

ANÁLISE DE FALHAS DE UM EQUIPAMENTO INDUSTRIAL PELO EMPREGO DAS FERRAMENTAS DA QUALIDADE COM FOCO NOS MÉTODOS MASP E PDCA*

Lucas Acquaviva Carrano de Godois¹
Leonardo Carvalho da Cruz¹
Pedro Alves dos Santos¹
João Paulo Reis Lima¹
Juliana Farah²
Willy Ank de Moraes³

Resumo

Este trabalho avaliou o uso das ferramentas de controle de qualidade e métodos de análise de falhas na investigação e determinação das falhas em um equipamento industrial. Duas metodologias selecionadas, o ciclo PDCA e o MASP, foram empregadas juntamente com outras ferramentas da qualidade, na análise de uma bomba utilizada para produção de ácido sulfúrico (H₂SO₄) em uma planta de produtos químicos, localizada no polo industrial de Cubatão (SP). Neste equipamento, a ocorrência de constantes anomalias vinha interferido diretamente na produção e no rendimento econômico do processo, causando eventos indesejáveis de manutenção corretiva. O presente trabalho apontou que as metodologias tipicamente empregadas para o controle de qualidade, permitem acessar as causas raízes das falhas, a partir das quais foram propostas soluções factíveis para garantir e incrementar a confiabilidade do processo fabril.

Palavras-chave: Análise de falhas; confiabilidade; causa raiz; manutenção industrial.

ANALYSIS OF FAILURES OF AN INDUSTRIAL EQUIPMENT BY THE USE OF QUALITY TOOLS WITH FOCUS ON QC-STORY AND PDCA METHODS

Abstract

This work evaluated the use of control quality tools and failure analysis methods in the investigation and determination of failures in an industrial equipment. Two selected methodologies, the PDCA cycle and the QC-Story, were used together with other quality tools in the analysis of a pump, used to produce sulfuric acid in a chemical plant, located in the industrial pole of Cubatão (SP-Brazil). In this equipment, the occurrence of constant anomalies was directly interfered in the production and economic efficiency of the process, causing undesirable events of corrective maintenance. The present work pointed out that methodologies, typically used for quality control, allow access to the root causes of failures, from which feasible solutions were proposed to guarantee and increase the reliability of the manufacturing process.

Keywords: Failure analysis; reliability; root cause; industrial maintenance.

¹ Graduandos em Engenharia Mecânica pela UNISANTA, Santos, São Paulo, Brasil. E-mail: lucas_godois@hotmail.com.

² Graduada em Engenharia Mecânica, Gerente de Engenharia de Tecnologia Competitividade Sustentável, MANSERV. Santos, SP, Brasil. E-mail: juliana.farah@manserv.com.br.

³ Doutorando, Mestre, Engenheiro e Técnico em Metalurgia e Materiais, Diretor Executivo da Willy Ank Soluções Metal-Mecânicas, Professor Mestre 1 na UNAERP-Guarujá e Professor Adjunto na UNISANTA, Santos, SP, Brasil. E-mail: willyank@unisanta.br.

1 INTRODUÇÃO

A técnica da análise de falhas vem sendo bastante empregada no meio industrial. Este método analítico vai além da determinação dos fatores responsáveis pelo colapso de algum componente mecânico, pois, de acordo com o livro de Wulpi [1], uma falha em um componente compromete diretamente a capacidade do equipamento onde este componente estava instalado, impedindo este de satisfazer a sua funcionalidade projetada. Desta forma, uma análise de falhas também é empregada para aumentar a confiabilidade de equipamentos, instalações e processos.

Cerca de 80% das falhas que ocorrem nas indústrias podem ser devidamente analisadas e diagnosticadas [2], sendo estas falhas segmentadas em dois grupos extremos. Em grupo de falhas, têm-se as ocorrências caracterizadas pela remoção de material e pelo outro lado, eventos nos quais houve a solicitação dos componentes envolvidos acima de sua resistência intrínseca. As causas destes eventos de falha se dividem em sobrecarga, desgaste, fadiga e corrosão, tipicamente.

Ao decorrer do desenvolvimento dos processos de produção industrial, paralelamente foram aprimoradas diversas metodologias sistemáticas visando a redução de falhas processuais e o aperfeiçoamento da eficiência produtiva. Com o passar do tempo, as ferramentas foram naturalmente aprimoradas e empregadas crescentemente para aumentar a qualidade da manutenção e confiabilidade dos ativos empregados na produção, especialmente em operações de Análise de Falhas.

Uma Análise de Falhas abrange inúmeras áreas, com o objetivo de identificar e solucionar algum problema ou defeito gerado decorrente de algum processo ou ação incorreta. Esse processo, aplicado na manutenção de componentes industriais, melhora a eficiência da funcionalidade de tais componentes. Foi neste contexto que foram desenvolvidos os conceitos de Manutenção Baseada na Confiabilidade (*RCM, Reliability Centred Maintenance*), Análise da Causa Raiz (*RCA, Root Cause Analysis*) e Análise de Modo e Efeito de Falha (*FMEA, Failure Mode and Effect Analysis*).

ARCM tem como objetivo assegurar a continuidade do funcionamento do sistema onde é aplicado esse método [3]. Já a *RCA* tem como objetivo achar a origem de algum problema e segundo Schmitt [4] esta metodologia baseia-se na investigação das evidências encontradas no evento da falha e no histórico das informações levantadas ao longo das intervenções realizadas no equipamento. Rooney e VandenHeuvel [5] salientam que, além de identificar como ocorreu, a *RCA* visa determinar o porquê do acontecimento. A *FMEA* é um método que possibilita prever inúmeros modos de falhas que poderiam ocorrer, além de identificar suas prováveis causas e efeitos no funcionamento. É uma técnica de prevenção que visa eliminar erros de um sistema, projeto e serviço, antes mesmo que este chegue ao consumidor [6].

Para alcançar seus objetivos, as metodologias citadas empregam diversas técnicas experimentais e de qualidade. As primeiras dependem de recursos laboratoriais e profissionais, que devem ser empregados adequadamente e assim gerar o resultado

necessário à análise [2]. Porém, as avaliações laboratoriais necessitam ser prescritas corretamente, com o risco de gerar impactos negativos na qualidade, no custo e no prazo das análises. No caso das avaliações feitas através das ferramentas da qualidade, estas também necessitam ser devidamente aplicadas, mas incorrem em menor risco de custo e de prazo, além de ser mais universalmente aplicáveis. Os dois conjuntos de análises são geralmente complementares e sua dosagem adequada pode levar a um sucesso maior na Análise da Falha, tanto em termos de custo e de tempo quanto na sua acuidade.

Este cenário demonstra que as ferramentas de qualidade possuem um grande potencial de uso nas análises de falha devido à sua relação custo/benefício, o que, de fato, foi pesquisado e observado pelos presentes autores [7]. Destas citadas ferramentas, algumas das mais tipicamente empregadas em análises de falhas são:

- O “5 Why” (porquês) consiste simplesmente em perguntar algumas vezes qual a causa do problema. Em teoria, até a 5ª resposta, descobre-se a causa básica da falha. Importante que, para esta metodologia ter a credibilidade necessária, a organização na qual está sendo empregada deve ter uma cultura da confiabilidade, propagada amplamente, de forma completa e ilimitada e ser formada por pessoas dinâmicas e questionadoras [8].
- As sete ferramentas da qualidade, foram desenvolvidas por Kaoru Ishikawa [9] para que o controle pudesse ser exercido por qualquer operador, sendo elas: gráfico de Pareto; diagrama de causa e efeito; histograma; folha de verificação; gráfico de dispersão; fluxograma; carta de controle.
- A estratificação compõe-se no desdobramento ou separação dos dados coletados em grupos e subgrupos, visando uma análise mais precisa, quantas vezes forem necessárias [10] para se chegar à raiz do problema.
- No diagrama de árvore é um processo de análise e solução de problemas que emprega um quadro no qual são dispostos os problemas e suas causas em vários níveis, de forma a esquematizar completamente o evento. Desta forma, tal ferramenta poderia substituir várias outras, obviamente em situações definidas, na grande maioria dos problemas que ocorrem nos ambientes industriais e administrativos [11].
- A metodologia MASP é aplicada na solução de problemas de forma padronizada, sendo necessário utilizar procedimentos e regras para obter o êxito necessário. A sequência do MASP consiste em oito passos estruturados para analisar, planejar, executar, verificar, padronizar e documentar a solução de um problema [12].
- O “5 W e 2 H” é um método surgido com o intuito de simplificar a identificação das variáveis, causas e objetivos de um processo [12]. Essa técnica prática permite detectar dados e rotinas mais importantes em um projeto ou produção, podendo ser feito a qualquer momento.
- O Brainstorming começa com uma reunião de pessoas num mesmo ambiente e dispostas em círculo, que expressam suas ideias a respeito de um assunto predeterminado, uma de cada vez. A condição fundamental para o seu funcionamento é que quanto mais ideias, melhor, e que nenhuma delas deve ser inicialmente descartada, negada e muito menos autocensurada. Com isso é incentivada a proposição de novas ideias, que podem surgir inspiradas nas já apresentadas. Após duas rodadas sem que ninguém apresente nada de novo é encerrado o *brainstorming*.

- O ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) é recomendado [13] a ser aplicado seguidamente afim de que aperfeiçoe a aplicação deste método de gerenciar problemas. O mesmo consiste na definição e reconhecimento claro do problema, seguido de uma análise de suas características específicas com uma visão ampla através de vários pontos de vista, subdividindo o problema em questões menores que facilite sua resolução. Neste caso, são descobertas as causas fundamentais de cada um e concebido um plano que bloqueie essas causas fundamentais. Quanto melhor for o planejamento, melhores resultados serão alcançados quando executar a etapa de checagem e seguira para a etapa de padronização.

Considerando as características particulares das ferramentas de qualidade e o seu potencial de aplicação em variadas situações durante uma Análise de Falhas, este trabalho avaliou a aplicação de algumas destas ferramentas na Análise de Falhas de um equipamento industrial. Com isso, objetivou-se verificar as características e particularidades na execução e a relevância de tais ferramentas na determinação das causas de falhas de um equipamento industrial. Para tal, foram selecionadas duas metodologias conhecidas e sumariamente descritas anteriormente: o ciclo PDCA e a metodologia MASP, esta última intimamente vinculada ao ciclo PDCA, conforme apresentado na Figura 1. Além destas duas metodologias base, foram empregadas simultaneamente outras ferramentas da qualidade, descritas ao longo do texto.

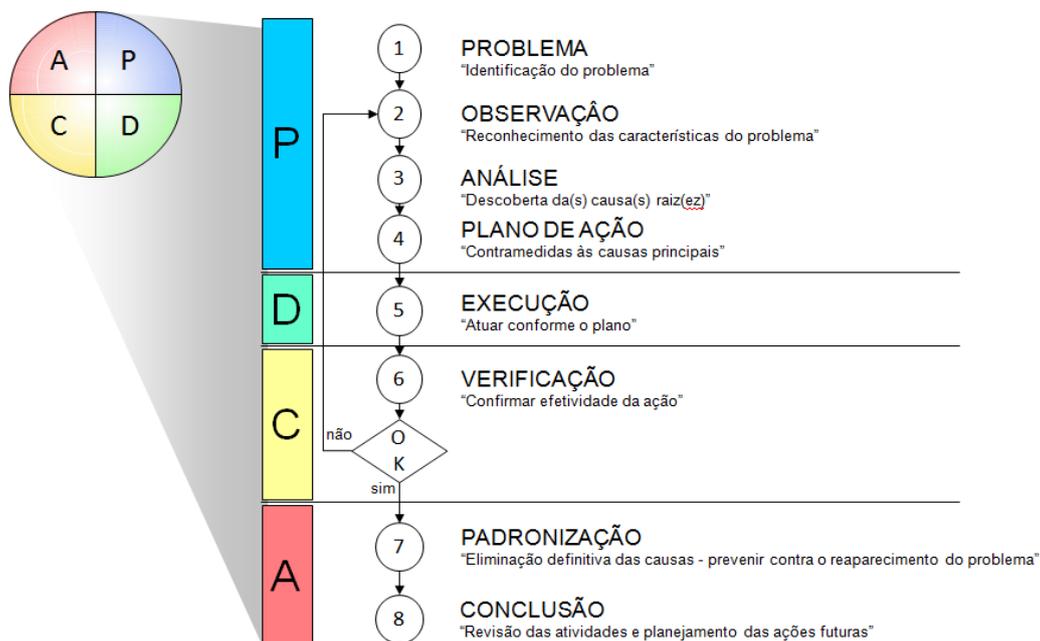


Figura 1. Exemplo da metodologia MASP e seu vínculo ao ciclo PDCA [13].

2 DESENVOLVIMENTO

O equipamento analisado foi uma bomba centrífuga horizontal, designada como P-7401, empregada na produção de ácido sulfúrico, que é um produto base para fabricação de fertilizantes de uma grande empresa do polo industrial de Cubatão

(SP). Este equipamento possui o aspecto de uso em campo conforme apresentado na Figura 2.

Como parâmetro base, empregou-se o *MTBF (Mean Time Between Failures)*, que é um indicador de confiabilidade. Este parâmetro representa o tempo médio de ocorrência de uma falha até a próxima, empregado no planejamento da manutenção do equipamento, portanto bastante relevante ao contexto deste trabalho. O trabalho empregou como base o ciclo PDCA [12] e o MASP [13], com o uso das seguintes ferramentas da qualidade, empregadas para a organização e coleta de dados: 5 *why* (porquês) [8], análise da causa raiz [4], gráfico de Pareto [12] e *brainstorming* [13].



Figura 2. Aspecto do uso em campo do equipamento analisado neste trabalho (bomba “P-7401”).

Os dados verificados foram fornecidos pela empresa, na forma de ordens e notas de manutenção do equipamento, além de terem sido empregados os manuais do fabricante e a lista de especificação de provisões do mesmo. O histórico das informações empregadas para a solução das anomalias começa em 1999, quando houve a implantação do sistema SAP na empresa. As equipes de manutenção corretiva e preditiva foram envolvidas e entrevistadas para a aplicação da metodologia.

As prováveis causas de falha foram avaliadas através de um teste de consequência, no qual a autenticidade de cada uma delas foi verificada através das informações fornecidas pela empresa. Em seguida gerou-se uma classificação do possível ocasionador das anomalias. O evento originador mais provável da falha foi definido por meio da aplicação da metodologia de análise dos 5 *Why*.

2.1 Resultados e Discussão

Através dos dados obtidos e utilizando o Gráfico de Pareto, apresentado na Figura 3, foram quantificadas as anomalias associadas aos maiores índices de ocorrências. Através desta análise, determinou-se que 70% das anomalias acontecem por falha e desalinhamento do rolamento. De posse destes indicadores de anomalia, os dados foram filtrados e empregados nas análises MASP e PDCA, visando a determinação das causas mais frequentes das falhas.

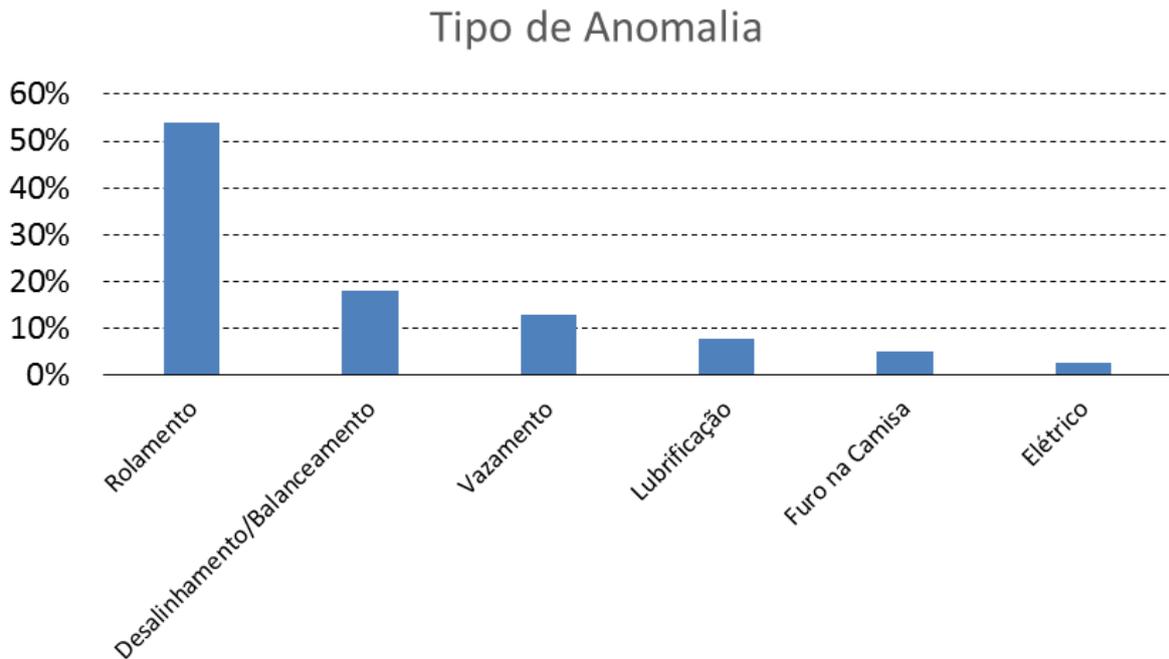


Figura 3. Quantificação das anomalias da bomba “P-7401” através de um gráfico de Pareto.

Durante a análise MASP e PDCA, observou-se que os indicadores de desempenho do equipamento poderiam ser analisados em dois períodos distintos, conforme apresentados na Figura 4.

MTBF desde 1999		MTBF desde 2015	
Total de Dias	6460	Total de Dias	942
Número de Anomalias	21	Número de Anomalias	7
MTBF	307,6 (dias)	MTBF	134,6 (dias)

Figura 4. MTBF desde 2015 da bomba “P-7401”.

Os dois cálculos do *MTBF* desse equipamento revelaram que nos últimos dois anos (desde 2015) a bomba apresentou um aumento de número de falhas, ou diminuição no *MTBF*. Isso ocorreu devido às anomalias relacionadas ao rolamento. Com tais

resultados, realizou-se uma reunião com integrantes das equipes envolvidas com o intuito de identificar os prováveis causadores da recorrência desta falha.

A metodologia aplicada nessa etapa do processo foi o *Brainstorming* (tempestade de ideias), durante a qual os profissionais ligados ao processo de produção e manutenção do equipamento colocaram em pauta os possíveis causadores de anomalias. A Figura 5 representa essas ideias aplicadas em um gráfico de Ishikawa com divisão dos 6 M's.

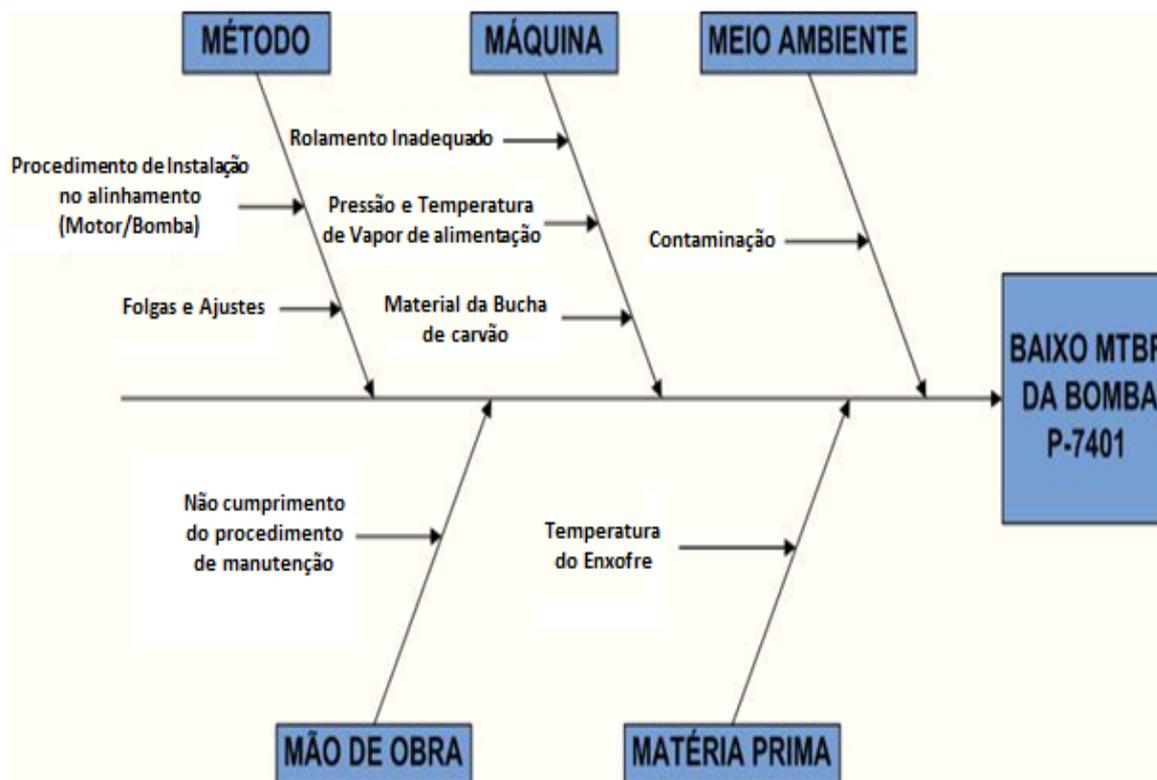


Figura 5. Diagrama Ishikawa aplicado à bomba "P-7401".

Para analisar as causas que apresentam o maior indicador foi utilizado o método dos 5 *Why*. Através dessa técnica, o causador da falha precoce do rolamento foi apontado como sendo o mal alinhamento gerado na sua instalação, conforme ilustrado na Figura 6. Este desalinhamento foi ocasionado, por sua vez, devido à falta de tolerâncias requeridas, para o processo, no suporte deste componente.

Após a aplicação das ferramentas da qualidade, notificou-se que para o aumento da confiabilidade do equipamento seriam necessárias duas melhorias. A primeira seria providenciar um novo suporte, que permita o seu alinhamento em campo, necessário para evitar avarias no equipamento como um todo.

Outra melhoria a ser feita, está associada à saída de descarga, que emprega o mesmo tubo de saída para todas as bombas. Como as demais bombas presentes apresentam uma diferença em relação aos furos que as fixam o tubo de descarga ao tubo de saída, tornava-se necessário empregar esforços para "alinhar" em

campotaistubos. Estes esforços que também causam avarias no equipamento como um todo.

Estas condições foram planejadas a serem executadas na parada de manutenção do equipamento. As alterações estão ilustradas na Figura 7, que mostra a bomba “P-7401” parada para manutenção. A Figura 8.a mostra o tubo de saída, a Figura 8.b mostra o suporte e o eixo da bomba e a Figura 9, apresenta a saída de descarga ajustadas na manutenção.

POR QUÊS							
ANEXO ANALISE DE FALHA: Procedimento de Instalação e Alinhamento (Motor/Bomba)							
	1º Round	2º Round	3º Round	4º Round	5º Round	Ação de Melhoria	
A	por quê? O procedimento não é efetivo?	por quê? A bomba apresenta alto índice de vibração após sua instalação?	por quê? O alinhamento entre bomba e motor não é efetivo?	por quê? O ambiente de instalação é inadequado?	por quê? O suporte so motor da bomba restringe o alinhamento?	Fabricar um suporte novo.	
	porque a bomba apresenta alto índice de vibração após sua instalação.	porque o alinhamento entre bomba e motor não é efetivo.	porque o ambiente de instalação é inadequado.	porque o suporte so motor da bomba restringe o alinhamento.	porque o suporte apresenta descontinuidades em seu corpo.		
B	por quê? O suporte apresenta descontinuidades em seu corpo?						Fabricar um suporte novo.
	porque o suporte foi mal fabricado.						

Figura 6. Resultados da avaliação da bomba “P-7401” através do emprego da metodologia 5 Why (porquês).



Figura 7. Aspecto do equipamento (bomba “P-7401”) durante os trabalhos de manutenção.



(a)

(b)

Figura 8.(a) Tubo de saída e (b) suporte e o eixo da bomba “P-7401”.



Figura 9.Saída da descarga da bomba da bomba “P-7401”.

3 CONCLUSÕES

Com a aplicação da metodologia MASP, e as ferramentas de qualidade, foi possível analisar, discutir e realizar melhorias na confiabilidade de componentes e equipamentos. A partir do indicador de desempenho *MTBF* (*Mean Time Between Failure*), analisou-se o desempenho de uma bomba, cuja vida útil foi limitada, basicamente, pela falha precoce de um rolamento.

A partir dos dados coletados do equipamento, coordenou-se uma análise com a equipe envolvida com o uso e manutenção do equipamento, para apontar as possíveis causas de falha do componente que foi determinado como principal limitador da vida útil do equipamento. Como base nesta avaliação, determinou-se a causa raiz desta falha, sobre a qual a equipe implementou um plano de ação, executado durante a manutenção do equipamento.

Assim, com a finalização deste trabalho, será possível atingir uma melhora significativa na eficiência da bomba, com o conseqüente aumento da confiabilidade do processo vinculado e do seu *MTBF*. Para finalizar o ciclo PDCA, deve-se verificar (*Check*) o aumento no *MTBF* do do equipamento, o que só será realizado posteriormente ao término deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio e o compartilhamento de informações viabilizado pelo Engenheiro André Luís de Campos Covello, da Vale Fertilizantes unidade de Cubatão.

REFERÊNCIAS

- [1] WULPI, Donald J.. **Understanding How Components Fail**. 3 ed. Ohio: ASM International, 2013.
- [2] GODEFROID, L. B.; CÂNDIDO, L. C.; DE MORAIS, W. A. **Análise de Falhas**(curso). São Paulo: ABM, 2008.
- [3] MOUBRAY, J. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. Aladon Ltd. Lutterworth, 2000.
- [4] SCHMITT, Jose; LIMA, Carlos. Método de Análise de Falhas utilizando a Integração das Ferramentas DMAIC, RCA, FTA e FMEA. Piracicaba (SP): **RevistaEspacios**, ,v. 37. n. 8 p. 3, 2016.
- [5] ROONEY, J. J.; VANDEN HEUVEL, L. N. **Root Cause Analysis For Beginners**. QualityProgress. v.37, n.7, p. 45-53, 2004.
- [6]SARDINHA, G. P.; CLARO, F. A.; PEREIRA, R. L. **Uso combinado do AHP e do FMEA para análise de riscos em gerenciamento de projetos**. SEGeT – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, (pp. 1-13), 2009.
- [7] GODOIS, L. A. C. ; SANTOS, P. A. A. ; LIMA, J. P. R. ; CRUZ, L. C. ; MORAIS, W. A. . Método de análise de falhas utilizando ferramentas de qualidade. Santos: **Revista Ceciliana**, v. 9, p. 239-239, 2017.
- [8] AFFONSO, Luiz Otavio Amaral. **Equipamentos Mecânicos – Análise de falhas e soluções de problemas**. 3 ed. São Paulo: Qualitymark, 2012.
- [9] CARVALHO, Marly Monteiro de; PALADINI, Edson Pacheco (Coord). **Gestão da Qualidade teoria e casos**. Rio de Janeiro:Elsevier, 2005. 4a. Reimpressão.
- [10] NEVES, Thiago. **Importância da utilização do ciclo PDCA para garantia da qualidade do produto em uma indústria automobilística**. Juiz de Fora: Monografia. Universidade Federal de Juiz de Fora.2007.

- [11] ORIBE, Claudemir. **Diagrama de Árvore: a ferramenta para os tempos atuais**. Contagem: Qualypro. 21 abr. 2012. p. 2.
- [12] LOBO, Renato; SILVA, Damião. **GESTÃO DA QUALIDADE - Diretrizes, Ferramentas, Métodos e Normatização**. 1. Ed. São Paulo: Érica, 2014.
- [13] CAMPOS, Vicente Falconi. **Gerenciamento da Rotina do trabalho do dia a dia**. 9. Ed. Nova Lima: FALCONI Editora, 2013.