

LAYNA DEZUANI ANDRADE

**INVESTIGAÇÃO DE CAUSAS RAIZ DE FALHA EM
UMA CENTRÍFUGA DE UMA INDÚSTRIA DE
PROCESSAMENTO DE ALIMENTOS**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

2020

LAYNA DEZUANI ANDRADE

**INVESTIGAÇÃO DE CAUSAS RAIZ DE FALHA EM UMA
CENTRÍFUGA DE UMA INDÚSTRIA DE PROCESSAMENTO DE
ALIMENTOS**

Trabalho de conclusão de curso a ser apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Mecânica na Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de **ENGENHEIRA MECÂNICA**.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Zuquete Guarato.

UBERLÂNDIA

2020

LAYNA DEZUANI ANDRADE

Trabalho de conclusão de curso a ser apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Mecânica na Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para obtenção do título de **ENGENHEIRA MECÂNICA**

Data de aprovação: ____ / ____ / ____

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Alexandre Zuquete Guarato
Universidade Federal de Uberlândia – Orientador

Prof. Dr. Fernando Lourenço de Souza
Universidade Federal de Uberlândia

Dr. André Garcia Cunha Filho
Universidade Federal de Uberlândia

Dedico este trabalho aos meus pais Gisela e Luis André, que sempre confiaram em mim e acreditaram no meu potencial.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao universo e amigos de luz por terem me sustentado para chegar até aqui. Agradeço ainda aos meus pais pelo amor e apoio incondicional, sempre convictos de que eu conseguiria. Às minhas irmãs Gídyan e Luisa, a todo tempo dispostas a me ouvir e incentivar, minhas amigas e companheiras de vida. À toda minha família e amigos que foram extremamente importantes nessa caminhada, cada um com sua maneira de me amar e apoiar, orgulhosos das minhas conquistas e cúmplices dos meus esforços. Agradeço à Gildo Vieira da Cunha Neto, meu companheiro de vida, por toda a paciência e amor dedicados a mim todos os dias. Aos professores exemplares e colegas que tive o prazer de conviver e que acrescentaram em mim muito do que sou hoje. Agradeço ao meu orientador Alexandre Zuquete pela confiança e paciência, a faculdade de Engenharia Mecânica FEMEC e principalmente a Universidade Federal de Uberlândia UFU pela oportunidade de conviver e aprender em uma das melhores Universidades do país.

RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo de caso de falha catastrófica de uma centrífuga lavadora de óleo em uma indústria de produção e processamento de alimentos, utilizando como base a investigação feita com o método RCA (Root Cause Analysis) e as causas raiz que foram extraídas. Primeiramente é apresentada uma revisão bibliográfica sobre Segurança de Processos, resumindo os principais pilares que sustentam o tema, e enfatizando os elementos de Integridade de Ativos e Investigações de Incidentes que serão mais utilizados ao longo deste trabalho. Posteriormente é desenvolvido o tema Desempenho Humano relacionado à atuação de funcionários nas organizações, envolvendo ainda o contexto de segurança de processos.

Na sequência, para embasar o estudo o evento é contextualizado de maneira simples e objetiva para melhorar o entendimento da situação e dos principais parâmetros que serão avaliados. A metodologia utilizada na investigação é então apresentada e discutida para que seja possível a análise por completo dos desdobramentos e suas causas raiz.

Nos resultados e discussões as causas raiz encontradas na investigação são problemas mecânicos no anel de bloqueio da centrífuga; operação da mesma com água ácida com problemas de controle de dosagem de ácido e falta de processo estruturado na empresa para gerenciamento de investigação de falhas. Essas causas são analisadas sobre as perspectivas do elemento integridade de ativos que está dentro do macro tema segurança de processos, e ainda sobre o tema desempenho humano dentro de uma organização.

Fica evidente nessa análise que ainda que existam deficiências na gestão da integridade do ativo analisado, se fosse considerado o tema de desempenho humano a falha ainda poderia ter sido prevista e conseqüentemente atenuada ou evitada.

Por fim, o trabalho é concluído citando as demais possibilidades de melhorias tanto no âmbito da segurança do processo quanto no desempenho dos indivíduos, para que incidentes como o apresentado possam ser cada vez mais evitados.

Palavras chaves: falha catastrófica, centrífuga, segurança de processos, integridade de ativos, investigação de incidentes, RCA, causa raiz, desempenho humano, processamento de alimentos.

ABSTRACT

This work presents the case study of catastrophic failure of an oil washer centrifuge in a food production and processing industry in the city of Uberlândia, using as a basis an investigation carried out using the RCA method (Root Cause Analysis) and as root causes that have been extracted. Firstly, a bibliographic review on Process Safety is presented, which summarizes the main pillars that support the theme, and emphasizes the elements of Asset Integrity and Incident Investigations that will be most used throughout this work. Subsequently, the subject Human Performance related to the performance of employees in associations is developed, also involving the context of process safety.

Then, to support the study, the event is contextualized in a simple and objective way to improve the understanding of the situation and the main parameters adopted. The methodology used in the investigation is then presented and discussed so that it is possible to have a complete analysis of the developments and their root causes.

In the results and discussions, the root causes found in the investigation are mechanical problems in the locking ring of the centrifuge; its operation with acidic water and issues related to the acid dosage control and lack of structured process in the company to manage failure investigation. These causes are analyzed on the perspectives of the asset integrity element that is within the macro theme of process safety, and also on the human performance theme within an organization.

It is evident from this analysis that even though there are deficiencies in the integrity management of the analyzed asset, if the subject of human performance were considered, the failure could still have been anticipated and consequently mitigated or avoided.

Finally, the work is concluded by mentioning the other possibilities for improvements both in the scope of process safety and in the performance of individuals, so that incidents such as the one presented can be increasingly avoided.

Keywords: catastrophic failure, centrifuge, process safety, asset integrity, incident investigation, RCA, root cause, human performance, food processing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pilares da gestão de segurança de processo baseada em risco.....	15
Figura 2 – Fluxograma de Investigação de Incidentes	23
Figura 3 – Níveis de Análise da Investigação de Incidentes	24
Figura 4 – Diagrama de Ishikawa.....	27
Figura 5 – Processo do método PDCA e seus ciclos Planejar, Executar, Verificar e Agir.....	29
Figura 6 – Operador abrindo válvula manual.....	33
Figura 7 – Localização de três níveis de desempenho dentro de um 'espaço de atividade' definido pelo modo dominante de controle de ação e a natureza da situação local.....	34
Figura 8 – Fluxograma de processo simplificado.....	39
Figura 9 – Momento da explosão que o operador estava observando a centrífuga 1 ..	39
Figura 10 – Momento após a explosão com partes da centrífuga 2 projetadas pela sala de controle.....	40
Figura 11 – Janelas da sala de controle quebradas após serem atingidas com partes da centrífuga 2.....	40
Figura 12 – Momento após a explosão da centrífuga 2.....	41
Figura 13 – Registro dos parâmetros antes e após a explosão da centrífuga 2.....	44
Figura 14 – Árvore de Análise de Causa Raiz do evento.....	47
Figura 15 – Vista detalhada das partes do eixo da centrífuga.....	50
Figura 16 – Destacado anel 14 na parte superior da centrífuga 2.....	51
Figura 17 – Vista superior do anel 14 de bloqueio.....	52
Figura 18 – Detalhes da superfície do anel 14 de bloqueio.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Princípios de Segurança de Processo para Prevenção de Acidentes e Elementos de RBPS Relacionados.....	18
Tabela 2 – Causas raiz relacionadas.....	45
Tabela 3 – Causas raiz e seus respectivos planos de ação.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS

ACA - *Apparent Cause Analysis*, Análise de Causa Aparente

CCPS - *Center for Chemical Process Safety*, Centro de Segurança de Processos Químicos

FMEA - *Failure Modes and Effects Analysis*, Análise de Modo e Efeitos de Falhas

KB - *Knowledge-based*, Baseado em Conhecimento

MOC - *Management of Change*, Gerenciamento de Mudanças

PDCA - *Plan, Do, Check e Act*, Planejamento, Execução, Verificação e Atuar/Agir

PH - *Potential of Hydrogen*, Potencial de Hidrogênio

RB - *Rules-based*, Baseado em Regras

RBPS - Segurança de Processo Baseada em Risco

RCA - *Root Cause Analysis*, Análise de Causa raiz

SB - *Skill-based*, Baseado em habilidade

TK - *Tank*, Tanque

6M - Método, Máquina, Medida, Meio Ambiente, Mão-de-Obra, Material

Sumário

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO.....	12
CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1. Gestão de segurança de processo.....	14
2.1.1. Integridade e confiabilidade de ativos.....	19
a) Características essenciais.....	20
b) Métricas do elemento.....	21
2.1.2. Investigação de incidentes.....	22
a) Características essenciais.....	25
b) Análise de causa raiz (rca).....	26
c) Formas para aprimorar a eficiência do elemento.....	31
d) Métricas do elemento.....	31
2.2. Desempenho humano.....	32
2.2.1. Fatores humanos.....	33
2.2.2. O impacto dos fatores humanos.....	33
2.2.3. Os três níveis de desempenho.....	34
2.2.4. A visão do erro humano.....	35
2.2.5. Incorporando fatores humanos na investigação de incidentes do processo.....	36
2.2.6. Fatores humanos durante a análise de causa raiz.....	37
CAPÍTULO III - ESTUDO DE CASO.....	38
3.1. Contextualização do evento	38

3.2. Investigação.....	42
3.2.1. Informações da centrífuga 2.....	42
3.2.2. Registro de parâmetros da centrífuga 2.....	43
3.2.3. Rca (root cause analysis) do evento.....	44
a) Planos de ação.....	48
CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	50
4.1. Motivo central do evento.....	50
4.2. Causas relacionadas à integridade de ativos.....	53
4.3. Causas relacionadas ao desempenho humano.....	55
CAPÍTULO V - CONCLUSÕES.....	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Uma revisão objetiva da história industrial do mundo revela um histórico pontuado com raros incidentes trágicos quando comparado ao número de indústrias que existem em funcionamento no mundo, porém eles ainda acontecem com frequência. Invariavelmente, na sequência de tais tragédias, empresas, indústrias e governos trabalham juntos para aprender as causas. Seu objetivo final é implementar o conhecimento adquirido por meio das investigações diligentes, que por sua vez podem ajudar a prevenir a recorrência ou mitigar consequências (CCPS, 2014). Este trabalho tem o objetivo de alertar e expandir a visão de incidentes relacionados a segurança do processo e a respeito da abordagem do desempenho humano, direcionando de forma mais assertiva as causas raiz dos eventos.

Este trabalho visa ainda analisar um evento de falha catastrófica em um equipamento dentro de uma fábrica, por meio de diversas abordagens que estão conectadas e direcionam para uma melhor visibilidade e resolução da situação. Serão analisados vários conceitos e estudos, para posterior aplicação na situação ocorrida.

O evento aqui estudado teve desdobramentos e consequências sérias, que poderiam ter causado até mesmo ferimentos graves nos trabalhadores. Essas consequências levaram a investigação a encontrar propostas de causas específicas. Essas causas podem estar relacionadas diretamente com a integridade do equipamento, mas também podem se relacionar com o nível de desempenho humano dos funcionários envolvidos na situação e no evento em si.

A base para esse estudo foi a pesquisa bibliográfica feita no próximo capítulo. Com ela é possível conceituar e embasar os dados levantados para analisá-los corretamente. Também foi utilizada a metodologia de Análise de Causas Raiz ou RCA (Root Causes Analysis) (CCPS, 2003), para executar a investigação e averiguar o ocorrido, os desdobramentos e direcionar assim o encontro das verdadeiras causas, ou causas raiz.

Foi possível ainda analisar a investigação com base nos temas de integridade de ativos e desempenho humano, fazendo uma abordagem de correlação entre os assuntos, tornando os resultados ainda mais assertivos.

No decorrer deste trabalho o leitor encontrará a revisão bibliográfica, posteriormente estará disponível o estudo de caso, contendo a contextualização do evento e a investigação realizada. Os resultados e discussões que foram feitos a respeito do que foi abordado anteriormente. E, por fim, a conclusão do trabalho contendo ainda o que poderia ser melhorado e incrementado no assunto citado.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Gestão de segurança de processo

Há muitos anos estão em vigor em algumas empresas as práticas de segurança de processos e os sistemas formais de gestão desse tema. É notório que essa gestão auxilia na redução do risco de acidentes graves e conseqüentemente na melhoria do desempenho da indústria. Através de determinações governamentais, principalmente na Europa, foram ainda mais disseminadas a implantação do sistema de gestão de segurança de processo (CCPS, 2014).

Porém, após essa primeira onda na Europa de inserção do sistema de gestão de segurança de processo nas indústrias, essas atividades aparentam ter desacelerado atualmente em algumas companhias (CCPS, 2014). No entanto, investigações de incidentes ainda apontam a gestão inadequada do sistema de segurança de processo como uma das principais causas que contribuíram para o incidente. Além de auditorias que revelam históricos de inconformidades recorrentes relacionadas à segurança do processo, que muitas vezes indicam problemas crônicos que só serão tratados em sua causa raiz caso esse sistema de gestão esteja ativo.

Para que essa desaceleração das atividades não gere uma estagnação e perda de foco em segurança de processo, o Centro para Segurança de Processos Químicos (CCPS) criou a estrutura da nova geração dessa gestão – Segurança de Processo Baseada em Risco (RBPS) (CCPS, 2014).

O objetivo dessas diretrizes de RBPS é auxiliar as organizações a implementar sistemas mais efetivos de gestão de segurança de processo. Essas diretrizes englobam os seguintes temas:

- Como projetar um sistema de segurança de processo;
- Corrigir um sistema já existente e
- Melhorar as práticas de gestão.

Essa abordagem garante ainda que o mais apropriado é alocar recursos concentrando as ações nos maiores perigos e nos riscos mais altos. Essa nova estrutura integra lições aprendidas ao longo dos anos, aplica os princípios do sistema de gestão de “Planejar, Fazer, Verificar e Agir” (JUNIOR., SILVA., 2013), e os organiza de uma maneira que serão úteis para todas as empresas.

O sistema de gestão de RBPS na Figura 1, se baseia de quatro principais pilares de prevenção de acidentes, são eles:

Figura 1 – Pilares da gestão de segurança de processo baseada em risco.



Fonte: Docplayer, 2018.

- Comprometimento com a segurança de processo:** o comprometimento é o pilar principal e insubstituível. A instalação deve focar em desenvolver e sustentar uma cultura que incorpore a segurança de processo. Toda a organização deve ter um comprometimento robusto, incentivado principalmente através da liderança fortemente comprometida. Quando o trabalhador está convencido de que sua liderança é comprometida com a segurança como um valor, ele então fará seu trabalho da maneira mais segura, até mesmo quando estiver sem supervisão. Este comportamento, então, deve ser reconhecido e cultivado por toda a organização e inclusive seus gestores. Uma vez que ele esteja incluído na cultura da empresa, esse comprometimento

o manterá focado diariamente em suas tarefas buscando sempre atender os aspectos técnicos de segurança do processo. Para que esse pilar esteja completo a empresa deve ainda identificar, compreender e cumprir com as leis, normas e regulamentos que são aplicáveis a ela. Além disso, a competência organizacional deve ser estabelecida e continuamente melhorada, assegurando que seja disponibilizada informação adequada a todos que precisarem dela e que tudo que for aprendido seja aplicado de maneira coerente. Por fim, quando a força de trabalho é encorajada por um sistema que permite e incentiva a participação ativa da empresa e dos trabalhadores terceiros, eles estão cientes das oportunidades que possuem para contribuir com a implantação e melhoria da cultura do sistema de RBPS.

- **Compreensão dos perigos e riscos:** para entender os perigos e riscos as empresas devem se empenhar em recolher, documentar, catalogar, disponibilizar e gerir informações da segurança de seu processo através de conjuntos específicos de dados que são normalmente registrados em papel ou em formato eletrônico. Todas essas informações precisam estar precisas e compreensíveis, armazenadas em um local que facilite sua recuperação e acessíveis a todos os funcionários que necessitam delas. As organizações devem ainda realizar estudos de identificação dos perigos e análises de riscos dos processos, para certificar que os riscos aos funcionários, ao público, ou ao ambiente estejam sistematicamente controlados dentro da tolerância da organização. Em casos específicos, o objetivo é realizar a análise de risco somente para se chegar à conclusão desejada, evitando que aconteça uma análise insuficiente ou um gasto desnecessário de recursos com um estudo muito aprofundado. Essas avaliações normalmente necessitam de informações pré-estabelecidas e ao mesmo tempo é possível mantê-las atualizadas e completas. As empresas que entendem os perigos e riscos são capazes de alocar recursos de maneira mais efetiva para as áreas e tarefas que mais demandam. Os aprendizados com a indústria demonstram que quando se utiliza as informações dos riscos para planejar, desenvolver e implantar operações de baixo risco sólidas, maiores serão as chances de êxito no futuro.
- **Gestão de riscos:** dentro da gestão de riscos existem três temas:

- **Operar e manter com providência os processos que oferecem riscos;** Para fazer isso a empresa deve desenvolver procedimentos escritos que abordam a maneira e as técnicas necessárias para a execução dos trabalhos de forma segura e disponibilizar instruções para quando os funcionários se depararem com situações anormais ou perigosas no processo. Implementar um conjunto integrado de práticas de trabalho seguro, como permissões e políticas específicas, para controlar a manutenção e demais trabalhos não rotineiros. Realizar inspeções rotineiras para certificar-se de que os equipamentos estão em conformidade com as especificações e adequados para o serviço. Deve ainda gerenciar as empresas contratadas, avaliando o trabalho realizado por elas para garantir que não sejam expostas a riscos desconhecidos e não controlados. Conduzir atividades como treinamentos para garantir que os funcionários em todos os níveis da organização tenham um desempenho humano confiável e adequado.
- **Gerenciar mudanças nos processos para assegurar que o risco permaneça controlável;** esse elemento ajuda a empresa a garantir que essas mudanças não introduzirão novos riscos ou aumentarão os riscos de perigos existentes de maneira inconsciente. Inclui um processo de análise e autorização, para avaliar as mudanças propostas. O armazenamento desses dados normalmente é feito em uma plataforma adequada para posterior gerenciamento das informações, ações e prazos. O elemento contribui ainda para que as unidades e pessoas que operam o processo estejam devidamente informadas e preparadas para as inicializações relativas a todas as condições de desligamentos.
- **Preparar-se para agir e gerenciar quando os incidentes ocorrem;** para efetivação desse último elemento é necessário manter um alto nível de desempenho humano para que os funcionários obtenham as instruções corretas acerca de eventos inesperados e que haja um plano específico para gerenciar e preparar todos para o acontecimento de situações emergenciais.
- **Aprender com a experiência:** consiste em acompanhar e atuar sobre informações externas e internas de incidentes relacionados a segurança de processo. Nem sempre as empresas agem da melhor maneira no

momento desses acontecimentos, por isso é de suma importância que elas saibam transformar seus equívocos, e os de outros, em oportunidades de aprendizados. É necessário investigar os incidentes que ocorrem nas instalações para identificar, abordar e gerenciar as causas raiz; aplicar lições aprendidas externas dentro da empresa; avaliar o desempenho para melhora contínua de áreas com alto risco; e promover auditorias do próprio sistema de gestão de RBPS para avaliar onde se encontram as maiores deficiências. As melhores maneiras de aprender são:

- Fazer o melhor uso dos recursos disponíveis, aplicando nas ações mais direcionadas;
- Corrigir as deficiências internas que foram mostradas através dos incidentes ou “quase acidentes”;
- Absorver lições aprendidas de outras organizações e trocar frequentemente essas informações. Além disso, a empresa deve estabelecer uma cultura que valorize essas informações, sempre relembando e aplicando-as também no futuro.

Concentrar-se nesses quatro pilares faz com que a empresa reduza a frequência e a gravidade de seus incidentes, melhorando a eficácia da segurança de processo (CCPS, 2014). A abordagem baseada em risco aqui citada colabora para evitar lacunas e inconsistências que podem gerar falhas no sistema. Na Tabela 1 conteúdo esquemático dos quatro pilares citados:

Tabela 1 – Princípios de Segurança de Processo para Prevenção de Acidentes e Elementos de RBPS Relacionados.

Tabela 2.1 Princípios de Segurança de Processo para Prevenção de Acidentes e Elementos de RBPS Relacionados	
Pilares e Pontos Centrais para a Prevenção de Acidentes da Segurança de Processo	Elementos da Segurança de Processo Baseada em Risco
<i>Comprometimento com a Segurança de Processo</i>	
*Garantir o envolvimento da gestão e o fornecimento do ambiente apropriado e dos recursos adequados. *Garantir o envolvimento dos funcionários. *Demonstrar comprometimento com as partes interessadas.	*Cultura de Segurança de Processo. *Conformidade com as Normas. *Competência de Segurança de Processo. *Envolvimento da força de trabalho. *Sensibilização das partes interessadas.
<i>Compreender os Riscos e os Perigos</i>	

*Saber o que você está operando. *Identificar os meios para reduzir ou eliminar os riscos. *Identificar os meios de reduzir o risco. *Compreender o risco residual.	*Conhecimento da Gestão do Processo. *Identificação dos Perigos e Análise dos Riscos.
<i>Gestão de Risco</i>	
*Saber como operar os processos. *Saber como manter os processos. *Controlar as mudanças nos processos. *Preparar para responder e gerir os incidentes.	*Procedimentos Operacionais. *Práticas Seguras de Trabalho. *Integridade de Ativos e Confiabilidade. *Gestão do Empreiteiro. *Garantia do Treinamento e do Desempenho. *Gestão de Mudanças. *Aptidão Operacional. *Realização das Operações. *Gestão de Emergência
<i>Aprender a partir da experiência</i>	
*Monitorar e agir sobre as fontes internas de informação. *Monitorar as fontes externas de informação.	*Investigação de Incidentes. *Medida e Métricas. *Auditoria. *Análise da Gestão e Melhoria Contínua.

Fonte: CCPS, 2014.

2.1.1. Integridade de Ativos e Confiabilidade

Dentro do terceiro pilar 'Gestão de riscos' existem outros nove sub pilares, aqui será enfatizado o sub pilar: Integridade de Ativos e Confiabilidade. Esse elemento do RBPS envolve os ativos presentes na empresa, como equipamentos e máquinas. O elemento consiste na implantação sistemática de atividades como testes e inspeções para garantir que o ativo se encontra em situação de alta confiabilidade, ou seja, está adequado para o uso que foi destinado. Através dele a empresa irá garantir que o equipamento está instalado de acordo com as especificações corretas do fabricante, está projetado de maneira adequada e permanece em condições ideais para o uso até ser reformado. Dessa maneira será possível prevenir falhas e liberações catastróficas de produto ou energia e garantir o correto funcionamento dos sistemas de segurança que envolvem esses ativos para evitar eventos desse tipo.

As atividades que competem a integridade de ativos ocorrem em diversos níveis organizacionais, envolvendo desde especialistas, operadores, engenheiros, time de manutenção e empresas contratadas. São focadas em manutenção preventiva, testes, inspeções, atividades de reparo até rondas de rotina que podem detectar vazamentos, barulhos, odores anormais e outras condições atípicas. Para

sustentar essas atividades são necessários procedimentos e treinamentos que são repassados com qualidade e frequência correta aos funcionários.

Os produtos desse trabalho incluem relatórios; resultados das tarefas realizadas como: inspeções e testes de manutenção; ajustes e reparos dos equipamentos por pessoal treinado utilizando-se dos procedimentos e instruções por escrito; um sistema que controla e auxilia na gestão do trabalho do time de manutenção; e um programa de garantia de qualidade que ajude a prevenir falhas.

O objetivo básico desse elemento é ajudar a garantir o desempenho confiável do ativo, para que caso ocorra uma liberação inesperada de materiais perigosos ou de energia, ele esteja devidamente projetado para conter, prevenir ou amenizar esse evento. Apesar de que para a execução correta das atividades desse elemento necessita-se de um alto nível de desempenho humano dos trabalhadores, o produto do trabalho final considerando o desempenho humano juntamente com a gestão adequada desse elemento é a operação confiável e previsível do equipamento.

a) Características essenciais

A experiência mostra (CCPS, 2014) que as mesmas condições que levam às operações confiabilidade e segurança, levam também a uma alta disponibilidade dos ativos da fábrica, assim como a outros benefícios relacionados a eles.

A organização deve estabelecer uma política do programa por escrito, que governe o elemento de integridade de ativos, definindo seu escopo, os papéis a nível organizacional e designar as responsabilidades. Essa política deve conter também os padrões para treinamento e estruturação dos procedimentos relacionados ao elemento, definir as bases técnicas, padrões e normas que são utilizados para desenvolver os planos de manutenção preventiva para os diversos tipos de ativos usados na fábrica e ainda descrever o sistema de gestão que ajuda a garantir que as irregularidades dos equipamentos sejam corretamente reportadas e geridas e que os equipamentos estejam instalados e mantidos de acordo com as especificações do fabricante.

O grau de rigor que deve ser aplicado nas atividades de trabalho específicas que sustentam esse elemento depende de cada tipo de instalação e áreas de

processo, e deve ser adaptado para manter-se sincronizado com a cultura local. É necessário gerir adequadamente o risco e para isso são selecionadas as atividades de trabalho que se encaixam descritas nessa seção. Essa seleção não abrange necessariamente todas as indústrias e por isso cada uma poderá adicionar e modificar algumas das atividades listadas. Para dividir por ordem de priorização cada atividade a ser implantada é preciso determinar o nível de rigor exigido, se são atividades capazes de controlar altos níveis de perigo, então deverão ser priorizadas.

Para melhorar a eficácia das atividades de trabalho relacionadas ao elemento da integridade de ativos, existem métodos que melhoram o desempenho e métodos que melhoram a eficiência da atividade mantendo o nível de desempenho necessário e utilizando menos recursos. Dentro desses métodos estão inseridas estratégias de priorização de equipamentos, diretrizes específicas de manutenção preventiva para cada tipo, exigências de teste e inspeções para cada tipo de equipamento, exigências de certificações e modelos para procedimento para cada tipo de teste, padrões de garantia de qualidade para cada tipo de equipamento e protocolo de auditoria para tarefas específicas relacionadas a esse elemento.

b) Métricas do elemento

Existem métricas que podem ser usadas para monitorar o desempenho do elemento da integridade de ativos. Exibir em um gráfico simples o desempenho das instalações em relação ao total de implantação de práticas ou programas específicos do elemento, é uma maneira direta de abordar o tema em reuniões de equipes de gestão e ao mesmo tempo incentivar o apoio e interesse desse nível organizacional. Outros exemplos práticos de métricas são: Número de itens de equipamentos incluídos no programa de integridade de ativos; Número de tarefas de manutenção preventiva atrasadas; Número de ordens de trabalho de reparo ainda não planejadas por mês; Número total de reparos adiados; Número de tarefas de manutenção preventiva que revelaram uma falha; entre outros.

Para a manutenção da gestão desse sub pilar, primeiramente deve-se entender se o sistema que está sendo revisado está produzindo os resultados desejados. Se o nível de organização do elemento for menor do que o esperado e satisfatório para a fábrica ou não estiver em processo de melhoria. Então essa gestão

deve identificar imediatamente possíveis ações corretivas e adotá-las. Mesmo se os resultados forem satisfatórios, essa análise pode colaborar para determinar se os recursos empregados estão sendo usados da maneira adequada e se existem oportunidades de melhoria dentro das tarefas já determinadas. Essa gestão pode combinar resultados de auditorias, observações pessoais e as métricas citadas anteriormente.

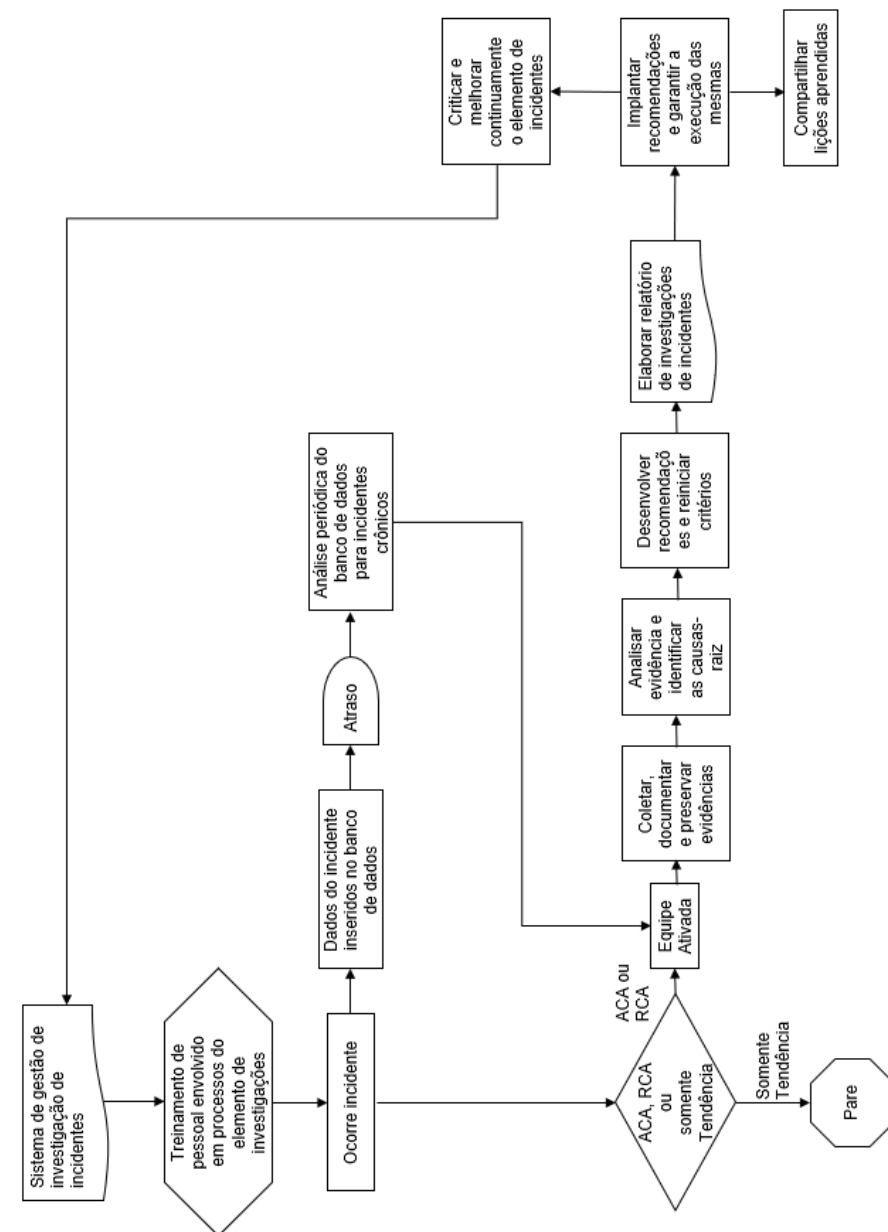
Para a manutenção de uma operação segura, um equipamento seguro, juntamente com o desempenho humano confiável, são condições estritamente necessárias que ajudam a gerenciar os riscos. A análise de gestão desse elemento deve examinar a fundo a qualidade das atividades de trabalho que o sustentam. Assim como a falta de um incidente de segurança de processo catastrófico nos últimos 10 anos não é necessariamente uma informação precisa de que não ocorrerá também no próximo ano, a ausência de falha catastrófica de um equipamento não significa que ele não necessite da implementação do elemento integridade de ativos.

2.1.2 Investigação de Incidentes

Dentro do quarto e último pilar, 'Aprender com a experiência', existem outros quatro sub pilares e aqui será focado o sub pilar: Investigação de Incidentes. Esse elemento traz a necessidade de desenvolver, fazer a manutenção e reforçar a competência da investigação de incidentes de uma organização. A investigação de incidentes deve incluir um processo formal para investigar os incidentes incluindo pessoas, execução, documentação e acompanhamento das investigações; a tendência de ocorrência dos incidentes e todos os dados possíveis para o reconhecimento de incidentes recorrentes. A abordagem mais eficaz aqui relatada é desenvolver ações e recomendações que abordem as causas sistêmicas atribuídas aos incidentes, ao invés de atribuir culpa ao pessoal envolvido.

A investigação de incidentes é importante para que a organização aprenda com os incidentes que ocorrem ao longo de sua vida e ao mesmo tempo para comunicar e compartilhar esse aprendizado com seus funcionários e demais partes interessadas, Figura 2:

Figura 2 – Fluxograma de Investigação de Incidentes.

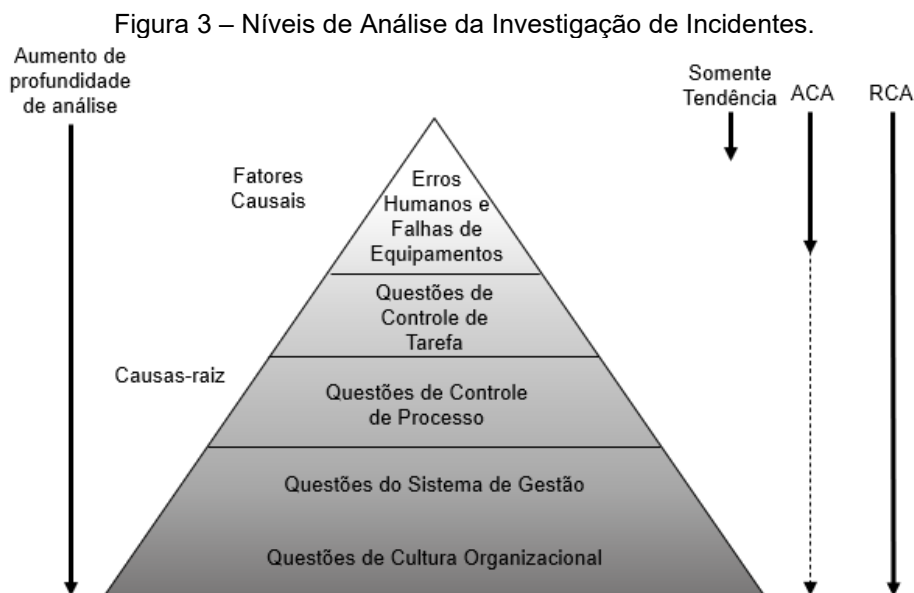


Fonte: CCPS, 2014.

Investigações minuciosas podem fornecer informações e aprendizados sobre a implantação dos elementos de RBPS. Ao identificar e tratar as causas-raiz relacionadas a falhas de equipamentos ou erros de pessoas, soluções podem ser desenvolvidas a partir dessas informações que reduzirão a frequência de ocorrência e as consequências dessa categoria de eventos.

Essas investigações devem ser realizadas não muito distantes do momento de ocorrência do incidente e no local que aconteceu. Normalmente a equipe de investigação vai até o local do acontecimento e recolhe entrevistas e informações específicas de forma mais eficiente através das pessoas envolvidas. Posteriormente

a empresa decide qual metodologia usará: investigação formal de análises de causa-raiz (Root Cause Analysis -RCAs); (CCPS, 2003) investigação menos formal de análises da causa aparente (Apparent Cause Analysis -ACAs) ou ainda analisam a tendência dos dados de incidentes sem nenhuma investigação imediata. A Figura 3 mostra a relação entre esses distintos níveis de análise.



Fonte: CCPS, 2014.

O pessoal que possui treinamento em investigação de incidentes ou técnicas de RCA, normalmente executam e lideram essas investigações, acompanhados de uma equipe multidisciplinar apropriada. A exigência do número de participantes de acordo com o nível organizacional depende das consequências que o evento gerou, quanto mais graves envolvendo ferimentos significativos em pessoas, maior é o nível de envolvimento da companhia.

Os principais resultados de um sistema de investigação de incidentes são: a aquisição de dados básicos de ocorrência do evento, para todos os incidentes registrados, incluindo aqueles eventos de menores consequências e riscos; relatórios de análises quando são usadas RCAs e ACAs; identificação das causas-raiz do incidente investigado; e formulação de recomendações ou planos de ação adequados que sejam executadas de acordo com as lições aprendidas para redução das chances de ocorrer situações semelhantes. Esses resultados devem ser documentados em formulário padrão da companhia e utilizados para melhorar os outros elementos de RBPS.

a) Características essenciais

O elemento de incidentes é vital para o aprendizado das empresas. Sem esse programa de investigação elas normalmente sofrem com repetidas falhas pois outros mecanismos de feedbacks não são suficientes para identificar planos de ação eficazes e direcionados. O risco relacionado ao incidente é um fator importante para determinar o nível de esforço e recursos que serão despendidos para a investigação. Para cada tipo de risco analisa-se as consequências potenciais do evento combinadas com a frequência esperada de recorrência do mesmo. As investigações de incidentes são executadas quando um acidente com grandes consequências reais ou potenciais ocorre e quando uma análise de dados indica um grande risco de um grupo de incidentes acontecer de forma frequente, mas com menor gravidade.

A cultura da empresa tem uma grande influência sobre a eficácia do processo de investigação. Como normalmente a equipe de investigação é multidisciplinar contendo principalmente funcionários da operação envolvidos no incidente e na área analisada, muitas vezes esses funcionários não se dedicam o tempo suficiente para contribuir com a investigação pois sentem a necessidade de voltar o quanto antes para a operação, a fim de não deixar o seu trabalho parado ou atrasado. Essa postura deve ser combatida principalmente pela gerência que deve apoiar o investimento de tempo dos operadores nas investigações para que a equipe consiga escavar profundamente as causas subsequentes e sistêmicas do incidente. Porém, muitas vezes os próprios gerentes são resistentes à completa participação desses funcionários nas investigações pois ficam receosos de que a equipe descobrirá fraquezas no sistema de gestão da empresa. Como resultado desse impasse, essas empresas experimentam resultados insatisfatórios a respeito das investigações que não são feitas de maneira aprofundada deixando de identificar e corrigir as causas-raiz dos eventos.

Para desenvolver o sistema de gestão do elemento de incidentes a empresa deve manter uma comunicação de incidentes e prática de investigação confiáveis, executando o programa de forma coerente em toda a empresa, definindo um escopo adequado para esse elemento, envolvendo pessoal competente principalmente quando a investigação requer maior nível de especialização e monitorando as práticas de investigação de incidentes para garantir a sua eficácia. A empresa deve ainda identificar potenciais incidentes para investigação através do monitoramento de todas

as fontes de possíveis incidentes, assegurar que todos os incidentes sejam relatados e iniciar as investigações imediatamente após o acontecimento do evento.

É de fundamental importância nesse elemento que a empresa utilize de técnicas direcionadas para investigar os incidentes, através da coleta de dados apropriados durante a investigação e utilizar métodos eficazes para essa coleta. Além disso a empresa deve interagir com o elemento de gestão de emergência, usufruir de técnicas adequadas para a análise desses dados coletados, investigar as causas com a profundidade adequada para cada nível de risco dos eventos exigindo rigor técnico no processo de investigação, disponibilizar ferramentas apropriadas e pessoas com experiência para a execução da investigação e desenvolver ao final recomendações eficazes que ataquem as causas-raiz dos eventos.

É necessário a documentação dos resultados da investigação de incidentes por meio de relatórios de investigação de incidentes esquemáticos, concisos e direcionados. Estabelecer uma clara conexão entre causas e recomendações facilitará para o leitor do relatório compreender o acontecido e permitirá à gerência avaliar a eficácia e validade da investigação.

Por último a empresa necessita acompanhar os resultados das investigações a fim de deliberar e decidir sobre as recomendações, estar ciente das ações que são requeridas para mitigação das causas-raiz e considerar que a maioria das recomendações mais significativas costumam se concentrar em soluções de longo prazo. É importante que haja a comunicação dos resultados da investigação internamente e externamente à organização e manter os registros das investigações. O registro de dados de tendência para identificar a repetição de incidentes que justificam uma investigação, direciona o olhar através de investigações realizadas por diferentes pessoas para identificar tópicos comuns subjacentes entre os incidentes, para isso, é importante então registrar todos os incidentes relatados e analisar suas tendências.

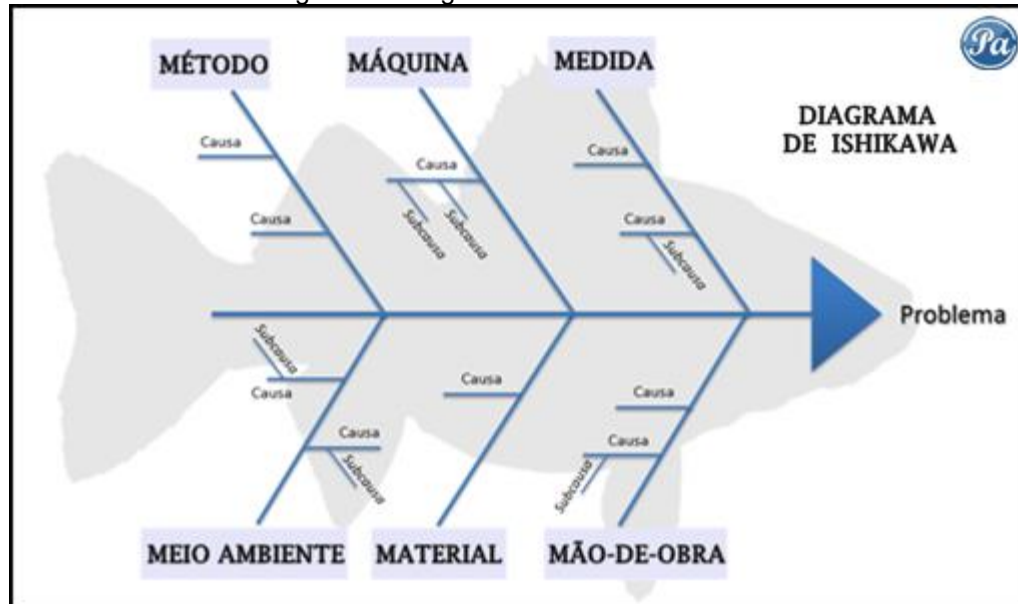
b) Análise de Causas-raiz (RCA)

As metodologias de investigação para incidentes de segurança de processo evoluíram ao longo do tempo, tornando-se mais sistemáticas, objetivas e científicas. Conteúdos relacionados ao controle de qualidade e engenharia reconhecem os

princípios da análise de causa raiz, até porque algumas ferramentas de segurança de processos para a análise de causa raiz foram retiradas dos mesmos. Várias ferramentas podem ser usadas antes de iniciar a análise da causa raiz, incluindo o desenvolvimento de diagrama de sequência, cronograma, método científico utilizando-se uma árvore predefinida ou identificação do fator causal.

A ferramenta amplamente utilizada e que deu origem a outras ferramentas que as tomaram como base, é o Diagrama de Ishikawa também conhecido como diagrama de causa e efeito ou espinha de peixe. O nome Ishikawa tem origem no criador da metodologia: Kaoru Ishikawa, que desenvolveu essa ferramenta através de um principal foco: instigar as pessoas a pensarem sobre causas e motivos que fazem com que um problema aconteça. Para montar o Diagrama de Ishikawa, é necessário reunir as pessoas em um time para que seja realizado um debate de ideias, de forma a levantar as causas raízes que originam o problema. A composição do Diagrama de Ishikawa leva em consideração que as causas do problemas podem ser classificadas em 6 tipos diferentes de causas principais que afetam os processos: Método, Máquina, Medida, Meio Ambiente, Material, Mão-de-Obra.

Figura 4 – Diagrama de Ishikawa.



Fonte: Portal Administração, 2012.

Existem 4 passos para se fazer um Diagrama de Ishikawa. O primeiro é definir o problema de forma objetiva e em termos de qualidade que possa ser mensurável. O segundo é criar a espinha de peixe e marcar o problema que será analisado: Fazer um traço na horizontal e marcar a direita deste traço o problema que foi definido, em perpendicular a este traço, aplique os 6Ms. O terceiro passo é reunir a equipe para debater sobre o problema levantado considerando a estrutura feita. É interessante a participação de um time diversificado e com diferentes perspectivas que agregam valor neste momento. O quarto e último passo é analisar as causas e os fatores atrelados a estas, planejando posteriormente ações, com responsáveis e prazos definidos, que irão propor soluções para as causas encontradas, eliminando assim o problema.

O Diagrama de Ishikawa é uma ferramenta que pode ser adotada para aumentar o nível de compreensão das pessoas envolvidas, esse aumento do nível de compreensão irá afetar nas decisões tomadas para as soluções de problemas, visto que através da compreensão é possível detalhar as causas dos problemas até chegar numa causa raiz.

Existem ainda outras ferramentas de engenharia que permitem investigar e propor soluções para eventos, entre elas a PDCA (em inglês: Plan, Do, Check e Act ou em português: Planejamento, Execução, Verificação e Atuar/Agir) e FMEA (em inglês: Failure Modes and Effects Analysis, ou em português: Análise dos Modos e Efeitos das falhas).

A ferramenta PDCA (Plan, Do, Check, Action) é um método gerencial de tomada de decisões para garantir o alcance das metas necessárias à sobrevivência de uma organização. O conceito do método de melhorias PDCA (Plan, Do, Check, Action) encontra-se atualmente largamente difundido em escala mundial, usualmente é como um método de gerenciamento de processos ou sistemas, utilizado pela maioria com o objetivo de Gerenciamento de Rotina e Melhoria Contínua dos Processos, (WERKEMA, 1995).

Para a execução completa do ciclo PDCA, as seguintes etapas devem ser seguidas: Planejamento consiste em estabelecer metas e o método para alcançar as metas. Execução é executar as tarefas exatamente como foi previsto na etapa de planejamento e coletar dados que serão utilizados na próxima etapa de verificação

do processo. Verificação significa a partir dos dados coletados na execução, comparar o resultado alcançado com a meta planejada. Atuação Corretiva baseia-se em atuar no processo em função dos resultados obtidos (BORGES., BRUNO., VALE., 2017).

Figura 5 – Processo do método PDCA e seus ciclos Planejar, Executar, Verificar e Agir.



Fonte: Ciclo PDCA/Sandro Cantidio.2009.

Já o método FMEA visa analisar de modo qualitativo, conhecendo as falhas que são possíveis de acontecer e listando os efeitos que podem ser gerados por essas falhas mais críticas. Por fim, de acordo com essas falhas propor ações de melhorias que aumentem a confiabilidade do mesmo. Essa análise abrange todo o processo, desde projeto, processo produtivo e também a utilização do produto que foi analisado.

De modo resumido a FMEA é composta pelas seguintes etapas: Identificação do escopo da situação/ problema; Definição do sistema que será avaliado; Identificação dos modos de falha já conhecidos e os modos potenciais; Identificação dos efeitos que cada modo de falha pode causar e suas gravidades; Identificação das causas que podem ter gerado esses modos de falha e sua probabilidade de ocorrência; Identificação dos meios de detectar esses modos de falha e sua probabilidade de serem detectados e por fim; Avaliar o potencial de risco de cada um desses modos de falha, definindo logo em seguida medidas para sua mitigação ou eliminação. A aplicação dessa ferramenta pode ser feita principalmente por meio de

tabelas que relacionam todas essas variáveis para fazer de forma conjunta uma análise mais completa.

Embora existam diferenças entre várias ferramentas de investigação, o método básico para realizar uma análise de causa raiz usando os modelos de árvores é semelhante. As seguintes etapas básicas se aplicam: Primeira etapa, é necessário identificar os vários fatores causais do incidente ocorrido. Na segunda etapa, deve-se analisar o primeiro fator causal, começando no topo da árvore predefinida e trabalhando nos galhos que se desenvolvem a partir desse fator causal, até onde os fatos permitirem. Se a categoria de um determinado ramo parece ser uma causa apropriada do incidente, é dada a sequência para esse ramo até níveis sucessivamente mais baixos e até que uma subcategoria seja identificada como causa raiz apropriada. Observação: em algumas circunstâncias, os fatos podem não permitir que as causas raízes sejam identificadas sem investigação adicional.

A terceira etapa consiste em considerar todos os ramos e sub-ramos pois um fator causal individual pode ter mais de uma causa raiz. Na quarta etapa, à medida que cada ramo é considerado, o investigador deve perguntar se há outras causas raiz associadas a essa categoria que não estão listadas na árvore. A equipe deve questionar a todos os participantes se existem outras causas que alguém reconheceu, mas ainda não foram identificadas na árvore.

Na quinta etapa a equipe repete os procedimentos das etapas 2 até 4 para cada fator. A sexta etapa se dá então quando todas as causas raízes foram identificadas na árvore, nesse momento o investigador deve fazer o teste de garantia questionando novamente o 'porque' de cada uma das causas raiz encontradas. Se ainda for possível identificar uma nova causa de nível inferior, esta causa identificada por último deve ser registrada como a causa raiz. Na sétima e última etapa finalmente, o investigador deve considerar outras causas genéricas de incidentes que não são identificados pelas categorias de árvore predefinidas. Por exemplo, considerar o histórico de operação da planta, já que outros incidentes podem indicar falhas repetitivas que por sua vez, podem acusar problemas genéricos do sistema de gestão.

Árvores predefinidas são relativamente fáceis de usar e geralmente requerem menos treinamento e esforço para conduzir a análise de causa raiz.

c) Formas para aprimorar a eficiência do elemento

Integrar as investigações de saúde, segurança, meio ambiente, confiabilidade, qualidade e segurança de serviço ao cliente é uma forma eficaz de tratar várias consequências de um evento que pode ter a mesma causa-raiz, utilizando-se de software para gerenciar as informações geradas nas investigações e adotando um método de investigação ou software comercialmente disponível.

Comunicar e investigar os quase acidentes é uma maneira vital para as empresas que adotam a meta de zero acidentes, esses eventos proporcionam oportunidades de baixo custo e impacto para descobrir as fraquezas do sistema de gestão antes mesmo que ocorram os desastres.

Utilizar um método-padrão para estimar as possíveis consequências e custos de um incidente como ferramentas em formato de planilha que avaliam e calculam estimativas coerentes de danos materiais, interrupção de negócios, limpeza ambiental e outros custos, que sejam coerentes com as demais utilizadas como insumos para decisões de negócios.

Utilizar ainda o programa para investigar incidentes que tiveram inesperadamente resultados positivos, por exemplo um projeto que foi concluído antes do prazo previsto, para que esse processo seja uma maneira eficaz de filtrar os aprendizados e repetir as experiências positivas.

d) Métricas do elemento

Podem ser utilizadas certas métricas de acompanhamento para melhorar o desenvolvimento desse sub pilar. Dentre elas estão manter relatórios de incidentes com causas repetidas, relatórios de perdas potenciais e reais de incidentes, de desempenho da instalação e de número de líderes de investigação qualificados. É possível ainda acompanhar indicadores como número de incidentes relatados por tempo de unidade, tempo médio para iniciar a investigação, esforço médio despendido por investigação, tempo médio para concluir os relatórios de investigação, tempo médio para resolver as recomendações, número de vezes em que os prazos das recomendações são revisados, número de lições aprendidas, entre outros.

Para que seja feita a análise da gestão desse elemento pode-se revisar uma lista dos grandes incidentes ocorridos na fábrica desde a última gestão, separar um grupo de relatórios de investigação de eventos similares e analisar se a equipe foi devidamente composta, se os líderes das investigações foram devidamente treinados, se a metodologia escolhida foi apropriada, se as causas identificadas e as recomendações propostas fazem sentido e os status das recomendações que foram abertas. Além de identificar oportunidades específicas de melhoria, um processo eficiente de análise da gestão ensina a liderança sobre a importância de comunicar os incidentes, investigá-los profundamente com a intenção de aprender desafiando assim o pensamento convencional.

2.2. Desempenho Humano

Pessoas participam diariamente do ambiente industrial, elas projetam, constroem, operam, mantêm, gerenciam e até defendem tecnologias de riscos. Portanto, não é de se surpreender que o desempenho humano tem um papel importante tanto na causa quanto na prevenção de incidentes organizacionais. Muitas empresas possuem o hábito de afirmar que o erro humano implica em grande porcentagem das causas de todos os acidentes graves. No entanto, sabe-se que esse tipo de afirmação não acrescenta no entendimento dos reais motivos e causas de acontecimentos dos incidentes.

Primeiramente, dificilmente o incidente aconteceria de outra forma, dado ao grande envolvimento humano em sistemas perigosos dentro das instalações. Em segundo lugar, o termo 'erro humano' generaliza os atos inseguros colocando-os agrupados em uma única categoria. Porém, os erros precisam ser tratados em sua particularidade, muitos possuem origens psicológicas diferentes, ocorrem em diferentes áreas do sistema e, portanto, requerem métodos distintos de gestão. Além disso, é necessário reconhecer que o comportamento das pessoas é muito mais restrito dentro desses sistemas perigosos do que é na vida cotidiana, já que existem controles administrativos, gerenciais e regulatórios que rigidamente governam os funcionários (REASON, 1997).

2.2.1. Fatores Humanos

No momento de realizar as investigações, a equipe vem descobrindo que um número crescente de causas raiz estão relacionadas a abordagem inadequada dos fatores humanos, ou ainda da relação homem-máquina (CCPS, 2003). O termo fatores humanos se refere à preocupação de adequar o sistema com as capacidades e limitações humanas. Quando acontece uma conexão incompatível entre essa relação é que geralmente resulta em incidentes repetidos. Existe uma grande oportunidade de melhoria do desempenho da gestão de segurança do processo quando se melhora em conjunto o desempenho e a confiabilidade humana. Embora os avanços tecnológicos estejam cada vez mais presentes nos processos, tornando-os altamente automatizados e complexos, essas instalações não funcionam sem a presença dos funcionários. Eles precisam intervir de maneira periódica ou até mesmo constante nas instalações para garantir seu funcionamento, como pode ser exemplificado na Figura 4.

Figura 6 – Operador abrindo válvula manual.



Fonte: IBV, 2020.

2.2.2. O impacto dos Fatores Humanos

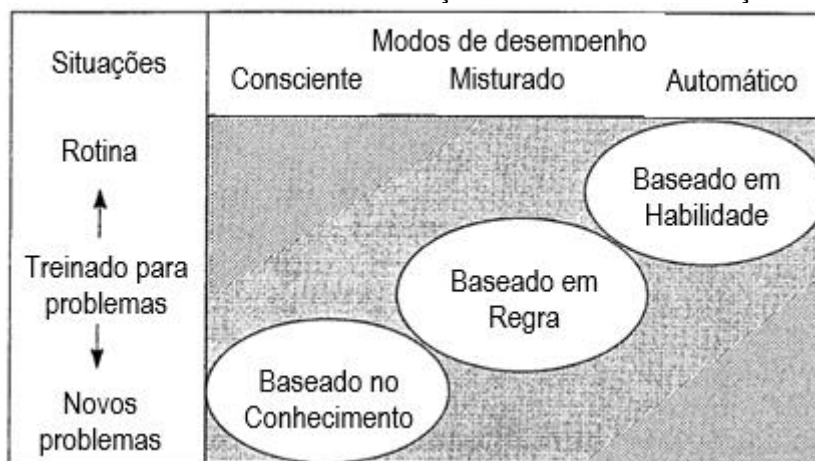
Seres humanos estão envolvidos em todos os aspectos do local de trabalho. Porém, historicamente, os investigadores de incidentes muitas vezes ignoraram ou não deram a devida atenção às contribuições do fator humano para a causalidade do incidente (CCPS, 2003). Problemas mecânicos, falhas, vazamentos e mau funcionamento de sistemas são muitas vezes identificados de imediato, no entanto encontra-se dificuldade ao tentar achar as verdadeiras causas desses ocorridos, sendo que a resposta muitas vezes está relacionada ao comportamento humano. Por exemplo, um vazamento pode ser óbvio de se identificar, mas o motivo desse

vazamento precisa envolver um exame mais rigoroso. A seleção do material pode não ter sido adequada, pode ter ocorrido alguma falha na inspeção da tubulação ou até mesmo a má supervisão nos procedimentos de manutenção, esses são alguns dos fatores que envolvem desempenho humano e podem ser grandes contribuintes para o evento.

2.2.3. Os três níveis de desempenho

A Figura 3 resume as principais diferenças entre os três níveis de desempenho humano, são eles: baseado em habilidade (SB), baseado em regras (RB) e baseado em conhecimento (KB). Esses níveis, introduzidos pela primeira vez por Jens Rasmussen, são distinguidos tanto pela variável situacional quanto por âmbito psicológico e definem um espaço em que podem ser mapeados.

Figura 7 – Localização de três níveis de desempenho dentro de um 'espaço de atividade' definido pelo modo dominante de controle de ação e a natureza da situação local.



Fonte: Modificado de Reason (1997).

Os humanos normalmente controlam suas ações por meio de combinações entre dois modos: o consciente e o automático. O primeiro é restrito em capacidade e mais lento, sujeito a erros, mas dotado de inteligência. Este normalmente é o modo que se usa quando está focando a atenção em algo, mas sabe-se que a atenção é um recurso limitado que impede o discernimento de mais de uma ação ao mesmo tempo. O modo automático de controle é o oposto, é muito rápido e opera em paralelo, permitindo fazer várias coisas ao mesmo tempo. Em grande parte desse modo age-se de forma inconsciente, sendo ele assim virtualmente ilimitado, é essencial para

lidar com recorrências do cotidiano, mas ele não é um solucionador de problemas gerais como a consciência.

Os três níveis de desempenho podem ser resumidos da seguinte maneira:

- No nível baseado em habilidade (SB) são realizadas tarefas rotineiras praticadas de maneira automática. Normalmente as pessoas são muito boas nas execuções das tarefas quando se encontram nesse nível.
- No nível baseado em regras (RB), percebe-se a necessidade de modificar o comportamento que já estava pré-programado devido a alguma mudança de situação. É chamado de baseado em regras porque são aplicadas regras memorizadas ou escritas, como por exemplo procedimentos. Ao aplicar essas regras as ações são operadas de forma a combinar os sintomas do problema com alguma estrutura de conhecimento armazenada, assim pode-se então usar o pensamento para verificar se a solução escolhida é ou não adequada.
- O nível baseado em conhecimento (KB) é atingido quando há falhas em encontrar a solução, e então recorre-se ao pensamento consciente considerado lento e difícil, entregando o aprendizado por tentativa e erro. Nesse nível frequentemente as pessoas se encontram em situações emergenciais e que esse modo não colabora para que elas façam as melhores escolhas. Deve-se enfatizar que esses três níveis de desempenho podem coexistir ao mesmo tempo. Compreender esses níveis ajuda a classificar as variedades de erros.

O erro humano está necessariamente associado quando o trabalhador se encontra principalmente no modo de desempenho baseado no conhecimento (KB) pois ele simplesmente não sabe o que fazer e normalmente testa possibilidades que vem em sua mente. Isso não significa que ele quer errar, muito pelo contrário a própria definição de erro é a ação não intencional que resulta em uma solução ruim.

2.2.4. A visão do erro humano

A visão antiga sobre o erro humano tratava a pessoa em sua individualidade, então se ela cometesse um erro era considerada a 'maçã podre do cesto' e por isso deveria ser descartada da companhia. Porém após vários estudos é possível entender que esses erros vêm como uma surpresa desagradável para o indivíduo,

são inesperados e não pertencem ao sistema ao qual ele está inserido, elas são introduzidas por meio de situações inseguras inerente às pessoas.

A base psicológica para essa nova visão se baseia em muitas pesquisas em ciências cognitivas e é chamada de “princípio de racionalidade local” (REASON, 1997). Esse princípio diz que as pessoas fazem o que faz sentido para elas naquele momento, ou seja, elas não vão trabalhar com a intenção de fazer um trabalho ruim. É claro que não deve existir uma generalização em relação aos princípios dos seres humanos, mas as pesquisas comprovam que a maioria das pessoas trabalham de forma bem-intencionada. A nova visão então não se pergunta quem é o responsável pelo erro, mas sim o que é responsável. O erro humano não é aceitável então para a conclusão de uma investigação, mas sim o ponto de início de uma investigação ainda mais aprofundada.

Após essa análise, é evidente que se deve analisar vários fatores motivacionais que levaram aquela pessoa a cometer aquele erro, já que ela não o fez de forma intencional. Os trabalhadores interagem com as instalações, equipamentos e sistemas de gestão todos os dias, os problemas de desempenho humano são normalmente o resultado dessas interações tão complexas. Para operação em condições normais, o operador pode lidar ainda com circunstâncias adicionais como carga mental elevada e pressão pelo tempo para prazos curtos. Durante emergências ou outras situações estressantes, onde cada tarefa mental é fortemente exigida, se encontram mais evidentes então as oportunidades para ocorrerem os erros.

2.2.5. Incorporando fatores humanos na investigação do incidente de processo

Conforme declarado anteriormente, os humanos estão envolvidos em todos os aspectos do local de trabalho. Além de gerenciar, projetar, operar e manter as instalações, estão inclusos também nos processos de investigação e aprendizagem. Assim, nutrir uma cultura aberta, atualizada e livre de culpas no desempenho humano, dentro de uma organização é essencial para o sucesso do processo de investigação de incidentes. A investigação deve se concentrar em compreender o que aconteceu, como aconteceu, por que aconteceu, o que pode ser feito para evitar que se repita e como esse risco pode ser reduzido.

Ações tomadas que culpam de alguma forma os funcionários, são destrutivas e não colaboram para evitar a ocorrência de incidentes semelhantes. É necessário promover um ambiente de confiança onde os funcionários sintam-se à vontade para discutir a evolução de um incidente, contribuindo com todas as informações possíveis, sem medo de serem julgados e repreendidos. Sem esse ambiente de apoio os envolvidos podem relutar em cooperar com as divulgações dos reais fatos ocorridos e a investigação pode ser concluída sem a identificação correta das causas raiz.

2.2.6. Fatores humanos durante a análise de causas raiz

Falha em seguir o procedimento estabelecido pode ser um ponto de parada comum em uma investigação, mas é dada como prematura já que não dá continuidade focando nos fatores humanos. Na maioria dos casos, há uma causa raiz subjacente que deve ser identificada e corrigida, o motivo que levou o funcionário a não seguir o procedimento sim é considerada a causa raiz. Por exemplo, se o funcionário deixou de seguir o procedimento por falta de treinamento ou então porque o procedimento estava incorreto, seriam então os motivadores que fizeram o funcionário não seguir o procedimento e conseqüentemente cometer um erro, ou seja, as causas raiz desse evento. Nesses casos, uma recomendação adequada é fornecer treinamento (ou atualização do treinamento) correto para garantir que os funcionários entendam como seguir aquele procedimento estabelecido. Ou então, revisar e atualizar o procedimento de acordo com a situação real de operação.

Quando são analisados os motivadores sistêmicos externos que levaram o indivíduo a cometer aquele erro, a possibilidade de chegar até a causa raiz correta em uma investigação cresce significativamente. E ao identificar a causa raiz é possível então desenvolver recomendações (ou planos de ação) direcionados para tratar essas causas, minimizando assim a possibilidade de repetição daquele evento.

CAPÍTULO III

ESTUDO DE CASO

3.1. Contextualização do evento

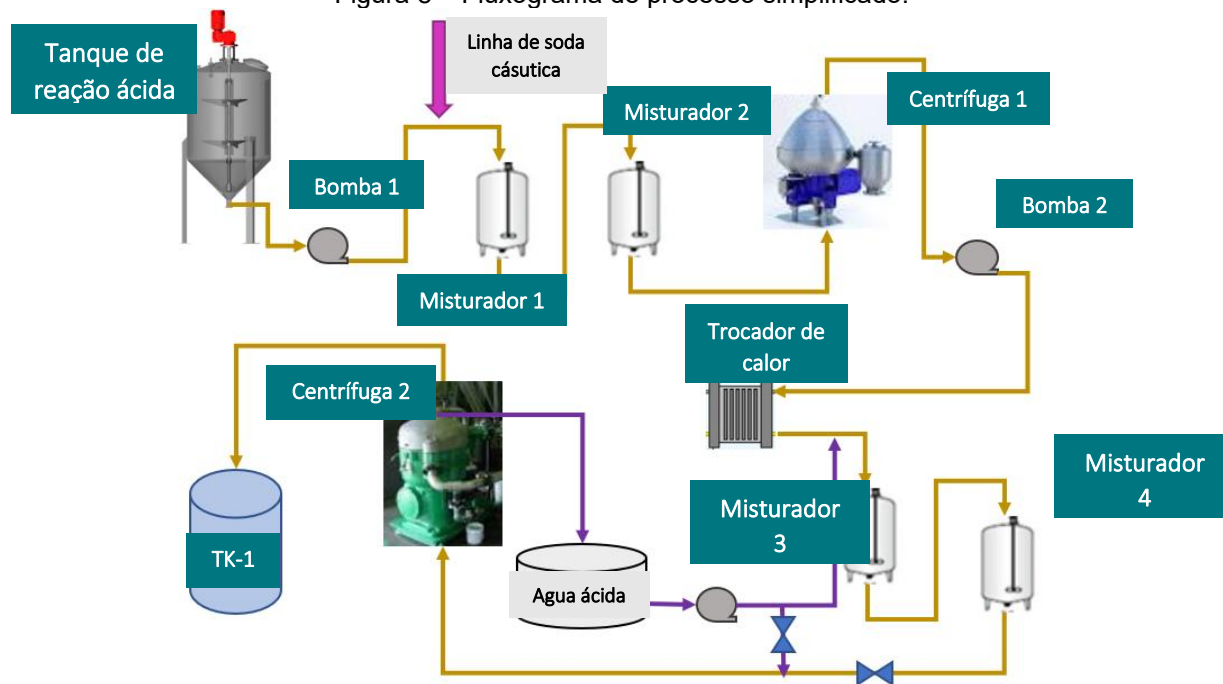
Na Figura 6 está representado o fluxo simplificado do processo que será abordado. Seguindo principalmente a linha de processo que está representada pela cor amarela, existe um tanque de reação ácida no início do processo. O óleo é bombeado pela bomba 1 desse tanque até o misturador 1 e depois para o misturador 2, passando em seguida pela centrífuga 1. Quando sai da centrífuga 1 esse óleo é bombeado pela bomba 2 até o trocador de calor. Do trocador de calor ele é direcionado para o misturador 3 e depois para o misturador 4. Após isso existe uma válvula de expansão que o direciona para a centrífuga 2. Depois de sair da centrífuga 2 o óleo é armazenado no tanque TK-1. A centrífuga 2 recebe um produto ácido que é direcionado através da linha de processo representada pela cor roxa para se juntar à tubulação representada pela cor amarela depois do trocador de calor, se integrando assim ao final do ciclo.

Este trabalho foca sua análise na centrífuga 2, que passou por falha catastrófica gerando uma auto explosão no momento em que o operador iniciou o processo de drenagem e limpeza da centrífuga.

Para iniciar o procedimento de descarga total na centrífuga 1, ou seja, o processo de autolimpeza, o operador desligou a bomba 1 de alimentação dessa centrífuga 1. Logo após, o operador acionou o comando “Teste de água” na centrífuga 1 e saiu da sala de controle para abrir a válvula manual da centrífuga 2. Essa válvula manual daria passagem para a água entrar na centrífuga 2 e prosseguir com a autolimpeza.

O operador então voltou para a sala de controle e observou que água estava saindo da fase pesada da centrífuga 1, o que de fato estava de acordo com o procedimento. Nesse momento, de acordo com o relato do operador não havia nenhum sinal de anormalidade com as centrífugas.

Figura 8 – Fluxograma de processo simplificado.



Fonte: Empresa privada, 2019.

Aproximadamente um minuto depois, quando o operador estava inclinado ao lado da centrífuga 1 observando o fluido de saída da mesma, conforme é apresentado na Figura 8, ele ouviu o som de ruptura da centrífuga 2. Ele relatou ter ouvido um barulho muito alto e imediatamente viu as pilhas de discos sendo jogadas ao redor da sala de controle onde ele estava. Ele observou ainda que havia muita fumaça na sala, faíscas e água no piso do local, devido à quebra de uma tubulação do sistema de irrigação.

Segundos depois desse ocorrido, o operador subiu para o andar superior, saiu pela porta e acionou a botoeira de emergência, parando assim todas as centrífugas do processo. As figuras 9 a 10 demonstram a falha ocorrida.

Figura 9 – Momento da explosão que o operador estava observando a centrífuga 1.



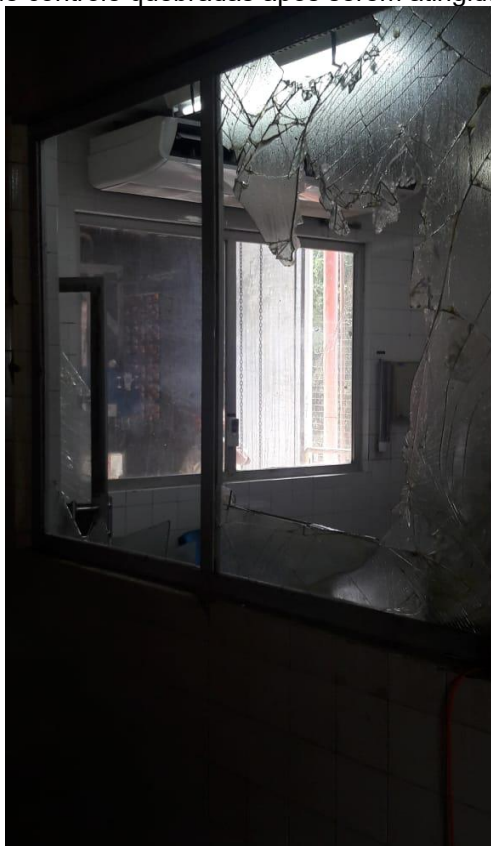
Fonte: Empresa privada, 2019.

Figura 10 – Momento após a explosão com partes da centrífuga 2 projetadas pela sala de controle.



Fonte: Empresa privada, 2019.

Figura 11 – Janelas da sala de controle quebradas após serem atingidas com partes da centrífuga 2.



Fonte: Empresa privada, 2019.

Figura 12 – Momento após a explosão da centrífuga 2.



Fonte: Empresa privada, 2019.

Os discos da centrífuga 2 que foram projetados ao redor da sala de controle pesavam em média 2 Kg cada. A parte do eixo axial juntamente com uma parte dos discos que ficaram fixos pesavam aproximadamente 100 Kg e as tubulações que se encontravam dentro e fora da centrífuga pesavam em média 10 Kg. Essas partes foram projetadas em altíssima velocidade e a maioria atingiu as extremidades da sala, ou seja, só pararam porque havia uma parede ou equipamento para detê-las.

Por sorte o funcionário que estava na sala de controle não foi atingido por nenhuma dessas partes da centrífuga 2 pois, ele foi coincidentemente protegido se posicionando atrás da centrífuga 1. Felizmente na sala de controle ao lado, onde os discos da centrífuga 2 se projetaram, quebraram as janelas e entraram na sala, conforme mostra a Figura 11, não havia operadores no momento da explosão. Ou seja, nenhum funcionário foi atingido e ferido.

Esse ocorrido foi considerado como evento com potencial de causar ferimentos graves ou fatalidade, que é classificado como uma das piores categorias para um evento de segurança ocupacional. Este foi considerado um evento de alto dano material, nas instalações e equipamentos, com um gasto de reparação aproximado de 500 mil reais. Ele também foi classificado como evento de segurança de processo de alto nível, pois houve sérios danos materiais e possibilidade de danos pessoais também.

3.2. Investigação

3.2.1. Informações da centrífuga 2

A centrífuga 2, modelo de empresa terceirizada do ano de 1973, fazia parte do sistema de lavagem do óleo com água ácida. Esse ativo foi instalado originalmente em outra unidade da empresa, em uma cidade do estado de São Paulo em 1973 e transferido para Uberlândia por volta de 1998. Desde a inicialização da centrífuga 2 ela sempre foi utilizada no mesmo processo para o mesmo fim, lavagem do óleo.

Inicialmente o equipamento operava com um ácido específico que será chamado de ácido A1. Mas a partir de meados de 2007 até o começo de 2018 ela operou com um outro ácido que será chamado de ácido A2. Após o começo de 2018, a centrífuga 2 voltou a operar com o ácido A1.

A última manutenção externa realizada na centrífuga foi registrada por uma empresa terceirizada E1 em 2013 e depois por outra empresa E2 em 2016. No entanto, ambas empresas afirmaram não ter mais os documentos arquivados do que foi realizado nas manutenções que foram feitas. Nos demais registros feitos pela organização foram encontrados um orçamento feito em 2016 com a empresa E1 para reforma completa da centrífuga 2, e um pagamento contábil feito para essa mesma empresa no valor aproximado ao do orçamento. Dentro do orçamento citado, existem registros de algumas peças que seriam trocadas caso fosse feito o trabalho, dentre elas o anel de fechamento da centrífuga 2 que seria substituído por outra peça não original.

Analisando ainda o histórico de manutenção interna da centrífuga 2, foram encontrados registros no sistema interno de problemas com os níveis de vibração da centrífuga no final de 2015. A centrífuga 2 foi então desmontada para ser enviada à manutenção externa no começo de 2016, e retornou para a fábrica aproximadamente dois meses depois para remontagem. Após esse episódio ela continuou apresentando o mesmo problema e após várias intervenções do time de manutenção interno, a centrífuga 2 foi novamente desmontada em novembro de 2016, enviada para manutenção externa e remontada em janeiro de 2017 na instalação. Após esse último retorno não há mais registros de problemas com o equipamento.

Sobre os dados históricos de gerenciamento de mudanças (MOC), existe um documento aberto em abril de 2016 para registrar um inter travamento de vibração da centrífuga 2, pois ela apresentou valores de vibração acima do estipulado pelo fabricante mesmo após a realização de uma revisão geral. Porém, logo em seguida, esse MOC foi cancelado pois os parâmetros de vibração da máquina voltaram aos limites normais após manutenção. Em julho de 2018 foi aberto outro MOC para registrar a remoção de teflon do transmissor de vibração da centrífuga 2 pois o mesmo estava quebrado. Nesse caso o teflon foi descartado e o transmissor foi conectado direto à máquina pois o teflon não era original do fabricante. O valor médio de vibração da máquina era de 1,2 mm/s, desde a alteração feita a vibração da máquina aumentou para 2,0 mm/s. Essa mudança não causou grandes preocupações pois esse valor foi considerado dentro dos padrões normais de operação que eram de 1 – 2,8 mm/s.

Em outubro de 2019 foi realizada inspeção de todas as centrífugas da área por um funcionário e inspetor da própria empresa. A inspeção visual foi considerada normal e as vibrações das centrífugas foram medidas e consideradas dentro dos padrões de normalidade. Em seguida, em novembro de 2019 foi realizada outra rota de inspeção também por um funcionário e inspetor da própria empresa. Dessa vez, a inspeção visual foi considerada normal e a vibração da centrífuga 2 não foi medida.

Comparando os níveis de vibração da centrífuga 2 registrados na inspeção de outubro de 2019 e no sistema interno dias antes do incidente, foi validado que os valores estavam muito próximos de 1,4 mm/s. Em dezembro de 2019 a centrífuga 2 falhou catastróficamente.

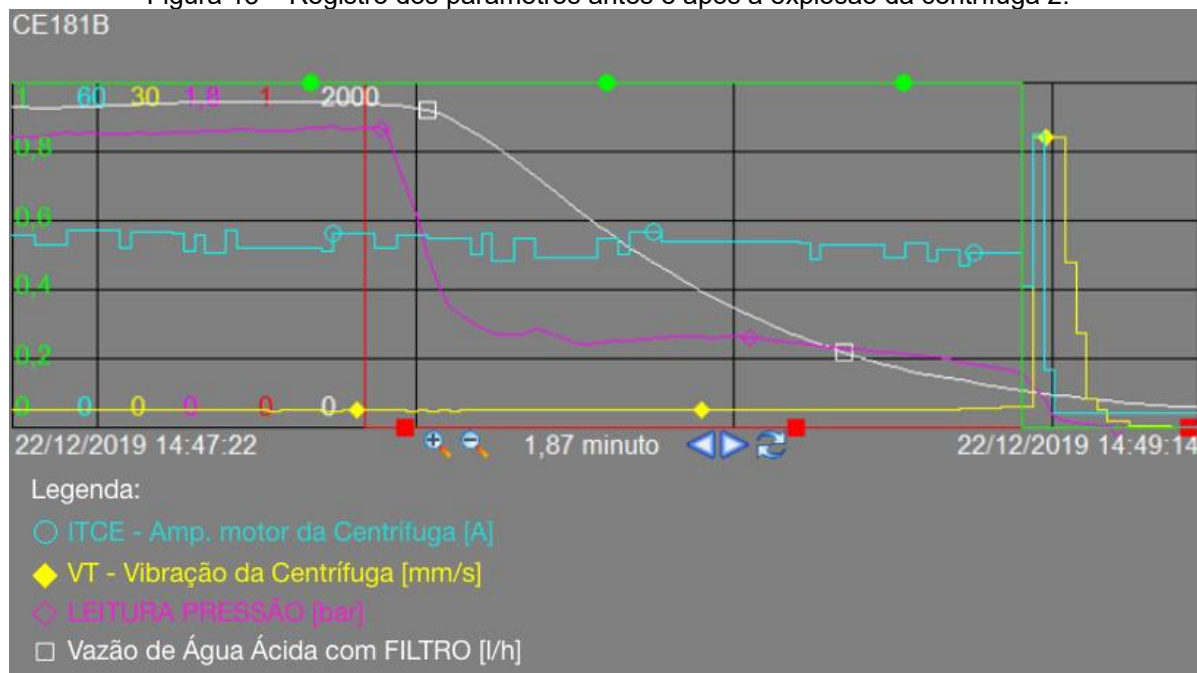
A centrífuga 2 foi enviada para revisão e avaliação externa em janeiro de 2020. Para realização de análise de falha por empresa terceirizada, a mesma realizou visita técnica e colheu as informações necessárias.

3.2.2. Registro de parâmetros da centrífuga 2

De acordo com a Figura 13, aproximadamente 1 minuto antes do evento da falha catastrófica acontecer, os parâmetros como corrente, vibração, pressão do óleo e vazão de água estavam todos dentro da normalidade. Quando o operador começou a drenar a centrífuga, nota-se que a vazão de água que corresponde a curva de cor branca começa a declinar, até então os outros parâmetros continuam normais.

De repente, o operador escuta os barulhos e percebe a explosão da centrífuga 2, é o momento em que a curva de cor amarela que corresponde à vibração da centrífuga sobe imediatamente juntamente com a curva azul que corresponde à corrente elétrica. Nesse instante percebe-se então que esses parâmetros aumentaram e fugiram da faixa de leitura padrão do equipamento.

Figura 13 – Registro dos parâmetros antes e após a explosão da centrífuga 2.



Fonte: Empresa Privada, 2019.

Com base nessas informações registradas nas telas de controle da área do ocorrido, foi possível identificar quais parâmetros se desviaram e assim acrescentar essas informações para auxiliar na investigação.

3.2.3. RCA (Root Cause Analysis) do Evento

Analisando a árvore de análise de causa raiz, nota-se que o efeito primário considerado para o início da investigação foi a parada da área em que a centrífuga 2 se encontrava. Logo após, a primeira ação imediata foi a falha na centrífuga 2, e a ação que deu origem a essa falha foi considerada a falha mecânica do anel de fechamento. A equipe de investigação decidiu começar com essa ação principal de falha mecânica do anel de fechamento após discussões com a empresa terceirizada de investigação que direcionou um técnico especializado para a visita técnica in loco.

A princípio, a investigação foi desenvolvida com essas informações pois, como o relatório de falha da empresa terceirizada ainda não estava pronto, a equipe interna precisou considerar a ação mais provável como primeira causa.

Na Tabela 2 é possível visualizar a numeração e a relação das causas raiz entre si:

Tabela 2 – Causas raiz relacionadas.

Causa raiz primária	Causa raiz	Causa raiz	Causa raiz
1 - Corrosão do anel de fechamento	2 - Centrífuga não dimensionada para operar com água ácida		
	3 – Sobre dosagem de ácido na água		9 - Procedimento de calibração incorreto
		5 - Bomba de dosagem super dimensionada para dosagem de ácido	
		6 - Camadas de segurança insuficientes para dosagem de ácido	
		7 - Remoção de eventual excesso de sabão proveniente da etapa anterior	
	8- Falta intertravamento da bomba quando atingia o mínimo de rotação		
4 - Compra de anel de fechamento de fornecedor não original		10 - Em 2016 não havia processo e estrutura organizada para gerenciamento de investigação de falha	
1 - Desgaste do anel de fechamento		2- Modo de falha desconhecido	

Fonte: Autoria própria, 2020.

A causa raiz 1 que pode ter ocasionado essa falha então é a corrosão do anel. Uma das causas que pode ter levado à corrosão do anel é a causa raiz 2: centrífuga não dimensionada para operar com água ácida, pois segundo registros anteriores foi tomada a decisão de trocar o ácido que era utilizado na água sem informações precisas sobre o motivo dessa mudança.

Outro motivo que pode ter ocasionado a corrosão do anel é a causa raiz 3: sobredosagem de ácido na água. Para essa causa raiz foi encontrada a causa raiz 9: procedimento de calibração incorreto. Ou seja, o procedimento de calibração do

instrumento que media o PH da água não estava correto e o equipamento possivelmente não estava fazendo as medições corretas, e isso pode ter colaborado para a sobredosagem de ácido que colaborou para a corrosão do anel.

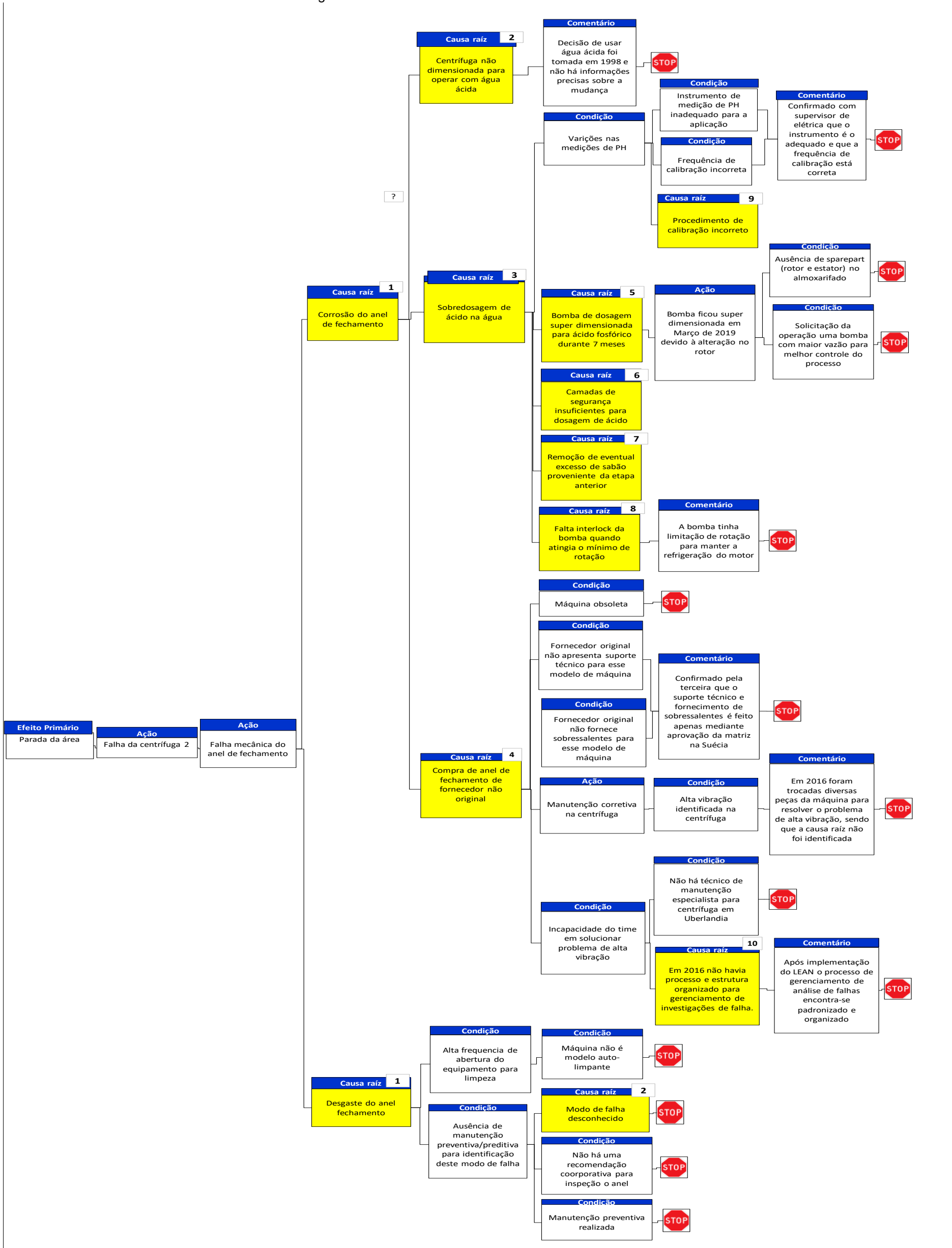
Da causa raiz 3, surgiram ainda outras quatro causas raiz, causa raiz 5: Bomba de dosagem super dimensionada para o ácido 2 durante sete meses, a bomba ficou super dimensionada por um período pois no momento da troca não havia estoque do rotor correto, então foi colocado outro. Causa raiz 6: Camadas de segurança insuficientes para dosagem de ácido. Causa raiz 7: Remoção de eventual excesso de sabão proveniente da etapa anterior, para essas duas causas raiz não foram encontradas demais condições para resolução. Causa raiz 8: Falta de intertravamento na bomba quando atingia o mínimo de rotação, pois a bomba já tinha limitação de rotação para manter a refrigeração do motor.

O último motivo considerado que pode ter ocasionado a corrosão do anel é a causa raiz 4: Compra de anel de fechamento de fornecedor não original. A máquina foi considerada muito obsoleta, o fornecedor original não apresentou suporte técnico para esse modelo, e peças sobressalentes teriam que ter sido solicitadas por uma empresa na Suécia de difícil acesso. Com os demais desdobramentos desse galho, chegou-se a causa raiz 10: Em 2016 não havia processo e estrutura organizado para gerenciamento de investigações de falha, pois a empresa não foi capaz de conduzir um processo coerente e robusto de investigação na época em que o equipamento estava apresentando problemas de vibração e simplesmente fez a troca da parte do anel por outra peça não original.

A outra causa, a causa raiz 1 que também pode ter causado a falha mecânica do anel foi o desgaste do anel de fechamento, devido a ausência de manutenções preventivas para identificação de falhas e a alta frequência de abertura do equipamento para limpeza. Com a continuação desse galho foi considerada então a causa raiz 2: modo de falha desconhecido pois não havia nenhuma recomendação corporativa para inspeções nesse tipo de anel.

No fluxograma da Figura 14 as causas raiz estão identificadas de amarelo:

Figura 14 – Árvore de Análise de Causa Raiz do evento.



Fonte: Empresa Privada, 2019.

a) Planos de ação

Para cada causa raiz identificada são direcionados planos de ação a fim de evitar ou mitigar os riscos existentes (Tabela 3). Essas ações são direcionadas para funcionários específicos que ficam responsáveis por executá-las dentro dos prazos estipulados.

Os planos de ação tiveram início em março de 2020 e prazo máximo de execução para junho de 2020. Eles são as recomendações das investigações.

Usando abordagens estruturadas, como a metodologia de RCA, a equipe de investigação identifica os fatores causais e as causas raiz do incidente. Essas abordagens fornecem o mecanismo para a compreensão do impacto das deficiências do sistema. Quando os investigadores entendem o que aconteceu, como aconteceu e por que aconteceu, eles podem desenvolver recomendações para ajudar a prevenir uma recorrência do incidente.

Recomendações eficazes podem reduzir o risco, melhorando a tecnologia do processo, atualizando os procedimentos ou práticas de operação / manutenção, e mais criticamente, melhorando os sistemas de gestão. Com a execução dessas recomendações as falhas corretas do sistema devem ser eliminadas, ou reduzir substancialmente o risco de recorrência do incidente e de outros semelhantes.

Nesse caso, a responsabilidade de fazer as recomendações ficou com a equipe de investigação. No entanto, é responsabilidade da gerência aprovar, modificar, rejeitar, priorizar, comunicar, implementar e acompanhar as recomendações, incluindo alocar pessoas e recursos suficientes para execução e conclusão, implementar as mudanças e acompanhar aqueles afetados pelas mudanças para garantir que as medidas funcionem conforme o esperado.

Tabela 3 – Causas raiz e seus respectivos planos de ação.

Causa	Plano de Ação
1 - Corrosão do anel de fechamento 1 - Desgaste do anel de fechamento	Análises detalhadas do modo de falha do anel de armário por empresa fabricante terceirizada.
2 - Centrífuga não dimensionada para operar com água ácida 2 - Camadas de segurança insuficientes para dosagem de ácido	Verificar com o fabricante se a centrífuga 2 foi projetada para operar com água ácida PH 2.
	Definir o processo para evitar o uso de água ácida durante a lavagem da centrífuga 2.
	Avaliar o plano de substituição de centrífugas obsoletas da região.
	Avaliar e definir procedimentos e camadas de segurança para o uso de água ácida em todas as plantas da região.
3 - Compra de anel de fechamento de fornecedor não original	Avaliar e desenvolver fornecedores do fabricante original para centrífugas obsoletas na região.
	Avaliar e desenvolver estratégia para peças críticas de reposição das centrífugas obsoletas desse fabricante.
	Desenvolver estratégia de manutenção para centrífugas obsoletas desse fabricante.
4 - Bomba de dosagem superdimensionada (com outro ácido) 4 - Modelo errado da bomba para a aplicação do outro ácido	Implementar alteração da bomba de dosagem definida pela equipe de processo. Projete a bomba adequada para o processo.
5 - Remoção de eventual excesso de sabão proveniente da etapa anterior	Dimensionar trocador de calor para melhoria na estabilidade de temperatura do óleo na centrífuga.
	Estudar melhoria de estabilidade de vazão do óleo para o reator ácido.
	Avaliar instalação de agitador vertical nos tanques de óleo para homogeneização da qualidade do óleo.
6 - Falta inter travamento da bomba quando atingia o mínimo de rotação	Analisar e implementar parâmetros de inter travamento na malha de controle de dosagem de ácido.
7 - Modo de falha do anel desconhecido	Definir tipo de inspeção e frequência para análise de integridade do anel de fechamento e outros elementos estruturais das centrífugas obsoletas desse fabricante.
	Solicitar análise de integridade do anel de fechamento das centrífugas obsoletas desse fabricante para as demais fábricas da região.
	Divulgar plano de inspeção do anel de fechamento e elementos estruturais das centrífugas obsoletas desse fabricante com demais fábricas da região.
8 - Procedimento de calibração incorreto	Definir procedimento para calibração do phmetro.
9 - Bomba ficou super dimensionada em março de 2019 devido à alteração no rotor	Avaliar range de PH e procedimento para dosagem de ácido.
10 -Em 2016 não havia processo e estrutura organizado para gerenciamento de investigações de falha	Realizar capacitação de facilitadores de Investigação RCA para a fábrica de Uberlândia.
	Revisar metodologia para identificação e acompanhamento de paradas e redução de produção da área.
	Criar metodologia para acompanhamento de ações de investigação de falha.

Fonte: Empresa Privada, 2019.

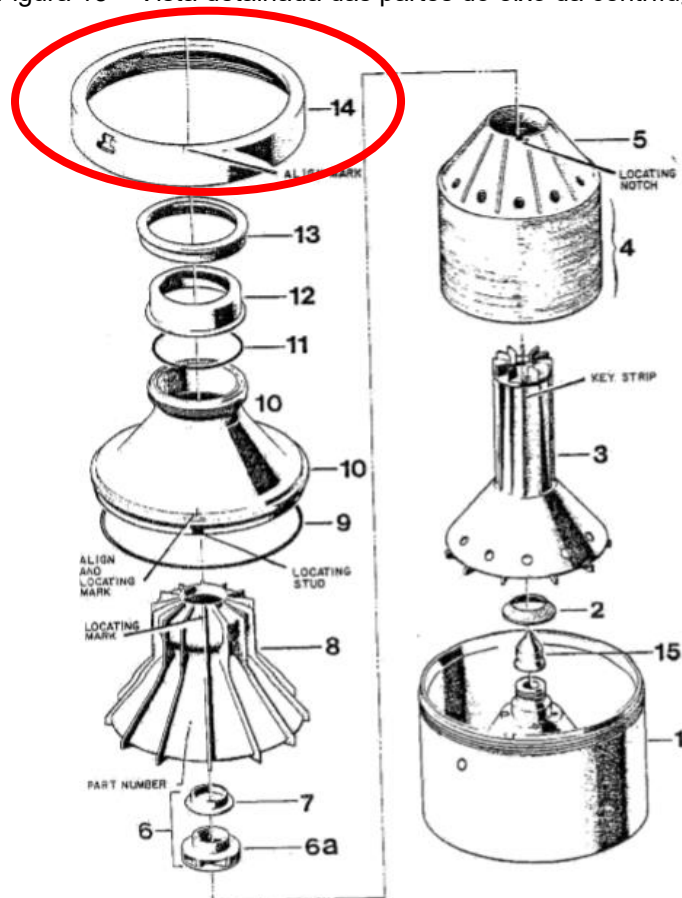
CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Motivo central do evento

Após discussões com empresa terceirizada de investigação e visita de seu técnico, a principal hipótese de falha é a falha mecânica da peça número 14, anel de bloqueio. Essa peça, como representada nas Figuras 15 e 16, fica na parte mais superior do eixo da centrífuga.

Figura 15 – Vista detalhada das partes do eixo da centrífuga.



Fonte: Empresa privada, 2019.

Segue os nomes de cada componente da centrífuga, ilustrados na Figura 15:

- 1- Concha de tigela;
- 2- Filtro de tigela;
- 3- Eixo tubular;
- 4- Discos;
- 5- Último disco acima;
- 6- Disco de pareamento;
- 7- Parte superior do disco de pareamento;
- 8- Disco superior;
- 9- Anel de borracha;
- 10- Topo da tigela;
- 11- Anel de borracha;
- 12- Anel de descarga;
- 13- Porca de acoplamento;
- 14- Anel de acoplamento.

Figura 16 – Destacado anel 14 na parte superior da centrífuga 2.



Fonte: Empresa Privada, 2019.

Após essa análise *in loco* foi detectado, conforme Figura 15, que esse anel estava fortemente desgastado ou corroído e sua superfície não estava adequada para uso.

Figura 17 – Vista superior do anel 14 de bloqueio.



Fonte: Empresa Privada, 2019.

Na Figura 16 é possível identificar na superfície do anel 14, as evidências de falha mecânica. A superfície apresenta irregularidades expressivas que não estariam presentes se o anel não estivesse em condição de falha.

Figura 18 – Detalhes da superfície do anel 14 de bloqueio.



Fonte: Empresa Privada, 2019.

O RCA foi desenvolvido com base nesta hipótese até mais informações do relatório final da empresa terceira e desenvolveu as seguintes causas raiz:

1) Problemas mecânicos do anel de bloqueio, como corrosão, desgaste e um modo de falha desconhecido. Além disso, um fator agravante é que o anel de bloqueio foi comprado de um fornecedor não original.

2) Operação com água ácida. A centrífuga não foi projetada para operar com água ácida e foram identificados problemas com o controle da quantidade de ácido no sistema, como: sobredosagem de ácido na água de lavagem; bomba dosadora superdimensionada para operar com ácido fosfórico (A2) durante 7 meses; camadas de segurança insuficientes para prevenir a sobredosagem de ácido;

falta de bloqueio quando a bomba doseadora atinge a velocidade mínima; procedimento de calibração do sensor de pH errado; remoção de eventual excesso de sabão da etapa anterior do processo.

3) Em 2016 não havia processo estruturado e organizado para gerenciar investigações de falhas.

O anel de bloqueio de número 14 foi mandado para outro país a fim de passar por investigação aprofundada em laboratório especializado para reconhecimento dos motivos de sua falha.

4.2. Causa relacionada à Integridade de Ativos

Adotando então o motivo central de ocorrência do evento como a falha mecânica do anel de bloqueio 14 da centrífuga 2, é possível analisar quais os principais elementos dentro do tema integridade de ativos podem ter sido deficientes e aumentaram assim as chances de ocorrência desse incidente.

O elemento enfatiza a implantação de atividades como testes e inspeções para garantir a confiabilidade do ativo. De acordo com as informações registradas pela empresa, a centrífuga 2 passou nos meses anteriores ao evento por duas inspeções visuais e apenas uma delas foi feita medição de vibração. Porém, mesmo através das

poucas informações que foram registradas dessas inspeções, a empresa registrou no momento final da inspeção que a centrífuga estava dentro da normalidade.

É interessante observar que essas inspeções foram feitas aproximadamente de um a dois meses antes da ocorrência do evento. Esse pequeno espaço de tempo dá uma falsa segurança de que o equipamento estava em boas condições. Provavelmente as inspeções não foram feitas e registradas com a quantidade de detalhes e informações suficientes para se garantir o funcionamento adequado do equipamento. Primeiramente a inspeção não conseguiu identificar alguma situação anormal com o funcionamento mecânico do anel 14. Em seguida, também não foi identificado que esse anel era uma peça não original que foi substituída, ou seja, que o ativo estava operando em desacordo com as especificações do fabricante.

Nesse caso as inspeções que foram realizadas não conseguiram garantir que o equipamento em questão estava projetado e instalado de maneira adequada com condições ideais para uso. Assim, não foi possível identificar possíveis falhas para prevenir eventos indesejados.

As atividades de reparos realizadas principalmente pelo time de manutenção, que também competem a integridade de ativos, foram realizadas nos momentos em que a centrífuga 2 estava apontando parâmetros anormais principalmente de vibração. Por vezes foi parada a máquina, desmontada e enviada para manutenção tanto interna quanto externa, e no momento de decisão da troca do anel por outro que não era original, não houve registro de análise de risco e autorizações de níveis superiores da organização. Para resolução dessa questão foi necessário que a empresa registrasse fornecedores originais das fabricantes da centrífuga além de compartilhar dados desses equipamentos obsoletos com outras plantas que também os possuem.

Foi identificada também uma segunda causa, que foi a operação com água ácida. A centrífuga não foi projetada para operar com água ácida, ou seja novamente não foram seguidas as especificações do fabricante. Além disso, foram identificados outros problemas como o controle inadequado da quantidade de ácido no sistema, camadas de segurança insuficientes para prevenir a sobredosagem de ácido e procedimento errado de calibração do sensor de pH. Essas situações evidenciam a deficiência na gestão

desse sub pilar, pela falta de procedimentos escritos de maneira adequada e direcionada para as tarefas em questão.

A última causa relacionada foi que no ano em que o anel falhou e precisou ser trocado em 2016, não havia processo estruturado de investigações de falhas. Para solidificação desse tema, foi necessário que a empresa investisse em treinamentos que instruem os funcionários a realizarem métodos adequados de investigação quando encontram alguma anormalidade no processo.

Dentro das estratégias para manutenção desse elemento o que havia de sólido eram as exigências de inspeções do equipamento. Não há registros específicos de manutenções preventivas e nem padrões de garantia de qualidade para o funcionamento dessa centrífuga, devido à condição obsoleta do ativo.

4.3. Causas relacionadas ao Desempenho Humano

Além de todas as análises relacionadas a integridade de ativos que foram feitas em cima das causas citadas do evento. Pode-se ainda incrementar a análise relacionada ao desempenho humano dos funcionários dentro da fábrica. Está claro que a maioria dos indivíduos vão para o ambiente de trabalho com intenções de executar um trabalho bem feito e seguro, assim é preciso analisar as causas sistêmicas que podem ter levados essas pessoas a cometerem certos erros.

É preciso estar claro que essa análise envolvendo os fatores humanos é exclusiva deste trabalho, por isso as questões apresentadas relacionadas a esse tema muitas vezes serão hipóteses que levarão o pensamento a acessar uma visão mais ampla e completa de soluções e causas para o incidente.

Sobre a primeira causa analisada de problemas mecânicos do anel de bloqueio, como corrosão, desgaste e um modo de falha desconhecido, além do fator agravante que o anel substituído foi comprado de um fornecedor não original, é possível notar fatores humanos podem ter interferido no momento de percepção dessa causa. Pode ser que no momento das inspeções os funcionários que as executaram estavam sob influências de fatores externos do tipo pressão pelo tempo ou carga de trabalho elevada. O fato de possuir outras demandas de trabalho para concluir naquele dia e um tempo

relativamente curto para fazer a inspeção, pode ter levado os funcionários a não identificarem as falhas e a não observarem com um olhar mais metuculoso para o equipamento. Naquele momento o excesso de confiança de que frequentemente nas outras inspeções não havia sido encontrado nenhuma anormalidade, também pode ter influenciado para o pensamento de que então nessas também não existiam motivos para ser encontrado já que a centrífuga estava em operação normal.

Além disso, nas manutenções realizadas na máquina, principalmente no momento da troca do anel por outro não original, os funcionários participantes desse processo não perceberam os fatores sistêmicos de que havia algo incoerente nessa execução, ou seja, as situações presentes no momento que indicavam não ser a melhor opção fazer a troca por uma peça não original. Por exemplo, se alguém tivesse levantado a questão de que se a máquina era tão obsoleta e não estavam encontrando peças originais para a substituição, então provavelmente a melhor opção seria fazer uma análise aprofundada e cogitar a hipótese de trocar o equipamento por outro de um modelo mais avançado, fabricante mais atual e de fácil acesso.

Focando agora na segunda principal causa, de operação da centrífuga 2 com problemas de controle da quantidade de ácido no sistema, e sabendo ainda que a centrífuga não foi projetada para operar com água ácida, podem ser localizadas ainda causas sistêmicas que influenciaram a ocorrência. Primeiramente, algum indivíduo poderia ter alertado o time o fato de que a centrífuga era projetada para operar com água ácida. Ou seja, no momento em que foi tomada essa decisão, a pessoa responsável poderia ter visualizado o risco intrínseco a ela, porém, fatores sistêmicos como a falta de informações precisas e atualizadas do fabricante podem ter sido uma armadilha que fez com que os funcionários não se atentassem a esse fato.

Outra questão seria o procedimento de calibração do equipamento de medição de PH que estava incorreto. Pode ser que os funcionários não utilizavam esse procedimento todas as vezes que fossem fazer a calibração pois já tinham o costume de realizá-lo dessa maneira. Quando os funcionários não acessam e não utilizam o procedimento frequentemente, eles acabam deixando passar despercebido os erros que podem existir

no mesmo. Ou ainda, por não terem sido treinados de forma adequada para a utilização do procedimento, pode ser que eles não tenham percebido os erros ali presentes.

A última principal causa abordada foi a ausência de processo estruturado para gerenciar investigações de falhas. Com o problema de falha no anel e como o time se encontrava incapaz de solucionar o problema de alta vibração da máquina, decidiu-se então substituir a peça. Assim, foi feita a compra de anel de fechamento de fornecedor não original. Analisando sob o aspecto do desempenho humano é possível observar vários fatores que podem ser ressaltados.

No momento em que a máquina estava apresentando problemas de alta vibração e as manutenções que foram feitas não estavam solucionando a questão, seria então a oportunidade ideal de fazer uma reunião de funcionários de diferentes áreas organizacionais e diferentes níveis de experiência na área para discutir possíveis soluções. Possivelmente o time não teve essa iniciativa pois foram procurados e não encontraram especialistas de centrífuga presentes na cidade.

Outra solução possível seria insistirem em encontrar o contato da empresa fabricante da centrífuga para recolher mais informações sobre o funcionamento e os parâmetros da máquina, antes de optarem pela troca da peça por outra não original. Os funcionários provavelmente não escolheram agir dessa forma pelo motivo sistêmico de que esse seria um caminho muito difícil e que demandaria muito tempo para encontrar o fornecedor, podendo assim atrasar o reparo da máquina, o andamento do processo e as entregas. Além disso, como a máquina estava em operação na fábrica há muitos anos, eles possivelmente confiaram na decisão dos funcionários mais experientes em substituir a peça naquele momento.

Já que a empresa não possuía na época um processo organizado de investigação de incidentes, seria prudente que os funcionários envolvidos nesse tema tivessem a iniciativa de no momento que foi encontrada a falha, reportarem à gerência a ausência de algum recurso que os possibilitassem de realizar uma análise aprofundada sobre a mesma. Os funcionários envolvidos não tinham conhecimento do sistema de gestão desse tipo de investigação justamente pelo motivo sistêmico de que a organização não

priorizou no momento a alocação de recursos para a aplicação desse tipo de treinamento para seus funcionários.

Posteriormente a empresa proporcionou a disponibilização de treinamento para a ferramenta específica de gerenciamento de análise de falhas padronizado para os funcionários, dispondo dessa maneira da tratativa adequada para resolver a última causa raiz selecionada.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

É possível notar que se trata de um evento de falha não muito incomum nas empresas que possuem muitos anos de atuação no mercado. Isso se dá por que normalmente na época em que essas fábricas antigas se instalaram nas cidades, a disponibilidade de equipamento de alta tecnologia ainda não era tão frequente como hoje. Muitas vezes esses fabricantes não disponibilizavam manuais e nem diretrizes de montagem e manutenção. Vários desses ativos foram fabricados por organizações que não existem mais no mercado ou foram vendidas e repassadas para outras, assim encontra-se então a dificuldade de se comunicar com essas empresas para solicitar peças de reposição ou até mesmo padrões de manutenção.

Para reiterar esse fato, neste trabalho foi observado inclusive a mudança nos parâmetros de vibração da máquina que antes média 1,4 mm/s para 2,0 mm/s depois da execução de manutenção sem diretrizes claras sobre as especificações da centrífuga 2.

As tecnologias envolvidas nos equipamentos também mudaram consideravelmente nos últimos anos e as medidas de avaliação e inspeções atuais podem não ser as mais adequadas aos ativos obsoletos que existem na fábrica. Devido a isso eventos como o citado neste trabalho acontecem com frequência.

É importante que a empresa e principalmente a liderança esteja comprometida com a implementação de ferramentas e métricas que instiguem seus funcionários a reconhecer riscos antes das realizações das tarefas, assim como situações que possam conter algum tipo de armadilha intrínseca e que possam levar à ocorrência de um incidente. A organização deve encorajar seus trabalhadores a visualizarem a segurança em primeiro lugar no momento de realização das tarefas, tendo como alicerce o uso das ferramentas e o apoio dos demais times.

É possível concluir que a gestão da integridade da centrífuga 2 não estava sólida e estruturada. E além disso, o comportamento humano dos funcionários envolvidos não foi profundamente considerado. Ou seja, não houve investigação do nível de percepção dos mesmos para com essa situação que estava fora dos padrões de normalidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORGES, Fernando Hagihara., BRUNO Danver Messias., VALE Pablo Dione do. **APLICAÇÃO DA FERRAMENTA PDCA: UM ESTUDO DE CASO NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE SUCO CONCENTRADO. XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção.** Out, 2017. Disponível em: <Titulo (abepro.org.br)>. Acesso em: 11/02/2021.

CANTIDIO, Sandro. “**Engenheiro de Desenvolvimento de produto e processos, melhorias de Produtividade, Ferramentas da Qualidade e Produção Enxuta**”. 2009. Disponível em: < <https://sandrocan.wordpress.com/tag/ciclodpca> > 2009. Acesso em: 11/02/2021.

CCPS (CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY). **Guidelines for Process Equipment Reliability Data, with Data Tables.** 1ª edição. Editora Wiley-AIChE.1989.

CCPS (CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY). **Guidelines for Investigating Process Safety Incidents.** 2ª edição. Editora Wiley-AIChE. 2003.

CCPS (CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY). **Guidelines for Preventing Human Error in Process Safety.** 1ª edição. Editora Wiley-AIChE. 2004.

CCPS (CENTRO PARA SEGURANÇA DE PROCESSOS QUÍMICOS). **Diretrizes para Segurança de Processo Baseada em Risco.** 1ª edição. Editora Interciência. 2014.

CITISYSTEMS. “**Diagrama de Ishikawa, Causa e Efeito ou Espinha de Peixe**”. 2012. Disponível em: <Diagrama de Ishikawa, causa e efeito ou Espinha de Peixe (citisystems.com.br)>. Acesso em: 11/02/2021.

CONSULTORIA ENGENHARIA. “**Ferramentas de Confiabilidade e Risco -FMEA e FMECA**”. 2018. Disponível em: <Ferramentas de Confiabilidade e Risco - FMEA e FMECA - Consultoria & Engenharia>. Acesso em: 11/02/2021.

DEKKER, Sidney. Reconstructing human contributions to accidents: the new view on error and performance. **Journal of Safety Research**, v. 33, n. 3, p. 371-385, out, 2002.

DEKKER, S. **The Field Guide to Understanding 'Human Error'**. 3ª edição. Editora Ashgate. 2014.

DEKKER. The bureaucratization of safety. **Safety Science**, v. 70, p. 348-357, dez, 2014.

DOCPLAYER. “**CCPS Mais de 30 anos promovendo conhecimento e desenvolvimento em Segurança de Processo**”. 2018. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/111371735-Ccps-mais-de-30-anos-promovendo-conhecimento-e-desenvolvimento-em-seguranca-de-processo.html>>. Acesso em: 27/11/2020.

EMPRESA PRIVADA. **Relatório de Investigação de Falha**. Uberlândia, dez, 2019.

HUBER, Stefanie. WIJGERDEN, Ivette van. WITT, Arjan de. DEKKER, Sidney. Learning From Organizational Incidents: Resilience Engineering for High-Risk Process Environments. **Wiley InterScience**. v. 28, n. 1, p. 90-95, dez, 2008.

IBV. “**IBV – Válvulas Industriais**”. 2020. Disponível em: <<https://www.ibv.ind.br/>>. Acesso em: 27/11/2020.

JUNIOR, Celso Machado; SILVA, Marco Antonio Batista da. Possibilidades e limites do ciclo de melhoria contínua - PDCA como elemento de aprendizagem / Possibilities and limits of the cycle of continuous improvement -PDCA as an element of learning. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade (ISSN 2318-3233)**, [S.l.], v. 2, n. 3, p. 15-36, ago. 2013. ISSN 2318-3233. Disponível em: <<http://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/rms/article/view/184>>. Acesso em: 27 nov. 2020.

PORTAL ADMINISTRAÇÃO. “**Diagrama de Ishikawa: Princípio da causa e efeito**”. 2012. Disponível em: <[Diagrama de Ishikawa: Princípio da causa e efeito | Portal Administração \(portal-administracao.com\)](#)>. Acesso em: 11/02/2021.

REASON, J. **Managing the risks of Organizational Accidents**. 1ª edição. Ashgate Publishing Limited. 1997.

WERKEMA. Maria C. “Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos”. Belo Horizonte: **Fundação Cristiano Ottoni**, 1995.