



**SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL  
FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI - CIMATEC  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE**

**BRUNO VIDAL SILVA**

**INVESTIGAÇÃO DA CONFIABILIDADE EM ROTATIVOS PARA  
SISTEMAS ÁCIDOS NAS DIMENSÕES DE GESTÃO,  
TECNOLOGIA E FATORES HUMANOS**

**Salvador**

**2017**

**BRUNO VIDAL SILVA**

**INVESTIGAÇÃO DA CONFIABILIDADE EM ROTATIVOS PARA  
SISTEMAS ÁCIDOS NAS DIMENSÕES DE GESTÃO,  
TECNOLOGIA E FATORES HUMANOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de pós-graduação em Engenharia de Confiabilidade da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC como requisito final para obtenção do título de especialista.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. MSc. Marinilda Lima

**Salvador**

**2017**

# INVESTIGAÇÃO DA CONFIABILIDADE EM ROTATIVOS PARA SISTEMAS ÁCIDOS NAS DIMENSÕES DE GESTÃO, TECNOLOGIA E FATORES HUMANOS.

Bruno Vidal Silva<sup>1</sup>

Marinilda Lima Souza <sup>2</sup>

## RESUMO

Este artigo pretende através da investigação da causa de eventos nas dimensões homem, gestão e tecnologia, propor melhoria no Tempo Médio Entre Falhas (MTBF) dos equipamentos rotativos e conseqüentemente, aumentar a confiabilidade dos sistemas de produção. Para um estudo mais específico, foram selecionadas as bombas centrífugas, utilizadas em uma planta de uma indústria química, localizada no polo petroquímica na Bahia, especificamente que processam ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Como aporte metodológico, foram utilizados a Análise da Árvore de Falhas (FTA) e a Análise de Criticidade e Modo de Efeito de Falhas (FMECA) como ferramentas do estudo de confiabilidade na investigação. O resultado demonstra que as causas raízes das falhas nas bombas foram devido a uma cultura de culpa presente nos níveis operacionais e difundido pelos níveis gerenciais, no qual se objetivava a busca do culpado pela parada da máquina, e não a busca pela origem do problema, no intuito de se criar rotina de inspeção mais eficiente. Foram propostas melhoria com a implantação de reuniões mensais conjuntas entre operação, manutenção e gerência e para os líderes a diretoria forneceu treinamentos sobre liderança e gestão, no intuito de melhorar a relação interpessoal e a integração com a equipe.

**Palavras-chave:** homem, gestão e tecnologia; Confiabilidade; FTA; FMECA.

---

<sup>1</sup> Pós-Graduando em Engenharia de Confiabilidade. Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, E-mail: eng.mec.vidal@gmail.com

<sup>2</sup> Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial. Pós Graduada em Gestão da Manutenção. Docente da Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec. E-mail: marinilda.lima@fieb.org.br

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo uma pesquisa do BNDES, em razão de sua importância, ocupava em 2009 a quarta posição no PIB industrial, que corresponde a 10,11% do PIB gerado pela indústria de transformação, ficando atrás apenas da indústria de alimentos e bebidas; coque, produtos derivados de petróleo e biocombustíveis; e veículos automotores, reboques e carrocerias. Ainda baseado na mesma pesquisa, a indústria química envolve a fabricação de produtos com base em reações químicas que convertem matérias-primas (petróleo, gás natural e outras fontes, até mesmo da biomassa) em mais de setenta mil produtos químicos existentes.

A indústria química é considerada de elevado risco devido a exposição do operador-mantenedor em caso de vazamentos em equipamentos de sistemas ácidos e pela possibilidade de interrupções operacionais. A causa da ocorrência das falhas em equipamentos com vazamento de ácido pode estar relacionada aos seguintes fatores: homem, gestão e tecnologia. Muitos eventos de vazamento têm ocorrido nas bombas centrífugas que demandam do pessoal de manutenção, conhecimentos específicos para as decisões operacionais. Verifica-se que os níveis de acidentes e incidentes estão intimamente ligados à cultura da empresa. Muito embora politicamente as empresas possuam padrões e normas de qualidade, segurança e meio-ambiente, em grande parte elas não são devidamente seguidas por seus colaboradores, ora por falta de fiscalização da própria gerência da empresa, ora pela falta de uma cultura de segurança. Esta última é um dos principais fatores a influenciar nas atitudes negligentes dentro de uma organização.

A partir do momento que a organização investe em tecnologia apropriada, na capacitação da equipe técnica e incube na gerência uma cultura baseada na transparência de informações e na responsabilidade, certamente se manterá no mercado de forma competitiva.

Neste aspecto, a confiabilidade operacional só será estabelecida em uma indústria após o que é chamado tripé ser garantido com eficiência, ou seja, a

tecnologia, a organização e o ser humano trabalharem juntos e de forma coerente. É importante ressaltar que os métodos utilizados neste artigo para investigação de falhas relacionadas as bombas centrífugas que operam com ácido sulfúrico foram criados a partir de históricos de manutenção reais.

### **1.1. Justificativa**

Segundo Elizabeth Borelli (2011), O papel da indústria química como principal agente da mudança social e econômica das sociedades industrializadas, caracterizada pela capacidade de inovação nos processos tecnológicos e por uma estrutura empresarial articulada, suscita uma reflexão sobre a problemática dos riscos socioambientais resultantes de sua contínua expansão mundial.

A indústria química é uma das mais severas atividades industriais existentes, por impactar diretamente na saúde do trabalhador e no meio-ambiente. Por isto, em meio a diversos incidentes e acidentes com bombas centrífugas operando com ácido sulfúrico, foi decidido realizar um estudo de confiabilidade contemplando os aspectos humano, tecnologia e organização utilizando a FTA (Análise da Árvore de Falha) e a FMECA (Análise de Criticidade e Modo de Efeito de Falhas) como ferramentas de análise de falhas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Este artigo tem por finalidade investigar os níveis de confiabilidade nas dimensões humano, tecnologia e organização, através da aplicação do FTA e da FMECA. A proposta é após este estudo, gerar resultados que sinalizem os principais fatores contribuintes das falhas de bombas, no intuito de criar plano de

ação visando garantir a melhoria de confiabilidade, segurança operacional e a integridade da planta.

## **2.2 Objetivos Específicos**

Como objetivos específicos pretendem-se:

- Diagnosticar as principais causas raízes de falhas nas bombas centrífugas que operam com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Ácido Sulfúrico);
- Identificar quais são os principais “gatilhos de falha”, considerando o aspecto humano, tecnologia e organização que impactam na a confiabilidade operacional.

## **3 BOMBA CENTRÍFUGA E SUA IMPORTÂNCIA PARA À INDÚSTRIA**

De acordo com Macintyre (2011) as bombas hidráulicas são máquinas geratrizes responsáveis pelo trabalho mecânico, alimentadas por uma máquina motriz. As bombas industriais são responsáveis pela transferência dos fluidos líquidos de um ponto a outro.

As bombas possuem duas classificações macros, que são: bombas volumétricas, ou de deslocamento positivo, e as bombas centrífugas. Em via de regra, as bombas volumétricas são apenas selecionadas para operação quando a bomba centrífuga não garante a altura manométrica desejada em projeto. A altura manométrica nada mais é que a energia total que a bomba fornece ao fluido para fazê-lo deslocar desde o reservatório de sucção ao destino final.

As bombas centrífugas são os tipos mais presentes em operação, e conseqüentemente as mais presentes no setor de manutenção. Por isto, os estudos sobre ela são inúmeros, podendo encontrar diversas literaturas tratando desde projeto à manutenção.

Lima (2003) destaca que a bomba centrífuga tem como base de funcionamento a criação de duas zonas de pressão diferenciadas: uma de baixa pressão (sucção) e outra de alta pressão (recalque). Segundo Lima (2003) para que ocorra a formação destas duas zonas distintas de pressão, é necessário existir no interior da bomba a transformação da energia mecânica ao longo do tempo (potência), que é fornecida pelo motor, primeiramente em energia cinética, a qual irá deslocar o fluido, e posteriormente, em energia de pressão.

As bombas centrífugas são dinâmicas, e, portanto, trabalham associadas a motores, geralmente elétricos e de indução. Podemos citar alguns componentes que fazem parte de uma bomba industrial, como é o caso dos elementos de vedação chamado selos mecânico, os elementos impulsionadores chamados de impelidores ou rotores, os rolamentos, considerados elementos de apoio, eixos, sendo elementos de transmissão, parafusos e porcas como elementos de fixação, entre outros.

É fundamental um estudo prévio minucioso pela engenharia antes de colocar uma bomba em operação, pois uma vez mal especificada, pode levar severos riscos à integridade dos profissionais e do meio-ambiente em que ela está instalada. Por exemplo, um rolamento fora das características do *Data Sheet*, ou Folha de Dados pode comprometer todo o funcionamento do equipamento, chegando até ao estado de colapso, ou seja, perda total. Isto porque todos os componentes estão interligados em um só mecanismo, em uma só estrutura.

Classifica-se de 1 a 7 a criticidade de um equipamento (sendo 1 o menos crítico e 7 o mais crítico), conforme a sua relevância para a produção de uma indústria e a interferência no meio ambiente e segurança dos colaboradores, embora algumas literaturas adicionem alguns outros critérios. Assim também se faz com as bombas, com o objetivo de rapidamente identificar o nível de importância, frente a um evento de falha. Para isto criou-se o nome: Gestão de Ativos.

Segundo o IAM (Institute of Asset Management), Gestão de Ativos é a gestão de (principalmente) os ativos físicos (sua seleção, manutenção, inspeção e renovação) que desempenha um papel chave na determinação do rendimento operativo e a rentabilidade das indústrias que operam os ativos como parte de seu negócio principal. Nem mesmo as grandes multinacionais possuem dinheiro para tratar de todo o problema que ocorre na empresa, e para tanto, precisam identificar os chamados “gargalos”. Isto é aplicar a Gestão de Ativos, identificando os pontos mais críticos e solucionando-os. Não importa o porte da bomba, se ela interfere na produção da planta, é sem dúvida considerada um “gargalo em potencial”, e todo o estudo sob ela não são demasiados. Uma empresa que não possui gestão dos seus ativos não consegue definir prioridades, ficando à mercê da “boa sorte”.

#### **4 CONFIABILIDADE OPERACIONAL**

A Norma Brasileira Regulamentadora ABNT 5462 (1994) conceitua confiabilidade como a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo. Ou seja, a confiabilidade é a probabilidade que um equipamento tem em operar dentro dos parâmetros operacionais e tempo de vida útil pré-estabelecidos. Estes parâmetros e tempo de vida útil a princípio são determinados pelo fabricante, em testes empíricos realizados.

Segundo Moubrey (1997) a MCC (Manutenção Centrada em Confiabilidade) consiste em um processo utilizado para determinar o que deve ser feito em um sistema industrial a fim de assegurar que os itens físicos realizem suas funções. Já Lafraia (2001) sinaliza que as manutenções aumentam a confiabilidade e diminuem os riscos, porém podem ocasionar a indisponibilidade dos equipamentos e gerar custos. Por outro lado, adiar as manutenções como forma de garantir a disponibilidade aumenta os riscos. Desta forma, há

necessidade de um gerenciamento constante de riscos envolvidos, prioridades e um planejamento otimizado da manutenção dentro das empresas do setor químico torna-se evidente.

Para Gutiérrez (2005) o objetivo principal de um bom sistema de manutenção é a busca do ponto ótimo entre o custo, a disponibilidade e a confiabilidade. De acordo com Queles *et al.* (2007) a metodologia manutenção centrada em confiabilidade (MCC) constitui-se em uma ferramenta técnico-científica que otimiza a gestão da manutenção ancorada numa abordagem sistêmica focada na confiabilidade; do nível do sistema para o nível do equipamento ou peça. Esta ferramenta designa propor tipos e periodicidades de manutenção adequada a determinado ativo, racionalização dos custos de manutenção e otimização da frequência das intervenções com vista à redução da chance de falhas.

Moubray (2001) destaca que a MCC consiste em um processo utilizado para determinar o que deve ser feito em um sistema industrial a fim de assegurar que os itens físicos realizem suas funções.

Quanto a confiabilidade humana segundo Maida (1996) *apud* Figueirôa Filho e Souza (2011) entende-se que a expressão confiabilidade humana é a probabilidade de que um sistema que requer ações, tarefas ou trabalhos humanos seja completado com sucesso dentro de um período de tempo requerido, assim como a probabilidade que nenhuma ação humana estranha seja desempenhada em detrimento da confiabilidade e disponibilidade do sistema.

No cotidiano as pessoas consideram que algo não é confiável quando não se sentem seguras com ele. De forma simples e objetiva, na indústria o raciocínio é o mesmo. Imagine um garotinho querendo brincar na roda-gigante e o seu pai não o permitindo, pois acredita que aquele brinquedo não é seguro o suficiente, ou seja, não é confiável. Assim também deveria acontecer nas

indústrias, mas infelizmente não se têm nelas pais tão zelosos, ou talvez pais que conheçam tão bem as suas máquinas como um pai atento a seu filho.

O ácido sulfúrico é um fluido agressivo ao ser humano e ao meio-ambiente, e por isto, o controle operacional deve ser extremamente rigoroso, desde a fase de projeto, passando pela fase de produção até o armazenamento e transporte do fluido. Devido ao alto nível de risco todas as fases devem ser seguidas com total atenção, respeitando as normas a rigor.

Uma máquina chamada bomba centrífuga, operando com ácidos diversos em altas e/ou baixas concentrações, a condições severas de operação, não deveria se levantar a possibilidade de estar operando com baixa confiabilidade, não é mesmo? Mas o que seria baixa e alta confiabilidade? Qual referência que se tem para tal determinação?

Definir de forma coerente a confiabilidade de uma máquina industrial não é a das mais fáceis tarefas. É fundamental que além de muita experiência na área, se tenha uma equipe rigorosa e disciplinada em registrar acontecimentos, por menores que sejam e por menos danos que tenham causado. Isto evita o domínio de uma única pessoa às informações de alto grau de severidade, o que seria muito perigoso para a empresa caso esta pessoa venha a faltar.

Uma confiabilidade operacional eficiente deve ser baseada em uma relação de confiança entre líderes e subordinados, em uma gestão técnica dos ativos, aplicando investimentos nos setores estratégicos da empresa, principalmente, nos setores que possuem natureza de alta criticidade, reduzindo os efeitos de possíveis sinistros. Portanto, a garantia da confiabilidade operacional depende da integração das dimensões de fatores humanos, tecnologia e organização e este tópico é descrito a seguir.

#### **4.1 As Dimensões Fatores Humanos, Tecnologia e Organização.**

Chamado por muitos estudiosos de tripé da confiabilidade, a análise da dimensão gestão, tecnologia e os fatores humanos compõem um cenário ideal para avaliação do desempenho operacional de uma indústria, independente do seguimento.

Os trabalhadores têm a tendência a se enquadrarem na política e cultura da empresa, portanto, para conhecer a política e cultura de uma empresa, basta observar o comportamento dos seus funcionários.

A tecnologia refere-se à máquina, sendo a parte mais técnica do tripé a ser avaliado. Uma bomba para operar em sistemas produtivos complexos e com produtos que apresentam alto nível de risco, como é o exemplo do ácido sulfúrico, deve ser especificada, montada e operada por profissionais especializados no assunto. Infelizmente, o que se vê em inúmeros casos é exatamente o contrário. Na tentativa de reduzir custos, as empresas diminuem a contratação de profissionais experientes e qualificados. Para além, ainda, na tentativa de reduzir custos, em alguns casos o próprio equipamento adquirido pelo comprador está fora de especificação ou sem margem de segurança, reduzindo o valor final da compra e conseqüentemente da confiabilidade operacional. Nestes casos, a segurança da equipe e do meio-ambiente fica seriamente comprometida.

Por fim, o fator humano contempla o tripé da confiabilidade. Nos tempos atuais não se pode falar em confiabilidade sem falar em fator humano. As condições físicas e psicológicas do trabalhador influenciam diretamente no resultado da tarefa executada.

Segundo Figueroa e Pimentel (2009) ao se analisar os procedimentos de manutenção, diversos fatores necessitam ser abordados e, dentre eles pode-se citar: quais os requisitos de conhecimento e habilidades presentes nos procedimentos são necessários para que o executor possa realizar a tarefa? Quais as informações que o executor necessita ao buscar a ajuda dos textos

técnicos? E como aperfeiçoar a partir da prescrição dos procedimentos, a melhoria do desempenho humano?

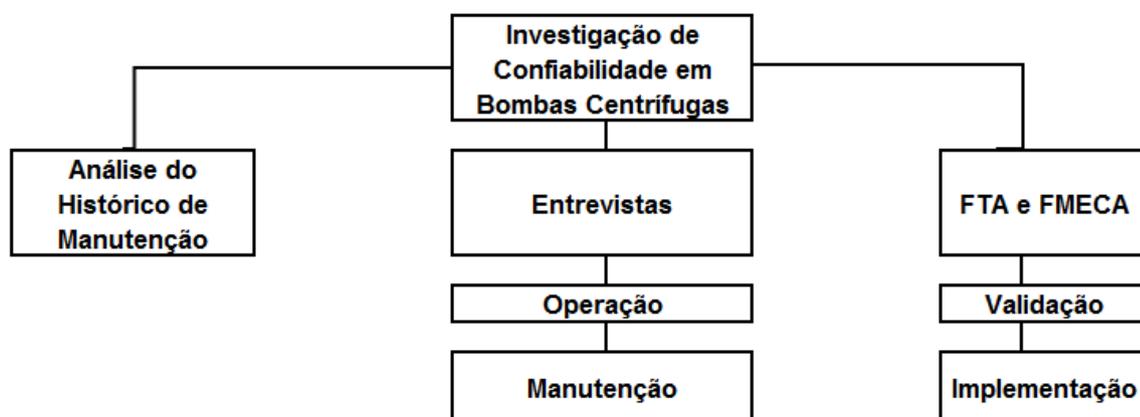
Neste sentido, a melhoria da confiabilidade dos ativos, segurança operacional e integridade de uma planta industrial dependem da análise do tripé: fator humano, tecnologia e organização.

## **5 METODOLOGIA**

Para realização da investigação o estudo foi elaborado em três etapas:

- a) Análise do Histórico de Manutenção;
- b) Entrevistas;
- c) Elaboração da FTA (Análise da Árvore de Falhas) e FMECA (Análise de Criticidade e Modo de Efeito de Falhas).

A Figura 1 a seguir mostra as etapas de investigação do estudo.

**Figura 1- Etapas da Investigação**

Fonte: Elaborado pelo Autor (2016)

As Etapas Primárias são:

1. Análise do Histórico de Manutenção

Esta etapa busca levantar o histórico de manutenção das bombas centrífugas que operam com ácido sulfúrico, a fim de conhecer o comportamento de cada uma delas, e o modo de falha. Acredita-se que os dados encontrados seriam fidedignos e coerentes com as informações coletadas em reuniões com a equipe técnica de campo, caso contrário, o histórico de manutenção seria desconsiderado no estudo, fato que veio a ocorrer.

## 2. Entrevistas

Foram selecionados 12 colaboradores (6 operadores e 6 técnicos de manutenção) para participarem da entrevista. O questionário contou com 7 perguntas, as quais transmitiu a visão dos entrevistados sobre a empresa. Vale ressaltar que, atendendo critérios de confidencialidade, os nomes dos colaboradores foram preservados conforme acordado com o gerente. As perguntas foram aprovadas previamente pelo gerente.

## 3. Elaboração da FTA e FMECA.

A FTA e a FMECA foram desenvolvidas a partir de informações do histórico de manutenção, das reuniões e das informações fornecidas em campo pela equipe técnica. Na FMECA a criticidade foi definida em reunião realizada com 2 operadores, 2 técnicos de manutenção e o coordenador do turno administrativo.

## **6 ESTUDO DE CASO**

O estudo foi elaborado em uma planta química localizada no Pólo Industrial de Camaçari. O período de coleta e análise de dados foi realizado de 10 de outubro de 2016 à 16 de dezembro de 2016. A investigação foi realizada nas etapas descritas a seguir:

1ª etapa: Análise do Histórico de Manutenção das Bombas Centrífugas

Após liberação assinada pelo gerente de manutenção e com a autorização do coordenador de manutenção foi garantido o acesso a alguns módulos do software de gestão da manutenção.

Ao buscar as informações, percebeu-se que muitos dados estavam sendo maquiados por falta de análise apropriada de causa raiz da falha. Como exemplo real, as falhas estavam ligadas a causas raízes errôneas devido a falta de estudo que permitisse avançar na descoberta real da causa raiz de uma determinada falha. Ao se fazer o estudo da causa raiz de uma falha, tem-se o objetivo de solucionar o problema de maneira que reduza ou elimine a possibilidade da mesma falha acontecer pelo mesmo motivo (mesma causa raiz). Não realizando um estudo aprofundado e técnico da falha, a mesma certamente voltará ocorrer em pouco tempo de operação da máquina, o que caracteriza o círculo vicioso da falha, levando a uma redução significativa do Tempo Médio Entre Falhas (MTBF).

Durante o levantamento e análise dos dados foi calculado um MTTR (Tempo Médio para Reparo) de 2 horas e 42 minutos, contudo este tempo não condizia com a realidade, já que, à informação no sistema por parte da manutenção ser muitas vezes colocada de forma descomprometida com os dados coletados. Outro aspecto que merece destaque é a falta de manuais e procedimentos operacionais. A empresa não mais dispunha dos manuais das máquinas com tempo de operação acima de 5 anos.

2ª etapa: Entrevistas - Foi entrevistado um total de 12 colaboradores da equipe técnica, sendo 06 Operadores e 06 Técnicos de Manutenção. As perguntas foram feitas aos 12 colaboradores, contudo foram selecionados 2 operadores e 2 técnicos em manutenção como parâmetro de análise dos dados coletados no questionário. A Tabela 1 a seguir mostra as perguntas efetuadas durante a entrevista.

**Quadro 1 – Entrevista - Perguntas realizadas**

Pior nível: 1 Melhor Nível: 10	Operador 1	Operador 2	Técnico de Manutenção 1	Técnico de Manutenção 2
Qual o nível de satisfação trabalhando nesta planta química?	8	6	7	5
Qual o nível de satisfação com a alimentação que a empresa fornece?	5	6	7	7
Qual o nível de satisfação do relacionamento com os líderes?	5	4	9	5
Qual o nível de segurança desta empresa?	4	3	5	5
Qual o nível de treinamento anual?	3	1	3	3
Qual o nível de relacionamento com os colegas de trabalho?	9	7	10	8
Qual o nível de disponibilidade das ferramentas para execução das tarefas?	8	7	9	8

Fonte: Elaborado pelo Autor (2016)

### 3ª etapa: Elaboração da FTA e da FMECA

A FTA e FMECA foram realizadas com informações fornecidas pela equipe de operação e de manutenção coletadas em questionamentos feitos em campo. As perguntas feitas e as respostas dadas pela equipe não puderam ser divulgadas devido à solicitação do coordenador de manutenção do turno administrativo. A elaboração da FTA e FMECA está disponível no **ANEXO A**.

#### 6.1 Analisando o Estudo de Caso

É surreal imaginar uma caldeira operando sem PSV (Pressure Safety Valve), assim como é inadmissível ver um técnico realizar a troca de um selo mecânico (elemento de vedação do equipamento giratório) sem o treinamento mínimo para tal. Embora os gestores estejam conscientes do grau de risco, esses cenários ainda são, infelizmente, encontrados nos tempos modernos da indústria brasileira.

O que foi verificado na planta química estudada foi uma série de tomada de decisão de emergência sem gestão eficaz tanto sob a máquina como sob o operador, sempre com o objetivo de manter a produção. De acordo com Ávila (2013) o risco operacional dinâmico inclui a análise de salvaguardas para evitar a perda de controle social e perigos humanos além dos perigos de produtos e processos. A existência de salvaguardas para riscos dinâmicos potenciais é fundamental, mas para tanto, é necessário tempo investido na análise dos processos, investimentos em sistemas de redundância, em camadas de contenções de perigos, estudo em fatores humanos, treinamento técnico do operador, e de gestão para o líder, entre outros.

Houve também uma constante variabilidade no humor dos líderes, e na forma de tratamento destes com seus subordinados, fato que contribuiu para a instabilidade do grupo, gerando momentos de tensão e, conseqüentemente, tarefas realizadas com baixo grau de qualidade. Isto pôde ser comprovado após medir qualitativamente e quantitativamente as tarefas durante trinta dias. Como referência, foi utilizado o Benchmarking encontrado dentre as filiais e matriz. Os dados desta medição não puderam ser expostos neste artigo, por motivos internos.

Como já mencionado no estudo de caso, inicialmente o FTA e o FMECA seriam criados a partir do histórico de manutenção, diálogo com a equipe técnica e observância das tarefas. No entanto, devido a dados históricos inconsistentes inseridos no software de gerenciamento, foi decidido descartá-los e trabalhar apenas com as demais informações.

Após analisar as FTA's geradas e a FMECA, confirmou-se que as causas raízes das falhas nas bombas foram devido a uma cultura de culpa presente nos níveis operacionais e difundido pelos níveis gerenciais, no qual o objetivo era a busca do culpado pela parada da máquina, e não a busca pela origem do problema, com a finalidade de se criar rotina de inspeção mais eficiente.

## 7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Como discutido por Ávila (2015) para investigar a falha sociotécnica, é importante quantificar a cultura, os tipos de comunicação e os fatores de desempenho antes de sua ocorrência. Isso leva a considerar não apenas o agente direto que causa o fracasso, mas quem o conduz, e que cultura o líder adquire através da política da empresa. Muitas empresas preferem contratar empregados com pouca ou nenhuma experiência, de modo a não contratar os vícios adquiridos juntos a eles. Mas não demora para que estes funcionários possa adquirir os vícios não positivos da empresa que o contratou. Isto leva mais uma vez a crença de que de fato o problema não está no profissional, e sim na empresa contratante, que perdura a manter costumes ultrapassados. Portanto, auditorias internas por empresas sérias e comprometidas são os principais contribuintes para a resolução deste problema.

Como Ávila (2012) destaca, a tarefa é considerada de natureza complexa, uma vez que o mesmo técnico, além de montar uma bomba industrial, deve prestar atenção à folha de dados da máquina para as condições de operação, além dos procedimentos informais.

A discussão sobre essas complexidades indica a necessidade de investigar a falha através da análise do discurso do operador (DO) e das variáveis de controle do processo e de produção do sistema. O mapeamento de eventos anormais (MEA) é um método desenvolvido por Ávila Filho (2013) e tem por objetivo identificar a região de causa raiz com base na informação de rotina. Ainda de acordo com Ávila (2013) entende-se que a informação contida no livro de turnos está fragmentada e precisa ser reordenada para indicar onexo causal real dos eventos. As lacunas são cobertas por eventos que foram adicionados em períodos posteriores ou mesmo por hipóteses baseadas no estudo do processo, incluindo cadeias de utilidade.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo propôs uma investigação da confiabilidade presente nas bombas centrífugas que operam com ácido sulfúrico em uma planta industrial, a fim de avaliar políticas e ações de melhoria com a finalidade de evitar ações que colocam em risco a segurança de processo e conseqüentemente, níveis baixos de confiabilidade. Mesmo não podendo contar com os dados de histórico de manutenção, vez que as informações não estavam confiáveis, as etapas de entrevistas e criação das ferramentas FTA e FMECA contribuíram significativamente para tomada de decisão mais rápida e assertiva no que diz respeito a solucionar a falha.

Foram propostas melhoria com a implantação de reuniões mensais conjuntas entre operação, manutenção e gerência, no qual qualquer nível de trabalhador poderia falar abertamente as suas necessidades, o seu ponto de vista sobre as políticas da empresa, sem se sentir pressionado ou constrangido. Para os líderes a diretoria forneceu treinamentos sobre liderança e gestão, no intuito de melhorar a relação interpessoal, o que conseqüentemente levou a uma maior transparência entre a equipe.

Após a implantação de melhorias (Dezembro/2016) até o momento não foi verificado nenhum incidente que envolvesse alguma das bombas centrífugas investigadas, e todo desvio de parâmetro está sendo inserido no software de gestão. Como as bombas que operam com ácido sulfúrico estão classificadas em nível 7 de criticidade (Níveis de 1 a 7), em toda falha é realizado um estudo de causa raiz aprofundado.

Foi constatada uma redução de 0,5 hora no MTTR (Tempo Médio para Reparo), o que caracteriza uma melhor eficiência da equipe de manutenção.

Como proposta de melhoria, está previsto daqui a 1 ano (dezembro de 2017) serem efetuados novos cálculos de confiabilidade nas bombas centrífugas, agora com parâmetros e dados confiáveis.

## 9 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462 Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994.

ÁVILA FILHO S. Review of Risk Analysis and Accident on the Routine Operations in the Oil Industry. Proceedings of 5th Latin American Conference on Process Safety – CCPS. Cartagena de Indias, 2013.

ÁVILA FILHO S. Failure Analysis in Complex Processes. Proceedings of 19th Brazilian Chemical Engineering Congress – COBEQ. Búzios, 2012.

ÁVILA FILHO S. Reliability analysis for socio-technical system, case propene pumping. *Engineering Failure Analysis* 56 (2015) 177–184.

BORELLI, Elizabeth, *Sustentabilidade e Riscos Ambientais na Indústria Química*, PUC/SP, 2011.

FIGUEROA FILHO, Celso L. *Curso Confiabilidade Humana: Foco na elaboração de padrões e procedimentos*. AREMAS - Reliability Engineering Solutions, in press, 2010.

HANSEN, Robert C. (2002). *Eficiência Global dos Equipamentos: uma poderosa ferramenta de Produção/Manutenção para aumento dos lucros*. ISBN 0-8311-3138-1.

MACINTYRE, Archibald Joseph. *Bombas e instalações de bombeamento*. 2ª.ed. rev. LTC. Rio de Janeiro – RJ, 2011.

MAGALHÃES, Leticia, FRANCISCO DE OLIVEIRA, Martim, *A Indústria Química e o Setor de Fertilizantes*, 2010.

MAIDA, F.G. *A Confiabilidade Humana em Unidades de Processamento de Refinarias de Petróleo*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1996.

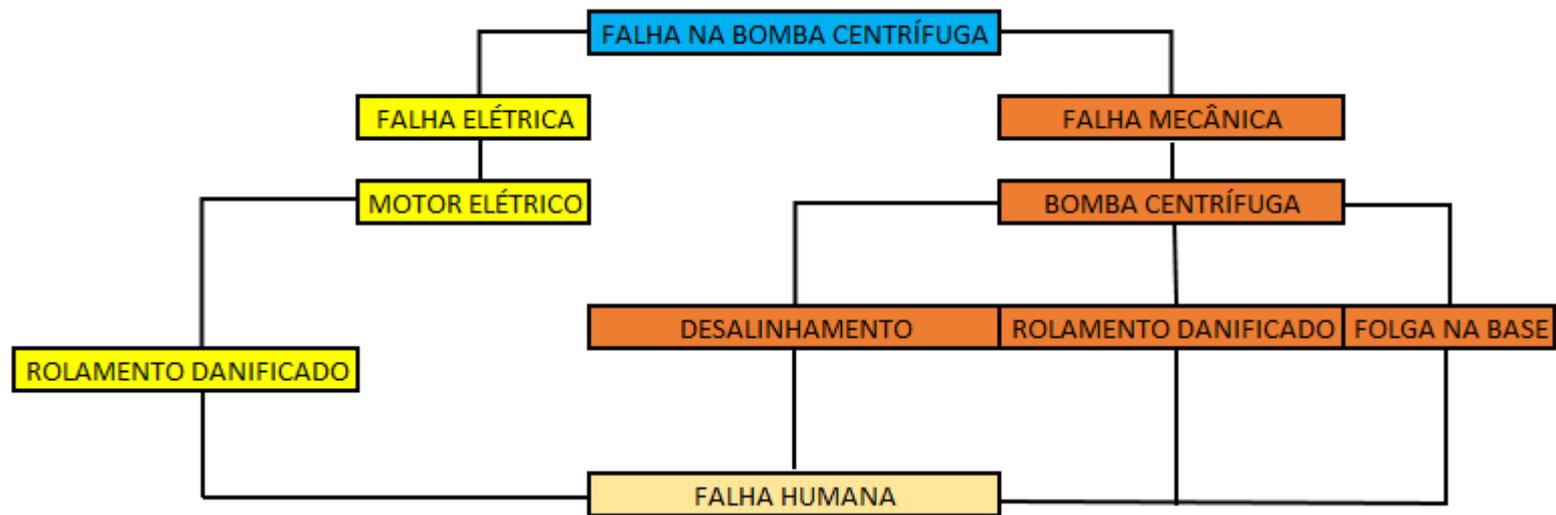
MOUBRAY, John. *Reliability-centered maintenance*. 2a edition, 1997.

PIMENTEL, Cesar, FIGUEIRÔA, Celso, Confiabilidade humana aplicada ao reparo de bombas centrífugas, ABRAMAN, Recife, 2009.

QUELES, André de Freitas; ALMEIDA, Dagoberto Alves; FERREIRA, João Roberto Ferreira; Programas de manutenção: a metodologia da manutenção centrada em confiabilidade e os desafios da demuneração por parcela variável no setor eletroenergético brasileiro; ENEGEP, XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 09 a 11 de outubro de 2007.

## ANEXOS A

FTA (Análise da Árvore de Falha)



## FMECA (Análise de Criticidade e Modo de Efeito de Falhas)

NOME DO COMPONENTE	MODO DE FALHA	EFEITO	CAUSA	CRITICIDADE	FREQUÊNCIA (ocorrência)	DIFICULDADE (detecção)	TOTAL	TIPO DE AÇÃO
Bomba Centrífuga 1A	Vibração elevada	Quebra dos componentes	Desalinhamento	3	3	3	27	Inspeção Instrumentada
			Desbalanceamento do rotor	1	1	1	1	Inspeção Instrumentada
			Desgaste do rolamento	7	1	7	49	Inspeção Instrumentada
	Temperatura alta	Fundição de materiais, causando o trancamento da bomba	Excesso ou falta de lubrificação	7	1	1	7	Inspeção visual/instrumentada
			Cavitação	7	7	1	49	Inspeção Instrumentada
	Ruído elevado	Quebra dos componentes	Folga nos mancais	1	1	1	1	Inspeção Instrumentada
			Rolamento trincado	7	1	1	7	Inspeção Instrumentada
			Folga nos mancais	7	3	1	21	Inspeção Instrumentada

### Critérios para Criticidade x Ocorrência x Detecção

Criticidade	Significado	Segurança	Meio ambiente	Perdas de produção	Custos diretos e indiretos de reparo
1	Baixo	Nenhum acidente	Nenhum dano	0%	Abaixo de R\$ 20.000,00
3	Mmedio	Acidentes sem afastamentos	Danos ambientais internos as instalações	Entre 0% e 30%	Entre R\$ 20.000,00 e R\$ 50.000,00
5	Alto	Acidentes com afastamento	Danos ambientais externos reparaveis	Entre 30% e 70%	Entre R\$ 50.000,00 e R\$ 70.000,00
7	Muito alto	Morte	Danos ambientais externos catastroficos	Acima 70%	Acima de R\$ 70.000,00

Ocorrência	Significado	Frequência
1	Baixa	1 falha / ano
3	Média	1 falha / semestre
5	Alta	1 falha / mês
7	Muito Alta	1 falha / semana

Detecção	Significado	Detecção da causa
1	Alta detecção	Causa facilmente percebida
3	Média detecção	Causa apresenta certa dificuldade de detecção
5	Baixa detecção	Causa apresenta alta dificuldade de detecção
7	Muito baixa detecção	Causa quase impossivel de se detectar