

XXIV Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica – 11 a 15/09/2017 – Rio Grande - RS

ANÁLISE DE FALHA ATRAVÉS DA FERRAMENTA RCFA EM BOMBA DE PISTÃO CIRCUNFERENCIAL DE INDÚSTRIA QUÍMICA

Felipe Gomes dos Santos, Rafael Azevedo da Silva, César Almeida Boynard

Universidade Candido Mendes (UCAM)

Rua Anita Peçanha, 100 – CEP: 28030-335– Parque São Caetano – Campos dos Goytacazes, RJ

felipe_gs93@yahoo.com.br, 45.rafael.azevedo@gmail.com, cesar.boynard@gmail.com

RESUMO: O presente trabalho teve como objetivo realizar um estudo de caso na falha de uma bomba de pistão circunferencial operante em uma indústria química através da metodologia *Root Cause Failure Analysis* (RCFA). O caso estudado afetou significativamente a produção da planta industrial, o *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) e apresentava falhas recorrentes. Após a ocorrência da falha, registrou-se toda a atividade de manutenção corretiva da bomba com fotos e documentos. Em seguida, consultou-se desenhos técnicos, manuais de operação e histórico de falhas para obter informações do equipamento. Todos os envolvidos no processo da falha foram entrevistados para montar um raciocínio sequencial dos fatos ocorridos. Como resultado obteve-se uma análise de falha através da metodologia RCFA, abrangendo os custos envolvidos e um plano de ações apropriado para evitar a reincidência da avaria.

Palavras-Chave: RCFA, bomba de pistão circunferencial, confiabilidade

ABSTRACT: The present study aimed to carry out a case study of an operating circumferential piston pump in a chemical industry by the *Root Cause Failure Analysis* (RCFA) methodology. The case studied significantly affected the industrial plant production, the *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) and it had recurring failures. After the equipment failure, the whole corrective maintenance activity was recorded with photos and documents. Next, technical drawings, operation manuals and fault history were consulted to obtain equipment information. Everyone involved in the failure process was interviewed to organize a sequential reasoning of the events that occurred. As result, it was obtained a failure analysis by the RCFA methodology, including the costs involved and a plan of appropriate actions to avoid the recurrence of the damage.

Keywords: RCFA, circumferential piston pump, reliability

INTRODUÇÃO

A engenharia de confiabilidade é responsável pelo gerenciamento de riscos e ciclo de vida dos ativos. É um recurso estratégico que fornece um método de negócio que assegura a capacidade de produção, a qualidade do produto e o melhor custo de ciclo de vida do ativo (Mobley et al., 2008). Este setor em conjunto com a manutenção preditiva tem como objetivos principais prevenir falhas catastróficas em sistemas críticos de produção e evitar desvios com relação aos níveis de desempenho aceitáveis, que resultarão em danos pessoais, impacto ambiental, perda da capacidade de produção ou baixa qualidade do produto fabricado. Porém, por mais rigoroso que seja o programa de confiabilidade de uma planta, esses eventos tendem a acontecer. Portanto, ferramentas que oferecem a plena compreensão e correção das causas raízes das falhas devem compor um programa viável de confiabilidade. Uma dessas ferramentas é a RCFA, que consiste em uma investigação estruturada que permite isolar os fatos relacionados a uma falha e propor ações efetivas para evitar a sua reincidência (Mobley, 1999).

Bombas de pistão circunferencial são utilizadas nas indústrias principalmente para aplicações de baixa vazão e alta pressão, sobretudo aquelas além da capacidade das bombas centrífugas. Elas são capazes de atingir altas pressões mesmo com baixa velocidade de bombeamento, sendo adequadas para serviços com abrasivos, pastas e fluidos de alta viscosidade (Avallone et al., 2006). As falhas em bombas de pistão circunferencial podem ocorrer por diversos motivos, como por exemplo: falhas no projeto, falhas na seleção de materiais, imperfeições no material, deficiência de fabricação, erros de montagem ou instalação e condições de operação ou manutenção inadequadas. Entender a causa raiz de uma falha específica faz com que ações sejam tomadas a fim de eliminar a real causa do problema, e não apenas sanar os sintomas apresentados pelo equipamento (Affonso, 2012).



Ao tratar apenas os sintomas, o equipamento será sujeito a falhar novamente em um curto período de tempo, pois o módulo de falha ainda estará inserido no mesmo. Tornar esta análise da causa raiz uma rotina irá colaborar para prevenir a falha de equipamentos em aplicações similares ao que foi estudado (Mobley et al., 2008).

METODOLOGIA

Escolha de caso

A primeira etapa para implementar a análise RCFA é identificar um caso que valha a pena a realização desta. Para isto, utilizou-se a planilha de acompanhamento de OEE da fábrica, em que o setor de produção destaca os motivos que prejudicaram este indicador, que é visto como uma ferramenta autônoma para medição do desempenho de um equipamento e/ou sistema e varia entre 0 % e 100 %. Este indicador baseia-se em três fatores: disponibilidade, performance e qualidade (Hansen, 2006).

Dessa forma, identificou-se que havia muitas bombas falhando e impactando negativamente o desempenho da empresa. Realizou-se então o cálculo do Tempo Médio Entre Falhas (TMEF) que, segundo Kardec & Nascif (2012) é uma medida básica de confiabilidade expressa em tempo, em geral refere-se à vida média de um item reparável e um estudo no histórico de manutenções dessas bombas, identificando as bombas que mais falhavam e os problemas mais recorrentes nestas. Sendo assim, a escolha de caso para a análise RCFA foi uma bomba que impactou negativamente a produção e apresentou falhas recorrentes.

Análise RCFA

Por motivo de experiência e conhecimento técnico, caso o supervisor da equipe de manutenção perceba que uma falha pode ocasionar uma parada de processo ou prejudicar a produção, irá atender e corrigir a falha imediatamente de maneira emergencial. Porém o mesmo tem o papel de comunicar a engenharia de confiabilidade para acompanhar a manutenção e registrar o evento (seja com fotos, vídeos, documentos, esboços, etc.) para posterior análise de falha caso seja necessário e para guardar a peça danificada, que na maioria das vezes, diz muito sobre a causa da falha ocorrida, ajudando na busca da causa raiz.

O núcleo da RCFA é sua equipe de trabalho. Esta equipe dedica o tempo necessário à descoberta da causa raiz da falha. Esta foi constituída por engenheiro mecânico, eletromecânicos, eletricitas, supervisores de manutenção e produção e operadores.

Com o objetivo de um melhor entendimento de todo o ocorrido e do processo de manutenção executado, foram realizadas entrevistas com todos os envolvidos no processo de falha do equipamento. Os objetivos eram montar um raciocínio de *timeline*, ordenando os fatos ocorridos, entender como cada um tomou ciência da falha e qual ação tomou, quais recursos foram utilizados e entender o funcionamento e importância do equipamento no processo.

Para chegar-se à causa raiz da falha, já estavam disponíveis alguns dados coletados, como o TMEF da bomba, seu histórico de manutenção com os custos e recursos envolvidos, manuais e desenhos técnicos, o registro da avaria e as entrevistas. Com esses dados, reuniu-se a equipe de trabalho com o objetivo de identificar algumas das possíveis causas da falha, facilitando assim a identificação da causa raiz. Em seguida, gerou-se um plano de ações com medidas recomendadas para evitar a reincidência do problema. A execução deste plano dependia de recursos financeiros e de mão de obra, sendo variável de acordo com o caso estudado, por isso a implementação dependerá de aprovações por parte dos supervisores e/ou coordenadores.

Estudo de caso

O estudo de caso baseou-se em uma perda produtiva de 346 minutos registrada no dia 23 de agosto de 2015 na planilha de acompanhamento de OEE de uma indústria química, que optou em não divulgar seu nome, devido a parada da bomba de pistão circunferencial responsável pelo bombeamento de resíduo da unidade de destilação. Ao chegar no local para efetuar o reparo, o eletromecânico identificou que o acoplamento fraturou, os dentes deste estavam muito desgastados e que o elemento elástico estava completamente danificado, conforme demonstrado na Fig. (1).

Com base nas informações coletadas no livro de ocorrência da produção, no software de manutenção, nos gráficos de processo e nas entrevistas com os operadores do processo, técnicos de manutenção que atuaram na falha e o supervisor de produção, foi possível constatar que o problema no sistema de resíduo da unidade de destilação iniciou no dia 21 de agosto de 2015, como relatado pelo operador de produção do setor. O trecho entre a bomba e o tanque a seu montante estava obstruído, sendo necessário retirar o vácuo do sistema para que o fluido escoasse mais facilmente para o tanque a jusante devido à gravidade, pois os tanques se encontram em níveis diferentes.



Figura 1. Acoplamento fraturado e elemento elástico danificado

O ramal mencionado trabalha com resíduo viscoso, variando de 20 cPs a 40.000 cPs. Com isso, é necessária alta temperatura para manter a viscosidade do produto baixa, possibilitando que o mesmo seja bombeado e escoe sem obstruir o ramal.

Conforme pode-se observar na Fig. (2), que apresenta o histórico de variáveis do processo, às 12 horas e 35 minutos do dia 21, a bomba desarmou com uma corrente de 4 A, nesse momento a temperatura começou a subir chegando a 62 °C e o nível do tanque chegou a 0 % devido à perda do vácuo temporária no sistema. Às 14h30min o nível do tanque subiu para 103 % e a temperatura diminuiu para 38 °C, conseqüentemente houve outra tentativa de ligar a bomba, contudo ela desarmou novamente devido à corrente ter alcançado 4 A.

Às 15 horas e 42 minutos a temperatura caiu chegando 36 °C e novamente ocorreu outro desarme na tentativa de ligar a referida bomba. Às 15h59min a temperatura aumentou chegando 97 °C, a bomba foi ligada e voltou a operar normalmente. Apesar da bomba ter voltado a operar sem apresentar desarme, mesmo com a bomba ligada é possível identificar que o nível do tanque permaneceu elevado.

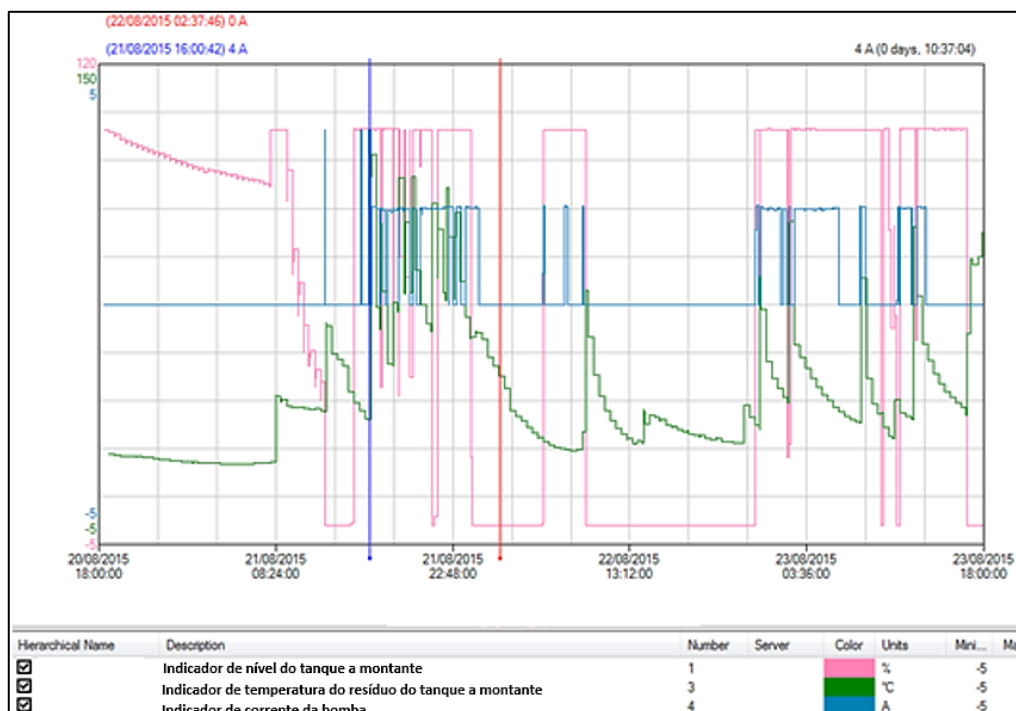


Figura 2. Gráfico com as variáveis de processo entre os dias 20/08 e 23/08

No dia 22 de agosto de 2015 às 00h57min a bomba foi desligada e houve a redução do vácuo total da unidade de destilação, então o nível do tanque começou a diminuir. Às 06h08min a bomba foi ligada novamente com o nível do tanque já em 103 % e com o sistema de vácuo restabelecido. Ela permaneceu ligada por cerca de 10 minutos, contudo o nível do tanque se manteve em 103 %. Às 7h54min a bomba foi ligada novamente com o nível do tanque em 103 %, se mantendo nesse nível mesmo durante os 18 minutos da bomba ligada. Por fim, mais duas tentativas foram feitas às 9h23min e às 9h38min, nenhuma apresentou resultado positivo. Ainda nesse dia, o operador de produção que ficou no turno de 6 h às 14 h informou no livro de ocorrência que a bomba foi aberta na parte frontal e a mesma não apresentava obstrução.

Assim como observa-se na Fig. (2), o livro de ocorrência continha um registro feito pelo operador do turno de 22 h às 6 h entre os dias 22 e 23, relatando que foram feitas várias tentativas de baixar o nível do tanque, porém nenhuma obteve sucesso. O operador relatou também que o supervisor de produção pediu para chamar o eletromecânico que entraria sobreaviso a partir das 6h00min do dia 23, e assim foi feito.

O eletromecânico chegou à fábrica aproximadamente às 6h20min e iniciou a intervenção na bomba. Primeiramente a parte frontal da bomba foi aberta e nenhuma obstrução foi identificada. O equipamento foi ligado e nesse momento identificou-se que o acoplamento que conecta o redutor à bomba havia fraturado. O acoplamento foi removido, contudo não havia outro acoplamento disponível para substituí-lo. Colocou-se então um carretel na linha, transferindo o resíduo direto entre os tanques de resíduo. Após a instalação do carretel e a manutenção da temperatura alta (95~112 °C) conseguiu-se manter o nível do tanque baixo.

Análise dos dados

A tubulação a jusante da bomba apresenta sistema de aquecimento para tubulação (*steam tracing*), contudo a mesma apresenta deficiências no isolamento térmico e nas tomadas de vapor, conforme a Fig. (3) e Fig. (4). Consequentemente ocorre uma dificuldade em manter a viscosidade do fluido baixa, possibilitando a obstrução do ramal.



Figura 3. Isolamento térmico ineficiente



Figura 4. Falha na tomada de vapor

O acoplamento utilizado na referida bomba é do fabricante Acionac Acoplamentos, modelo Acionac - 82 *Joint Flex*. O acoplamento opera com um elemento elástico que é capaz de absorver os impactos e compensar pequenos desalinhamentos entre os eixos. Na Figura 5 é possível ver o acoplamento fraturado na região do rasgo da chaveta e na região oposta, assim como as medidas de profundidade e largura do rasgo da chaveta, que é um acumulador de tensões.

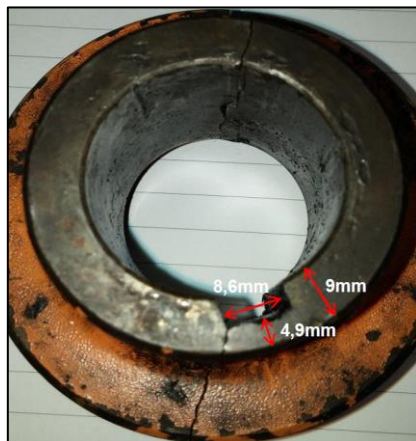


Figura 5. Acoplamento fraturado com dimensões do rasgo da chaveta

O rasgo da chaveta é dimensionado conforme a norma DIN 6885. Na Tabela 1 encontram-se os valores adequados para o rasgo da chaveta (em mm) considerando o eixo de trabalho utilizado, que possui 35 mm de diâmetro.

Tabela 1. Dimensionamento de rasgo de chaveta (Adaptado de DIN 6885, 1968)

Ø do eixo		Dimensões da chaveta		Profundidade do rasgo no eixo		Profundidade do rasgo no cubo	
Acima de	Até	Largura b	Altura h	t ₁	Tolerância	t ₂	Tolerância
30	38	10	8	5	+ 0,2	3,3	+ 0,2

A bomba foi projetada no ano de 2010 inicialmente para trabalhar com um motorreductor modelo R17 DRE71M4 com as seguintes características: potência de 0,55 KW, rotação de entrada 1750 RPM, rotação de saída 130 RPM e tensão de 440 V. No ano de 2011 em decorrência dos frequentes desarmes da bomba por alta corrente, foi realizada a alteração do projeto para um motorreductor mais potente. Instalou-se um motorreductor modelo R37 DRE80M4 com as seguintes características: potência de 1,5 KW, rotação de entrada 1710 RPM, rotação de saída 129 RPM e tensão de 440 V.

Nessa alteração de projeto não foi levado em consideração à necessidade de alterar o acoplamento, mantendo o mesmo modelo do projeto inicial (acoplamento modelo AE-82). Vale ressaltar que as novas condições de projeto requerem um acoplamento mais robusto, visto que a potência do motor foi alterada de 0,55 KW para 1,5 KW.

Com base no novo modelo de motorreductor, considerando uma potência de 1,5 KW, fator de serviço (Ft) 2,16 e uma rotação (n) de 129 RPM, foi possível calcular o torque (Mt) necessário para o dimensionamento de um novo acoplamento de acordo com a Eq. (1) (Acionac, 2010), onde C é uma constante igual a 9550 devido a potência utilizada ser em KW.

$$Mt = N \cdot C \cdot Ft / n \quad (1)$$

$$Mt = 1,5 \cdot 9550 \cdot 2,16 / 12 = 239,86 \text{ Nm}$$

De acordo com o resultado obtido acima e a Fig. (6), conclui-se que o acoplamento indicado para o conjunto motobomba seria o AE-112.

Constatou-se através do *software* de manutenção que a bomba de resíduos não é contemplada por planos de manutenção preventivos e/ou preditivos. Sendo este um dos fatores que contribuiu para a falha do acoplamento, pois uma inspeção visual já seria capaz de detectar anomalias nos dentes e no elemento elástico do acoplamento, evitando a falha abrupta.

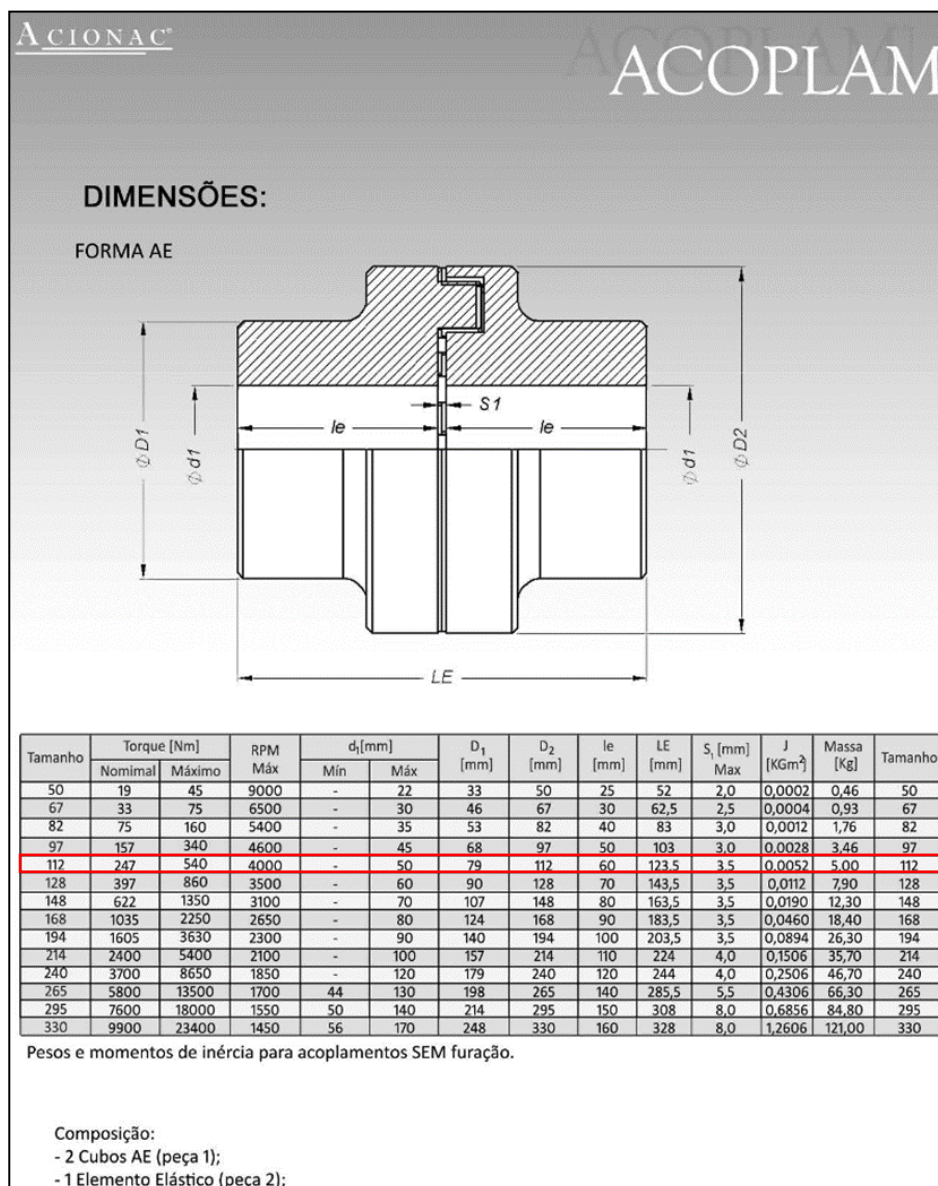


Figura 6. Dimensões dos acoplamentos Acionac AE (Acionac, 2010)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Calculando-se o TMEF, que é dado pelo tempo em operação sobre o número de falhas do equipamento, obteve-se um valor de 1,4 meses. De acordo com o resultado obtido, percebe-se que aproximadamente a cada um mês e meio era necessária uma intervenção na bomba. Sendo este um intervalo entre falhas considerado muito baixo (falhas recorrentes) pelo time de manutenção, que constantemente atuava no reparo desta.

Como demonstrado no estudo de caso, a quebra do acoplamento na bomba de resíduo da unidade de destilação acarretou em 346 minutos de perda de produção na fábrica, isso corresponde a um total estimado de R\$ 76.000,00. Desde a implementação do novo *software* de manutenção em agosto de 2013, obteve-se dados com relação ao histórico de ordens de serviço, HH (Homem Hora) consumido e peças utilizadas. As ordens de serviço abertas para a bomba de resíduo em análise estavam relacionadas basicamente a dois problemas: obstrução da bomba e deficiência no aquecimento do processo da unidade de destilação. Esses problemas estão diretamente relacionados, pois a temperatura elevada permite o fluido ter uma menor viscosidade, evitando assim a obstrução da tubulação. Analisando o histórico de ordens de serviço da bomba foram identificadas dezoito atividades, com um total de 73,5 horas reportadas pelos técnicos de manutenção, o que corresponde a R\$2.421,58 de mão-de-obra. Outro ponto avaliado foi o valor gasto em

peças de reposição para a bomba. Somando-se os valores das peças necessárias para manter a bomba, obteve-se um total de R\$47.762,38. Dessa forma, o custo gerado por essa bomba em 25 meses é demonstrado conforme Tab. 2.

Tabela 2. Custos gerados pela bomba

Custos	Valor
Peças de reposição	R\$ 47.762,38
HH	R\$ 2.421,28
Perda de produção	R\$ 76.000,00
Total	R\$ 126.183,66

Para evitar a reincidência dos problemas citados não só nesse equipamento, mas também em equipamentos com aplicações similares e aumentar o ciclo de vida destes tornando-os mais rentáveis para a empresa, elaborou-se o plano de ações conforme Tab. 3.

Tabela 3. Plano de ações proposto

Item	Ações (mandatórias)	Setor responsável
1	Avaliar a possibilidade de trocar o acoplamento para o modelo AE-112.	Projetos
2	Trocar o sistema de aquecimento da tubulação a montante e a jusante da bomba.	Planejamento, programação e controle da manutenção
3	Avaliar as condições de processo, mantendo a estabilidade no sistema (pressão, temperatura, vazão) a fim de garantir a viscosidade de projeto do produto.	Supervisão da produção
Item	Ações (recomendadas)	Setor responsável
4	Definição da criticidade dos equipamentos.	Engenharia de confiabilidade
5	Criar, cadastrar e adequar as preventivas e preditivas no sistema de manutenção (requer cumprimento do item 4).	Engenharia de confiabilidade
6	Levantamento das peças sobressalentes para a bomba (requer cumprimento do item 4).	Engenharia de confiabilidade
7	Adicionar no supervisório um alarme de corrente alta	Supervisão da produção

CONCLUSÃO

Pode-se afirmar que o objetivo principal do trabalho foi atingido, pois analisou-se a falha de uma bomba de pistão circunferencial operante no setor de destilação de indústria química, que ocasionou uma perda produtiva no OEE, através da aplicação da metodologia RCFA e gerou-se um plano de ação contra a reincidência da falha.

Após análise das informações, conclui-se que o modelo de acoplamento Acionac AE-82 não foi projetado para os esforços gerados pelo novo motorreductor, sendo necessário a utilização do acoplamento AE-112. O rasgo de chaveta feito no acoplamento AE-82 estava acima do permitido pela norma DIN 6885, fato que pode ter contribuído, juntamente aos travamentos (constatado com os desarmes descritos na análise), para a fratura deste.

A falta de planos de manutenção preventivos e preditivos também colaborou para esse prejuízo na produção. Caso houvesse planos de inspeção da bomba, a falha em momento inoportuno seria evitada, permitindo a troca do acoplamento em um momento propício e com recursos planejados.

Outra causa da falha foi o descontrole das variáveis do processo, pois o bombeamento do resíduo apresenta problemas devido ao deficiente sistema de aquecimento da linha (*steam tracing*) e a consequente viscosidade elevada do fluido.

Problemas operacionais também devem ser levados em consideração, visto que em diversos momentos ligou-se a bomba com a temperatura do fluido muito baixa e que insistentes tentativas de religá-la foram efetuadas em curtos intervalos de tempo, sem uma investigação da causa desses desarmes.



XXIV CREEM
Congresso Nacional de Estudantes
de Engenharia Mecânica



**Universidade Federal
do Rio Grande**



INSTITUTO FEDERAL
RIO GRANDE DO SUL
Campus Rio Grande

REFERÊNCIAS

- Acionac, 2010, “Catalogo: Acoplamentos AE”, Acessado em agosto de 2015, disponível em: <http://www.acionac.com.br/2011/admAcionac/views/catalogos/Catalogo_-_ACOPLAMENTO_-_AE.pdf>
- Affonso, L. O. A., 2012, “Equipamentos Mecânicos: Análise de Falhas e Solução de Problema”, 3ª ed., Qualitymark, Rio de Janeiro, Brasil.
- Avallone, E. A., Baumeister, T., and Sadegh, A. M., 2006, “Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers”, 11ª ed., McGraw-Hill, New York, NY, USA.
- DIN 6885, 1968, “Drive Type Fastenings without Taper Action; Parallel Keys, Keyways, Deep Pattern”
- Hansen, R.C., 2006, “Eficiência Global dos Equipamentos: uma poderosa ferramenta de produção/manutenção para o aumento dos lucros”, Bookman, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Kardec, A., Nascif, J., 2012, “Manutenção Função estratégica”, 4ª ed., Qualitymark, Rio de Janeiro, Brasil.
- Mobley, R. K., 1999, “Root Cause Failure Analysis”, Plant Engineering Maintenance Series, Butterworth-Heinemann Woburn, MA, USA.
- Mobley, R.K., Higgins, L. R., and Wikoff, D. J., 2008, “Maintenance Engineering Handbook”, 7ª ed., McGraw-Hill, New York, NY, USA.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso contido neste artigo.