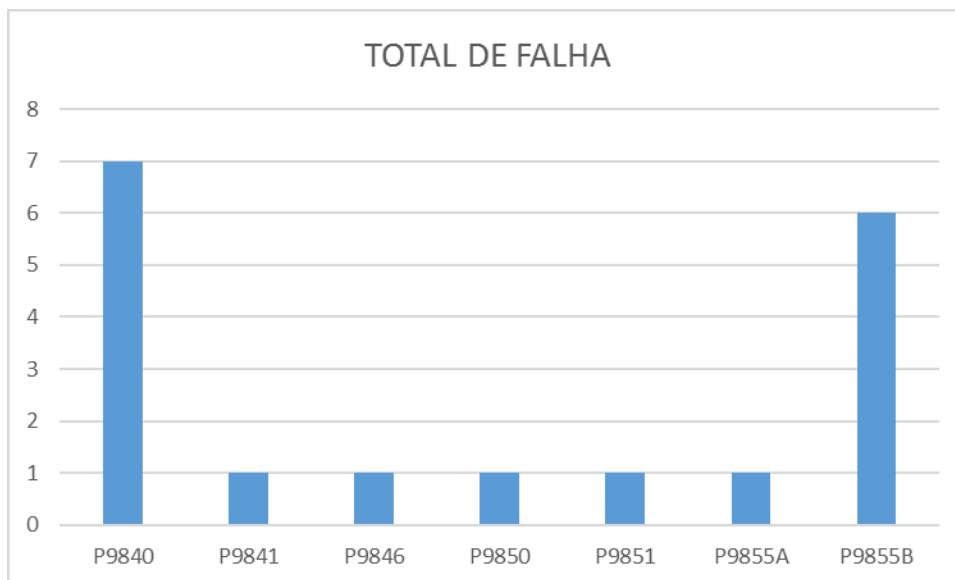
Estas bombas são responsáveis pela recirculação e/ou alimentação de produto nos tanques. As mesmas sempre operam em condições de recirculação com vazão e temperatura em torno respectivamente de 40m<sup>3</sup>/h e 23°C, conforme parâmetros levantados em campo. Uma vez estes equipamentos durante o regime de alimentação, os mesmos permanecem recirculando para tanque e sua vazão pode chegar até 70m<sup>3</sup>/h.

## Histórico de ocorrência

Foi levantado o histórico de um ano de operação dos equipamentos, visto que a partida da unidade ocorreu em fevereiro de 2015. A bomba de TAG P9840, apresentou seis falhas características de polimerização. Outras características apresentadas quanto a causa raiz das falhas foram o baixo fluxo e a inconsistência de algumas peças conforme projeto do equipamento.

Conforme evidenciado no Gráfico 01, estão presentes as principais falhas ocorridas nos sete TAGs (bombas) durante o período de fevereiro/2015 até fevereiro/2016. É importante ressaltar que, seis das sete falhas ocorridas no TAG P9840 foram em fevereiro/2015, apresentando alta frequência de quebra em um período curto de operação e sendo sempre durante processo de recirculação de produto para o tanque. O total de falhas durante a fase de coleta de dados está descrito no gráfico a seguir.

Gráfico 1 – Total de falhas



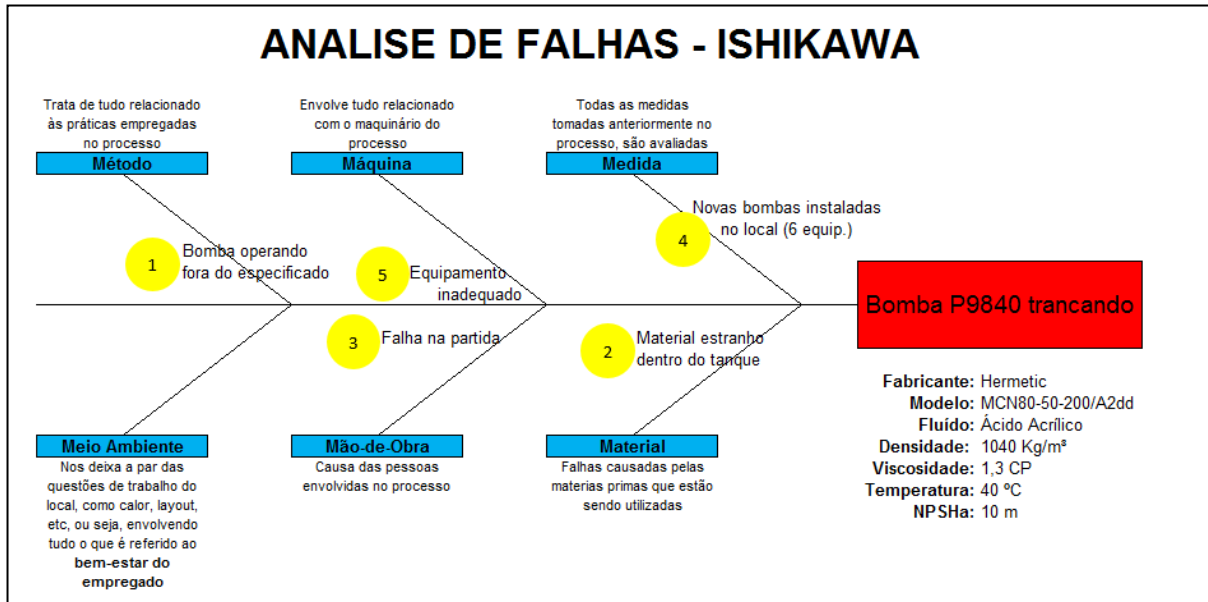
Fonte: próprio autor (2016)

## 3.2 Tratamento dos dados

Através de ferramentas tais como Ishikawa e 5 Porquês foram realizados em conjunto com o time multidisciplinar (operação, processo, manutenção, engenharia e

segurança) as análises de falha, buscando identificação da causa raiz das mesmas, conforme esta evidenciado na Figura 2 a seguir.

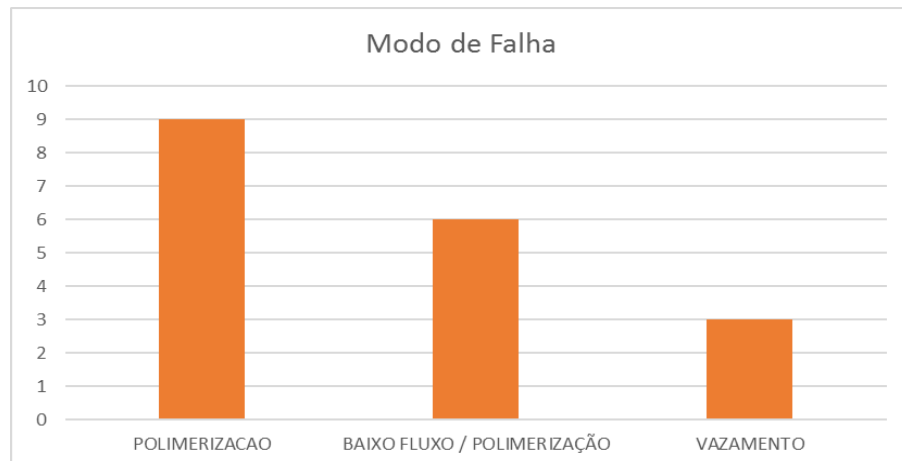
Figura 2 – Análise de Ishikawa



Fonte: próprio autor (2016)

Após as análises realizadas, foi possível evidenciar como estão distribuídos os mecanismos de danos predominantes em cada falha. Fato este que possibilita a implantação de ações mantenedoras e/ou operacionais mais assertivas que minimizem a taxa de falhas atualmente existente, conforme mostra o Gráfico 2.

Gráfico 2 – Modo de falha

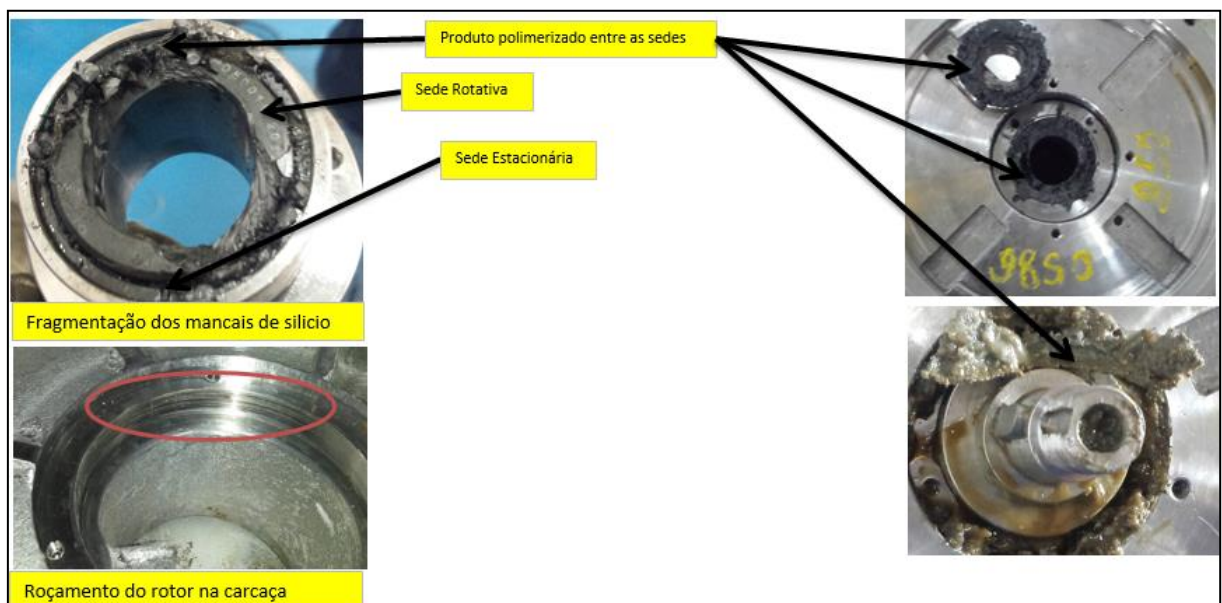


Fonte: próprio autor (2016)

### 3.2.1 Análise do modo de falha:

- Polimerização: Ocorre o processo de polimerização quando o Ácido Acrílico atinge temperatura a partir de 35°C. Este modo de falha é evidenciado nos mancais de silício, os quais ficam “trancados” não permitindo assim funcionamento do equipamento e conseqüentemente quebra de peças no seu interior, como mostra a Figura 3. Decorrente dessa informação, pode-se levantar as seguintes hipóteses:
  - ✓ Existe recirculação insuficiente de produto no interior do equipamento, em função das folgas de projeto do equipamento;
  - ✓ Temperatura na região do mancal alta em função do design da bomba;
  - ✓ Falha na lubrificação do mancal;

Figura 3 – Registro fotográfico de falhas nas bombas



Fonte: próprio autor (2016)

- Baixo Fluxo / Polimerização: Algumas falhas se apresentaram além da polimerização existente na região dos mancais, características de roçamento do rotor no anel de desgaste da voluta e/ou desgaste também no rotor magnético, sintomas estes que caracterizam ocorrência de baixo fluxo na sucção da bomba. A bomba quando opera com baixo fluxo, sofre um empuxo

axial maior que o normal, podendo levar a quebra de componentes internos, principalmente as buchas de silício, por serem peças em material frágil.

- Vazamento: Equipamento apresentou vazamento pela junta da voluta em função de montagem inadequada.

No primeiro semestre de 2016, a empresa representante da Hermetic esteve na unidade produtiva para realização de estudo das falhas em conjunto com o corpo técnico da manutenção. Foi realizada a desmontagem de uma das bombas que haviam falhado, e realizados reparos conforme recomendação do fabricante. Como recomendação, foi solicitado pelo fabricante a abertura e padronização de todas bombas, realizando assim as seguintes modificações:

- Aumentar o furo de recirculação atrás do rotor de 8mm para 10mm
- Instalar mancais com faces paralelas
- Fechar canal de recirculação, localizado na parte inferior do equipamento
- Instalar novo modelo de copo fabricado pela Hermetic – Alemanha

### **3.3 Implementação das ações**

Com a conclusão das análises de falhas e conhecendo assim os mecanismos predominantes, foi desenvolvido em conjunto com o time multidisciplinar o estudo de FMEA, conforme mostra a Figura 4, sendo suas ações cadastradas no sistema de gestão da manutenção e implementados a partir de dezembro 2016.

A Figura 4 mostra parte do estudo de FMEA realizado, o mesmo abrange a técnica de manutenção a ser aplicada, a frequência, a criticidade de cada causa possível associada ao mecanismo, dentre outras informações.



Figura 4 – Exemplo FMEA aplicado no estudo

**F M E A Bomba Magnetica**

DATA 16/11/2016

REVISÃO 01

COORDENADOR Miguel Cardoso

EQUIPE Manutenção

NOME DO COMPONENTE	FUNÇÃO	MODO DE FALHA	EFEITO	CAUSA	CRITICIDADE	FREQÜÊNCIA (ocorrência)	DIFÍCILIDADE (detecção)	TOTAL	TIPO DE AÇÃO	AÇÃO	Máquina Parada?	DIÁRIA	SEMANAL	QUINZENAL	MENSAL	TRIMESTRAL	SEMESTRAL	ANUAL			
ACOPLAMENTO MOTOR/BOMBA	TRANSMITIR MOVIMENTO DO MOTOR PARA A BOMBA	Quebra	Perda do movimento do bomba	Desalinhamento	1	1	1	1	INSPEÇÃO INSTRUMENTADA	Medir vibração	Não				X						
				Falta de lubrificação	1	1	1	1	LUBRIFICAÇÃO	Lubrificar conforme procedimento	Sim					X					
				Vibração	3	3	3	27	INSPEÇÃO INSTRUMENTADA	Medir vibração	Não					X					
				Folga do eixo	3	1	3	9	INSPEÇÃO INSTRUMENTADA	Medir vibração	Não					X					
				Quebra do elemento elástico	5	1	1	5	INSPEÇÃO	Inspeção visual do acoplamento	Sim					X					
ROTOR	TRANSFERENCIA DO FLUIDO	Quebra, Roçamento, Trancamento	Perda de transferencia do fluido	Desalinhamento	3	1	3	9	INSPEÇÃO INSTRUMENTADA	Medir vibração	Não				X						
				Vibração	3	3	3	27	INSPEÇÃO INSTRUMENTADA	Medir vibração	Não				X						
				Desbalanceamento	3	1	3	9	INSPEÇÃO	Medir vibração	Não				X						
CAIXA DO MANCAL DE ROLAMENTO	MANTER O EIXO ALINHADO ENTRE OS PONTOS DE APOIO.	Quebra	Parada do equipamento	Ruído	1	1	1	1	INSPEÇÃO INSTRUMENTADA	Medir vibração	Não				X						
				Rolamento danificado					1	1	1	1	INSPEÇÃO INSTRUMENTADA	Medir vibração	Não				X		
				Folga na caixa					1	1	3	3	INSPEÇÃO INSTRUMENTADA	Medir vibração	Não				X		
				Folga na fixação da base					3	1	3	9	REAPERTO	Medir vibração	Não				X		
VISOR DE NÍVEL DE ÓLEO	VISUALIZAR E MANTER O NÍVEL DE ÓLEO	Quebra	Vibração Falta de óleo/vazamento/quebra do equipamento	Falha de Lubrificação	3	1	3	9	LUBRIFICAÇÃO	Lubrificar conforme procedimento	Não				X						
				Choque mecânico	1	1	1	1	INSPEÇÃO	Inspeção visual do visor	Não				X						
RETENTOR	EVITAR VAZAMENTO DO OLEO	Desgaste, Ressecamento	Vazamento	Folga na caixa	1	1	1	1	INSPEÇÃO	Inspeção visual do retentor (vazamento)	Não				X						
				Desgaste do eixo	1	1	1	1	INSPEÇÃO	Inspeção visual do retentor (vazamento)	Não				X						

Fonte: próprio autor (2016)

### 3.4 Análise dos resultados

Após implementação das ações oriundas no estudo de FMEA, as bombas estão operando há quatro meses sem apresentar nenhuma falha inesperada, sem custo de manutenção corretiva, sendo tratada apenas com técnicas de manutenção preventiva e preditiva com custo total neste período de aproximadamente R\$86.950,00. A implementação da manutenção preventiva através de rondas operacionais busca detectar parâmetros tais como possível ruído, vazamento e/ou operação fora do regime de projeto, além da manutenção preditiva de lubrificação e vibração com empresa contratada. Na Tabela 1, estão apresentados uma análise comparativa dos custos com manutenção (serviço e material) antes das análises e após a implementação das ações.

Tabela 1 – Custos de manutenção antes da análise e posterior aplicação das ações

TAG	Custo de manutenção antes do FMEA	Custo de manutenção após FMEA
P9840	R\$ 157.080,00	R\$ 23.770,00
P9841	R\$ 22.440,00	R\$ 8.000,00
P9846	R\$ 22.440,00	R\$ 8.000,00
P9850	R\$ 22.440,00	R\$ 8.000,00
P9851	R\$ 22.440,00	R\$ 15.300,00
P9855A	R\$ 22.440,00	R\$ 8.000,00
P9855B	R\$ 134.640,00	R\$ 15.880,00
<b>Total</b>	<b>R\$ 403.920,00</b>	<b>R\$ 86.950,00</b>

Fonte: próprio autor (2017)

Os planos de manutenção gerados após estudo, foram basicamente a implementação de análise preditiva de vibração e lubrificação mensal, realizado por empresa especializada e inspeção visual operacional quinzenal realizado pelo time de manutenção, os mesmos foram cadastrados no sistema de gerenciamento da manutenção através de rotas.

As principais ações do plano de manutenção revisado foram:

- ✓ Medição de vibração mensal através de rotas;
- ✓ Inspeção sensitiva quinzenal do equipamento;

- ✓ Lubrificação mensal;
- ✓ Análise de óleo trimestral (este ainda não implementado);

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho propôs uma revisão na estratégia de manutenção para as bombas centrífugas magnéticas utilizadas para o transporte de ácido acrílico, com base em ferramentas de confiabilidade já conhecidas e implementadas na indústria química e/ou petroquímica. Outro fator importante é uma compreensão dos mecanismos de danos atuantes nos equipamentos e os principais cuidados a serem observados durante a fase operacional de um equipamento e ao decorrer de um estudo de análise de falha. Como sequência deste trabalho, recomenda-se a continuidade do monitoramento dos equipamentos com a aplicação dos planos de manutenção cadastrados, aumentando assim o banco de dados quanto ao histórico do equipamento, bem como um estudo da estratégia atual de manutenção implementada após dois anos em funcionamento para uma análise quanto ao custo benefício em manter as técnicas e frequências hoje estabelecidas.

## REFERÊNCIAS

- AFFONSO, Luis Otávio Amaral. **Equipamentos mecânicos: análise de falhas e solução de problemas** – Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2002.
- KARDEC, Alan. **Manutenção: função estratégica** – 3. Ed. Ver. E ampli. – Rio de Janeiro: Qualitymark – Petrobras, 2009.
- LAFRAIA, J. R. B. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- MATTOS, Edson Ezequiel de. **Bombas industriais**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.
- SILVA, Jairo Torres da. **Bombas centrifugas passo a passo: manual prático de manutenção e operação**. 4. ed. Salvador Turbotech, 2008.
- SIQUEIRA, Iony Patriota de. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implementação** – Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005
- VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM, planejamento e controle de manutenção** – Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2002.
- XENOS, Harilaus Georgius D`Philippos. **Gerenciando a manutenção produtiva** – 2. Ed. – Nova Lima: editora FALCONI, 2014.