

UMA PROPOSTA DE TAXONOMIA DA FALHA PARA MELHORAR A QUALIDADE DO BANCO DE DADOS E DECISÕES NA GESTÃO INTEGRADA E DE ATIVOS

¹Deivton Costa Santiago, deivts01@gmail.com

¹José Filipe Michel Gagliano Ferreira, gagliano.fm@gmail.com

¹Lauro Raphael Guerra Miranda, laurorgmc@gmail.com

¹Milena Lima Brandao, milenalbrandao@gmail.com

¹Ricardo Azevedo Rocha, rick.engmec@gmail.com

¹Salvador Ávila Filho, avilasalva@gmail.com

¹Universidade Federal da Bahia, Rua Prof. Aristides Novis, 02, Federação, CEP 40210630, Salvador – BA, Brasil.

Resumo: O aumento da complexidade dos processos tem exigido aprimoramento da abordagem das causas de falhas. É comum o hábito da individualização no estudo das etapas de identificação das falhas, contudo os eventos não acontecem de forma isolada e, as diferentes áreas envolvidas deveriam agir de forma integrada. Essa comunicação pode ser mais eficaz caso os bancos de dados fossem habituados a uma taxonomia única, de fácil compreensão entre todos, para evitar as múltiplas interpretações e perdas de informações durante o processo. A falta de integração tem impacto direto na tomada de decisão dos gestores, visto que amplia a visão sistêmica da “digital da falha” implementando barreiras eficientes de prevenção. Diante dessa premissa e buscando atender ao QSMS-RE realizando um estudo de análises de falhas em diversas etapas desde as Restrições da Tecnologia e Operação, passando também pela Elaboração, Aplicação e Análise de falhas, riscos e viabilidades até a Validação da Metodologia e do Banco de dados decorrente.

Palavras-chave: Taxonomia da Falha, Falha Sistêmica, Análise de Falha

1. INTRODUÇÃO

A aplicação de técnicas de investigação de falhas se estende às diversas áreas da Gestão Industrial, sendo estas Saúde e Segurança Ocupacional, Qualidade, Meio Ambiente, Risco e, atualmente, Energia (QSMS-RE). Nesses estudos, deve-se assumir que a falha é um evento sistêmico (ÁVILA FILHO et al., 2017) que pode impactar sobre as diversas áreas do QSMS-RE. Esta capilaridade no impacto da falha sistêmica se deve à complexidade dos processos e ao controle por supervisórios humanos.

Na revisão proposta por Penkey et al. (2015) sobre a pirâmide de acidentes de Heinrich, as atividades industriais estão mais rápidas e diversificadas e isso tem desafiado as clássicas teorias de prevenção de acidentes. Isso exigiria a sua expansão para englobar as causas latentes de diferentes áreas, evoluindo a percepção das medidas preventivas. Apesar de sua grande utilização na área de risco e investigação de acidentes, atualmente a análise de falhas possui enorme relevância para as práticas de manutenção e operação em sistemas de alto risco como a indústria aeroespacial e as de processo – plantas química, petroquímica, nuclear, entre outras. Tal aplicabilidade resulta em uma intensa discussão, na academia, relacionada ao tema Taxonomia da falha devido à dificuldade de conciliar definições e terminologias da literatura e da prática industrial.

De acordo com Ávila Filho (2012), a análise de falha feita na sua forma clássica, em que cada departamento examina a sua parcela separadamente, não permite perceber a interseção entre os diferentes elementos conectados através de um fator comum e que deveriam ser analisados ao mesmo tempo para estabelecer barreiras mais eficientes antes do aumento da energia de perigo. As diferentes áreas envolvidas deveriam se comunicar numa taxonomia única, favorável às otimizações de tempo e recursos para identificação dos nós de falha, determinação da sua impressão digital e estabelecimento eficaz das barreiras de prevenção.

As FMEA's realizadas pelo setor de Engenharia de Manutenção geralmente não consideram a natureza sistêmica da falha, e isso ocasiona erros no apontamento da falha no sistema de Gerenciamento de Manutenção. Uma das contribuições deste trabalho está direcionada na inclusão de fatores não técnicos que, por não ser usual, pode levar a análises de dados inconsistentes e ocasionar a realização de estudos de confiabilidade que não agregam disponibilidade operacional para a planta de produção.

Apesar de existir uma vasta quantidade de trabalhos científicos relacionados aos processos de falha e de sua ampla aplicação e discussão no meio industrial, poucos trabalhos acadêmicos realizam uma abordagem sobre as terminologias utilizadas nesta área (FERREIRA, 2018). Neste sentido, um dos trabalhos de destaque foi o realizado por Sartori *et al.* (2012), em que foram reunidas algumas definições de termos comuns relacionados ao tema de detecção, diagnóstico e correção de falhas. Nesse trabalho, os autores estabeleceram diferenças entre falha, desvio, anormalidade, perturbação, distúrbio, disfunção, defeito, quebra e erro.

Segundo Ferreira (2018), ter uma noção clara dessas terminologias não é apenas uma questão de linguagem; em sistemas que requerem alta confiabilidade, saber diferenciar falha e defeito tem grande influência na modelagem do comportamento de componentes, podendo gerar interpretações que não traduzem a realidade e, consequentemente, comprometem toda a análise realizada.

De acordo com Ávila *et al.* (2012), a análise de falha em sistemas complexos apresenta dificuldades devido ao desconhecimento do processo e do seu nível de complexidade. Além disso, questões de comunicação ineficiente e, até mesmo, a omissão da comunicação, dificultam o mapeamento da rotina e a interpretação da falha como dinâmica, em que se inclui fatores humanos e sociais.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A expansão das novas tecnologias tem aprimorado os sistemas de produção industriais e proporcionado processos mais complexos com múltiplas interconexões. Diante desse cenário, é necessário direcionar atenção para a análise de falhas e para a aplicação de técnicas de investigação de falhas que se estendam às diversas áreas da Gestão Industrial – Saúde e Segurança Ocupacional, Qualidade, Meio Ambiente, Risco e Energia. Dentre as técnicas comumente utilizadas, destacam-se a Árvore de Análise de Falhas (FTA, acrônimo em inglês de *Fault Tree Analysis*) e a Análise dos Modos e Efeitos de Falhas (FMEA, acrônimo em inglês de *Failure Mode and Effect Analysis*), métodos lógicos bem estruturados para identificar a causa e efeito de cada modo de falha. A integração dessas ferramentas com a Análise da Causa Raiz (RCA) criam uma base para facilitar a tomada de decisão em relação às falhas.

A falha deve ser entendida como um evento sistêmico devido à multidisciplinariedade das suas causas. Segundo Ávila Filho *et al.* (2017), as falhas podem ser iniciadas tanto em virtude da origem dos materiais dos equipamentos, das variáveis de processo e da qualidade do produto, como também devido à atenção, à comunicação dos operadores e das decisões gerenciais. Assim, frequentemente, a falha ocorre após vários sinais serem apresentados e negligenciados. Dessa maneira, a falha ocorre, e busca-se uma solução rápida para retornar o processo de produção sem identificar a verdadeira origem/motivo da sua ocorrência e sem buscar aprender com o problema para evitar sua recorrência.

2.1. Métodos de Análise de Falha

A falha de um equipamento durante o seu período de operação tem consequências muito além da simples perda da sua função. Ela compromete o sistema de produção, gera custos adicionais e pode ser a causa de inúmeros acidentes de trabalho e de problemas ambientais. Uma investigação para entender qual foi a falha ocorrida normalmente se estende para o possível histórico de eventos que culminaria na falha observada. Essa análise permite compreender esses eventos, entender os seus mecanismos e facilitar as tomadas de decisões para intervir e prevenir a ocorrência da falha.

De acordo com Jun. *et al.* (2017), operações efetivas de manutenção não são fáceis de serem realizadas devido à grande dificuldade de obtenção de informações confiáveis durante o uso do equipamento. Essas informações são cruciais para que as ações de manutenção, devidamente investigadas, atuem na verdadeira causa-raiz do problema, já que, quando essa causa não é encontrada, perpetua-se por atos de falha, podendo gerar defeito no equipamento.

Existem vários métodos clássicos de avaliação disponíveis para auxiliar a análise de segurança de dependabilidade dos sistemas, uma delas é a Análise Crítica de Modos de Falhas e Efeitos (FMECA) Kabir. (2017), cuja proposta é realizar uma análise indutiva que considera todas as possíveis combinações de efeitos do modo de falha de um único componente. A FMECA é uma versão aprimorada da Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA), e é aplicada a alguns sistemas críticos o suficiente para causarem efeitos catastróficos no meio ambiente ou em relação à ameaça de vidas humanas, sendo uma ferramenta fundamental para conseguir um nível bastante elevado de segurança. Nas plantas industriais, alguns componentes são de natureza mais crítica em relação à parada de produção, e a aplicação da FMEA é de vital importância para garantir a manutenção adequada e bom funcionamento desses componentes. A construção de uma FMEA ou FMECA é, geralmente, um dos primeiros passos para a construção de uma Árvore de Falhas, sendo capaz de ajudar a encontrar as possíveis falhas dos componentes e os eventos básicos que levaram a isso (Ruijters. *et al.*, 2015; Stamatelatos. *et al.*, 2002).

A Análise da Árvore de Falha (Kabir., 2017; Vesely. *et al.*, 1981) também é uma técnica muito utilizada para investigar, a partir do evento de falha, representado pelo topo da árvore, as suas possíveis causas-raiz, representadas pelas folhas da árvore ao longo dos ramos. A resposta da análise informa como diferentes componentes de falha ou condições do ambiente em que eles estão empregados podem se combinar para gerar aquela falha no sistema. A Árvore de Falha Padrão é um método gráfico, criado na década de 1960 em um laboratório para análise de míssil balístico Ericson. (1999), que, ao longo dos anos, tem sido aprimorado com algoritmos mais complexos. Esse método é interessante pois a ocorrência de um evento de falha pode ser atribuída a outros eventos menos lógicos, de difícil percepção no momento em que ela ocorre ou que até mesmo escape dos processos padrões de manutenção. Em termos qualitativos, a árvore é estruturada para detectar as vulnerabilidades do sistema, já a resposta quantitativa do método

atribui probabilidades de falha para mensurar o quão crítico um componente pode ser (Ruijters *et al.*, 2015). Com os possíveis eventos que levam às falhas do componente mais crítico, a manutenção é capaz de estruturar as suas ações para evitar ao máximo que essas falhas venham a ocorrer.

Os diagnósticos de manutenção têm se beneficiado com aprimoramento dos métodos clássicos para abranger sistemas cada vez mais complexos. Em Duan. *et al.* (2012), é proposto um método para diagnósticos de falha através da Análise de Árvores de Falha e Redes Bayesianas, cujo objetivo consiste na criação de um algoritmo para auxiliar as equipes de manutenção a tomar decisões mais eficientes. Em Jun. *et al.* (2017), o uso de redes bayesianas também é aplicado na análise de falha. Através desses aprimoramentos ou criações de novos métodos, busca-se assegurar a integridade das ações de manutenção em sistemas cada vez mais exigentes e dinâmicos.

2.2. Taxonomia da falha

A análise e o diagnóstico de falhas são etapas importantes em processos industriais e para que sejam realizadas de forma confiável, é necessária a unificação da terminologia de conceitos e técnicas para evitar diferentes interpretações e propagação de erros. Dois conceitos importantes a serem pontuados neste trabalho são o de falha e de defeito.

Segundo a síntese proposta por Sartori *et al.* (2012), uma condição de falha ou anormalidade é um desvio de uma característica de um sistema/processo em relação a seus requisitos e pode ou não afetar a capacidade de desempenhar a função requerida. Sendo a capacidade afetada, esta ainda pode mostrar-se como incapacidade parcial ou irregularidade – intermitente ou não –, caracterizando um evento de mau funcionamento; ou como incapacidade total, parada completa, caracterizando um evento de falha. O defeito é o término da capacidade de um sistema/processo de desempenhar a função requerida sob condições especificadas e pode sugerir um evento de falha ou um evento de mau funcionamento. Sendo assim, uma falha pode ou não dar origem a um defeito. Essas distinções estão em consonância com os registros já feitos na literatura sobre o tema, além de delimitar os conceitos, evitando as comuns superposição e contradição de definições.

Da mesma forma que os conceitos relacionados à falha precisam ser bem demarcados para que a tomada de decisão sobre a correção seja confiável, o banco de dados de falha disponível em uma indústria deve ser organizado, correlacionado entre áreas e específico para que reflita a realidade operacional em questão. O avanço tecnológico tem permitido o aumento da complexidade de processos industriais e, conseqüentemente, a integração sistêmica entre os mesmos e entre as falhas. Desta forma, a implementação da taxonomia é determinante para otimizar e dinamizar a manutenção.

De acordo com Sivini (2006), a taxonomia consiste na classificação e armazenamento de dados de forma que seja baseada em características de projeto e processo dos equipamentos que afetem a confiabilidade. Devem ser seguidas quatro etapas para o desenvolvimento de uma taxonomia para banco de dados de confiabilidade para que seja possível medir e otimizar o desempenho dos equipamentos e componentes e fornecer estimativas de confiabilidade dos sistemas nos quais os equipamentos e componentes operam. As etapas necessárias e que serão utilizadas são:

- Hierarquização do conjunto de equipamentos do sistema;
- Estruturação dos dados;
- Organização de Descrição dos dados;
- Identificação e Classificação dos possíveis modos de falha.

2.3. Fatores Sociotécnicos da falha

Cacciabue (2000) afirma que, em detrimento do aumento da automação dos sistemas, muitas falhas não são tratadas de forma correta pela falta de conhecimento sobre sua complexidade. Esta exige do operador que o mesmo se torne um supervisor das operações demandando habilidades de raciocínio cognitivo. Tais habilidades dependem do grau de instrução, experiência e percepção de cada pessoa, não sendo, assim, padronizada. Além de que os operadores, em sua maioria, não recebem esse tipo de treinamento para se aprimorarem no reconhecimento dos sinais transmitidos.

Nesse sentido, Ávila Filho (2012) sugere o mapeamento da rotina para análise da falha de forma dinâmica, além de abordar os fatores humanos e sociais, e para isso utilizar o livro de turno como base de dados que inclua informações de qualidade do processo. Para que ocorra o mapeamento eficiente, Ávila Filho *et al.* (2017) pondera para a construção de uma cultura operacional feita pelo controle operacional realizado por uma equipe confiável na qual comunicação e *feedback* ocorram em um fluxo sem omissão e resistência de informações.

A resistência nos registros dos eventos e omissão de informações são, em parte, conseqüências da cultura da culpa. Tais atitudes impactam diretamente na tomada de decisão gerencial, dificultam a correta identificação da causa raiz da falha e constroem um banco de dados pouco efetivo. Sagan (1994) afirma que “os custos sociais dos acidentes tornam a aprendizagem muito importante; a política da culpa, entretanto, torna o aprendizado muito difícil”. Garantir a credibilidade dos dados coletados possibilitará encontrar as causas raízes das falhas e ter disponível um banco de dados confiável o qual possa ser refinado e categorizado quando for necessária sua utilização.

3. PROCEDIMENTO

Este trabalho pretende analisar, classificar as falhas e descrever a trajetória dos eventos através da análise sistêmica, propondo uma taxonomia única para atender ao QSMS-RE (Gestão Integrada). Para alcançar tais objetivos, pretende-se

discutir a taxonomia proposta em um estudo de caso real da indústria e sugerir a construção de um banco de dados único para facilitar a investigação da falha. Para o desenvolvimento do trabalho, foi escolhida uma Bomba Centrífuga pertencente ao processo de uma planta Química. Em seguida, levantou-se o banco de dados de falhas dessa bomba em um período de 5 anos.

O equipamento foi, então, modularizado, ou seja, dividido em sistemas, subsistemas e pontos (componentes). Com base nisso, foi possível alocar cada falha no seu respectivo sistema. Esse cruzamento entre a modularização e os dados levantados serviram para ranquear quais foram os sistemas, os subsistemas e os pontos que mais falharam ao longo do tempo, independentemente do modo de falha apontado. Este resultado é apontado no gráfico da Fig. 1.

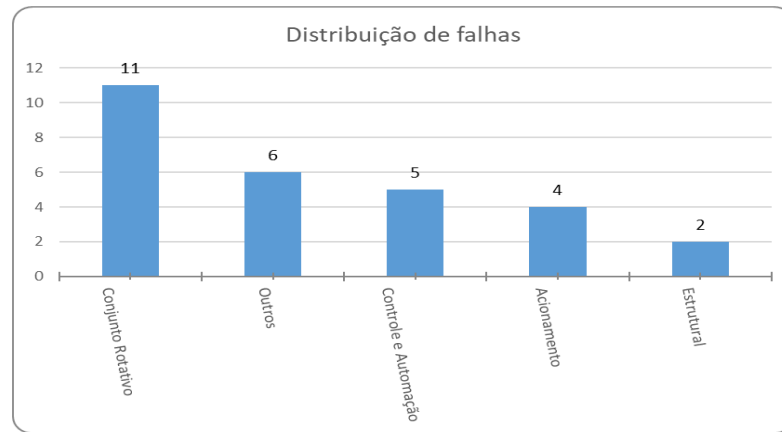


Figura 1. Distribuição de falhas para a bomba.

Pela análise do gráfico da Fig. 1, decidiu-se aprofundar o estudo do conjunto rotativo, uma vez que este foi o subsistema que mais falhou ao longo dos cinco anos. Em seguida, foram determinadas as funções e falhas funcionais para o conjunto rotativo de acordo com a análise dos manuais existentes e as condições de operação para o equipamento. A Tabela 1 apresenta a função estudada e as falhas funcionais associadas.

Tabela 1. Funções e Falhas funcionais para o conjunto rotativo.

Função	
Bombear catalizador a uma vazão de 210 m³/h	
Falhas Funcionais	
F1	Bombear catalizador a uma vazão abaixo de 210 m³/h
F2	Não bombear catalizador

Com as funções e falhas funcionais determinadas, um cruzamento entre o ponto e o modo de falha foi feito. Este é um passo muito importante na metodologia, pois restringe a análise dos modos de falhas, seus efeitos e suas causas apenas aos pontos do equipamento que realmente podem causar a falha. A Tabela 2 apresenta este resultado.

Tabela 2. Cruzamento entre falha funcional e os pontos do conjunto rotativo.

Subsistema	Pontos	Falha Funcional F1	Falha Funcional F2
Conjunto Rotativo	Rotor	Sim	Não
	Rolamento	Não	Sim
	Eixo	Não	Sim
	Mancal	Não	Sim
	Acoplamento	Não	Sim
	Luva do eixo	Não	Não

Como ferramenta de análise, utilizou-se a técnica FMEA – Failure Mode Effects Analysis – devido à necessidade de determinar a nomenclatura dos modos de falhas e de suas causas, não só considerando a perda total de função do equipamento cujas causas são físicas, mas também por falhas sistêmicas e fatores latentes (humano, operacional e organizacional).

Existem dificuldades ao adotar o modelo de falha sistêmica que estão em torno da subnotificação dos eventos (desde o desvio até a falha), dificultando o estabelecimento de um banco de dados apropriado e direcionando os recursos em região não adequada.

4. REULTADOS E DISCUSSÃO

Com os resultados das FMEAs, foi possível estudar todos os pontos do subsistema escolhido. A partir deste resultado, obteve-se uma lista com os modos de falhas pertinentes apenas a cada ponto, o que restringe a possibilidade de apontamento de falhas que não são características daquele ponto. As Figuras 2 a 6 apresentam os resultados das FMEA's elaboradas e a correlação obtida entre ponto, modo de falha e causa.

Empresa	Universidade Federal da Bahia	Equipe	Autores												
Sistema	Bombeamento de catalizador	Data	07/01/2018												
Função	Bombear Catalisador a uma vazão de 210 m³/h														
Falha funcional	Bombear a uma pressão abaixo de 210 m³/h			Análise de Risco Cenário atual						Análise de Risco - Cenário Pós ações					
Subsistema	Ponto	MODO DE FALHA POTENCIA L	EFEITO (S) DA FALHA EM	CAUSA ATIVA	CAUSA LATENTE E/OU ESPECIAL	Gravidade	Frequência	Deteção	NPR	AÇÃO PREVENTIVA RECOMENDADA	AÇÃO TOMAD A	Gravidade	Frequência	Deteção	NPR
Conjunto rotativo	Rotor	Desgastado	Diminuição de vazão	Contato com a carcaça	Gerenciamento Plano de Manutenção	9	6	2	108	A1- Criar plano de preventiva para inspecionar folgas e desgastes	A4, A5, A1, A3	9	6	1	54
				Abrasividade do fluido bombeado	Projeto - Erro de especificação	2	1	6	12	A2-Criar controle de processo para densidade do fluido		NA	NA	NA	NA
				Presença de corpo estranho	Projeto - Detalhamento inadequado	9	3	4	108	A3- Instalar filtro a montante da bomba		9	1	4	36
				Falha na montagem	Falta de procedimento e treinamento, ou de experiência / Supervisão inadequada	10	3	6	180	A4- Criar procedimento de montagem, A5- Treinar equipe		10	1	6	60
		Quebrado	Diminuição de Vazão	Contato com a carcaça	Gerenciamento Plano de Manutenção	9	6	2	108	A1	A1, A4, A5	9	6	1	54
				Falha na montagem	Falta de procedimento, treinamento, ou de experiência / Supervisão inadequada	10	3	6	180	A4, A5		10	1	6	60
			Aumento de Vibração	Presença de corpo estranho	Projeto - Detalhamento inadequado	9	3	4	108	A3, A6- Criar plano de preditiva para análise de vibração	A6	9	1	4	36
		Folgado	Diminuição de vazão	Falha na Montagem	Falta de procedimento, treinamento, ou de experiência / Supervisão inadequada	9	6	2	108	A4, A5	A4, A5	9	6	1	54

Figura 2. FMEA para o rotor.

Empresa	Universidade Federal da Bahia	Equipe	Autores														
Sistema	Bombeamento de catalizador	Data	07/01/2018														
Função	Bombear Catalisador a uma vazão de 210 m³/h																
Falha funcional	Bombear a uma pressão abaixo de 210 m³/h																
					Análise de Risco - Cenário atual									Risco - Cenário Pós ações			
Subsistema	Ponto	MODO DE FALHA POTENCIAL	EFEITO (S) DA FALHA EM	CAUSA ATIVA	CAUSA LATENTE E/OU ESPECIAL	Gravidade	Frequência	Deteção	NPR	AÇÃO PREVENTIVA RECOMENDADA	AÇÃO TOMADA	Gravidade	Frequência	Deteção	NPR		
Conjunto rotativo	Eixo	Desalinhado	Não bombeia	Lubrificação inadequada do mancal	Mudança nas condições operacionais / Gerenciamento Plano de Manutenção	10	6	2	120	A1 - Criar plano de preventiva para inspecionar lubrificação e vedação	A1, A2, A3, A4, A7	10	3	1	30		
				Vedação insuficiente		9	6	3	162	A2 - Criar plano de preventiva para inspecionar vedação		9	4	2	72		
				Erro humano na montagem	Falta de procedimento, treinamento, ou de experiência / Supervisão inadequada	10	6	3	180	A3 - Criar procedimento de montagem, A4 - treinar equipe		10	4	2	80		
			Aumento da vibração	Fadiga	Gerenciamento - Plano de Manutenção	9	4	3	108	A5- Criar preditiva para análise de vibração		9	3	2	54		
		Quebrado	Não bombeia	Erro humano na montagem	Gerenciamento - Plano de Manutenção	10	2	1	20	A3, A4	A3, A4, A7	10	1	1	10		
				Lubrificação inadequada do mancal	Mudança nas condições operacionais / Gerenciamento PM	10	2	1	20	A1, A7- Gerenciamento de mudanças		10	1	1	10		
		Sentido de rotação invertido	Não bombeia	Erro humano na montagem	Falta de procedimento e treinamento, ou de experiência	10	3	1	30	A3, A4	A3, A4	10	2	1	20		
		Empenado	Aumento da vibração	Erro humano na montagem	Falta de procedimento, treinamento, ou de experiência / Supervisão inadequada	9	6	3	162	A3, A4	A3, A4	9	6	1	54		

Figura 3. FMEA para o eixo.

X Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 20 a 24 de maio de 2018, Salvador - Bahia

Empresa	Universidade Federal da Bahia	Equipe	Autores												
Sistema	Bombeamento de catalizador	Data	07/01/2018												
Função	Bombear Catalisador a uma vazão de 210 m³/h														
Falha funcional	Bombear a uma pressão abaixo de 210 m³/h														
				Análise de Risco Cenário atual				Análise de Risco - Cenário Pós ações							
Subsistema	Ponto	MODO DE FALHA POTENCIAL	EFEITO (S) DA FALHA EM	CAUSA ATIVA	CAUSA LATENTE E/OU ESPECIAL	Gravidade	Frequência	Deteção	NPR	AÇÃO PREVENTIVA RECOMENDADA	AÇÃO TOMADA	Gravidade	Frequência	Deteção	NPR
Conjunto rotativo	Mancal	Desgastado (não dá suporte ao eixo)	Aumento da temperatura (com interrupção da vazão)	Falha no rolamento	Gerenciamento Plano de Manutenção (GPM)	9	6	2	108	A1 - Criar plano de preventiva para inspecionar folgas e desgastes	A1, A2, A3, A4, A5	9	4	1	36
				Deslocamento do rotor		9	6	2	108	A2 - Criar plano de preditiva para controle de temperatura		9	4	1	36
				Fratura por fadiga	Erro humano montagem e/ou GPM	9	3	6	162	A3 - Criar procedimento de montagem		9	1	4	36
				Desalinhamento entre mancal e eixo	Mudança nas condições operacionais e/ou GPM	9	3	2	54	A4 - Treinar equipe		9	1	1	9
			Aumento da vibração	Lubrificação inadequada	Gerenciamento Plano de Manutenção (GPM)	9	6	2	108	A4, A5 - Criar plano de preventiva para lubrificação	A3, A4, A5, A7, A8	9	3	1	27
				Lubrificação inadequada	Gerenciamento Plano de Manutenção (GPM)	9	6	2	108	A4, A5		9	3	1	27
				Desalinhamento entre mancal e eixo	Mudança nas condições operacionais e/ou GPM	9	6	2	108	A8 - Criar plano de preditiva para análise de vibração		9	1	1	9
				Erro humano na montagem	Gerenciamento - Plano de Manutenção	9	6	6	324	A3, A4		9	4	4	144
		Quebrado (não dá suporte ao eixo)	Fluido não bombeado	Lubrificação inadequada	Gerenciamento Plano de Manutenção (GPM)	9	4	2	72	A4, A5	A1, A2, A3, A4, A5	9	2	1	18
				Falha no rolamento	Gerenciamento Plano de Manutenção (GPM)	9	4	2	72	A1, A2		9	2	1	18
				Erro humano na montagem	Falta de procedimento, treinamento, ou de experiência / Supervisão inadequada	9	4	6	216	A3, A4		9	3	4	108

Figura 4. FMEA para o mancal.

Empresa	Universidade Federal da Bahia	Equipe	Autores															
Sistema	Bombeamento de catalizador	Data	07/01/2018															
Função	Bombear Catalisador a uma vazão de 210 m³/h																	
Falha funcional	Bombear a uma pressão abaixo de 210 m³/h																	
												Análise de Risco - Cenário atual			Análise de Risco - Cenário Pós ações			
Subsistema	Ponto	MODO DE FALHA POTENCIA L	EFEITO (S) DA FALHA EM	CAUSA ATIVA	CAUSA LATENTE E/OU ESPECIAL	Gravidade	Frequência	Deteção	NPR	AÇÃO PREVENTIVA RECOMENDADA	AÇÃO TOMAD A	Gravidade	Frequência	Deteção	NPR			
Conjunto Rotativo	Rolamento	Quebrado	Falha do Equipamento	Fadiga	Gerenciamento Plano de Manutenção (GPM)	10	3	6	70	A1 - Inspecionar temperatura e ciclos de operação	A1, A2, A3, A4	10	3	6	50			
				Lubrificação deficiente	Mudanças nas condições operacionais e/ou GPM	9	3	5	60	A2 - Inspeção e reposição de lubrificantes		9	3	6	50			
				Contaminação	Projeto - Detalhamento inadequado	9	2	5	60	A3 - Criar plano preventivo contra contaminantes		9	1	6	50			
				Erro na Montagem	Falta de procedimento, treinamento, ou de experiência / Supervisão inadequada	10	3	6	70	A4 - Treinamento de operadores		10	1	7	50			
				Manuseio inadequado	Falta de procedimento, treinamento, ou de experiência	10	2	5	70	A4 - Treinamento de operadores		10	1	7	50			

Figura 5. FMEA para o rolamento.

Empresa	Universidade Federal da Bahia	Equipe	Autores												
Sistema	Bombeamento de catalizador	Data	07/01/2018												
Função	Bombear Catalisador a uma vazão de 210 m³/h														
Falha funcional	Bombear a uma pressão abaixo de 210 m³/h				Análise de Risco - Cenário atual					Análise de Risco - Cenário Pós ações					
Subsistema	Ponto	MODO DE FALHA POTENCIAL	EFEITO (S) DA FALHA EM	CAUSA ATIVA	CAUSA LATENTE E/OU ESPECIAL	Gravidade	Frequência	Deteção	NPR	AÇÃO PREVENTIVA RECOMENDADA	AÇÃO TOMADA	Gravidade	Frequência	Deteção	NPR
Conjunto rotativo	Acomplamento	Desbalanceado	Aumento de Vibração	Erro humano na montagem	Falta de procedimento, treinamento, ou de experiência / Supervisão inadequada	9	9	7	567	A1 - Criar plano de preventiva para inspecionar vibração	A1, A2, A3, A5, A7	9	6	1	54
				Folga de componentes	Gerenciamento Plano de Manutenção (GPM)	9	7	6	378	A2- Criar plano de preventiva para realizar check-list antes de partida de equipamento.		NA	NA	NA	NA
			Transmissão de vibração	Excesso de massa em uma determinada área.		9	7	5	315	A3- Criar procedimento padrão de montagem		9	1	4	36
			Aumento de temperatura	Erro humano na montagem	Falta de procedimento, treinamento, ou de experiência / Supervisão inadequada	7	5	6	210	A4- Criar plano de preventiva para inspecionar temperatura e umidade.		10	1	6	60
		Folga	Falha no acoplamento	Erro humano na montagem	Falta de procedimento, treinamento, ou de experiência / Supervisão inadequada	9	5	5	225	A5- Treinar Equipe	A2, A5	9	6	1	54
										A3		10	1	6	60
			Diminuição do rendimento da transmissão de rotação	Folga devido ao tempo de uso.	Gerenciamento Plano de Manutenção (GPM)	9	4	7	252	A7- Criar plano de preventiva para inspecionar torque dos parafusos.		9	1	4	36
		Desgaste	Fadiga	Erro humano na montagem	Falta de procedimento, treinamento, ou de experiência / Supervisão inadequada	7	5	6	210	A4, A5	A6, A4, A5				
			Falha no acoplamento	Backlash	Gerenciamento Plano de Manutenção (GPM)	8	7	7	392	A6- Evitar partida ou inversão de rotação de forma brusca.		9	6	1	54
				Condições ambientais desfavoráveis		7	4	8	224	A4					

Figura 6. FMEA para o acoplamento.

Após a realização de todas as FMEA's, obteve-se um banco de dados relacionados às falhas e suas causas (ou condições) latentes. Este banco de dados foi tratado e, em seguida, subdividido em Tipo, Classe, Categoria e Causa. O resultado é apresentado na Tab. 3.

Tabela 3. Tabela taxonômica das causas de falhas.

Tipo	Classe	Categoria	Causa
Falha Sistêmica	Erro Humano	Gerenciamento	Criticidade do componente incorreta/indefinida
			Política de manutenção não aplicada
			Plano de manutenção inexistente
			Plano de manutenção não executado ou planejado
		Treinamento	Supervisão inadequada
			Treinamento inexistente
			Prática insuficiente
			Conteúdo inadequado
			Retreinamentos insuficientes
			Apresentação ou materiais inadequados
		Procedimento	Falta de procedimento
			Procedimento Incorreto
		Pessoal	Ambiente de trabalho inadequado
			Falta de atenção para detalhes
			Violação de requisitos ou procedimentos
			Stress ou carga de trabalho elevada
			<i>Turn over</i>
			Problema de comunicação verbal
Falhas Especiais	Tecnologia	Projeto	Interface homem-máquina inadequada
			Projeto errado ou inadequado
			Erro de seleção de equipamento ou material
			Erro de dados, especificação ou desenho
		Fabricação	Falha no controle de qualidade
			Falha no controle dimensional
			Erro de fabricação ou de expedição
		Material	Especificação incorreta
			Fornecimento incorreto
			Contaminação
	Externos	Ambiente	Condições ambientais ou de clima
		Energia	<i>Blackout</i>
			Oscilação no fornecimento de Energia
		Sinistros	Explosão ou incêndio externo
			Vandalismo, sabotagem, atentado

Sendo assim, o Sistema de Gerenciamento da Manutenção foi atualizado com esse banco de dados, restringindo o apontamento de falhas e suas causas para cada componente. A equipe de Operação e Manutenção foi, então, treinada, com a nova configuração de apontamento de falhas, em que, ao selecionar o componente, apenas os modos de falhas e suas causas são disponibilizados, conforme determinado na elaboração de cada FMEA. Como resultados pode-se destacar:

- Crescimento da quantidade de falhas e suas causas, durante apontamento, por parte da operação e manutenção. Geralmente em função da complexidade do sistema de apontamento e a grande quantidade de falhas e modos de falhas, os operadores e mantenedores não apontavam as falhas. A correção do banco de dados, aliada ao treinamento da equipe no apontamento de dados, levou a este crescimento quantitativo. Esse resultado se deu em função da maior praticidade e simplicidade no apontamento de falhas.

- b) Melhor qualidade do apontamento da falha e de suas causas. Geralmente, quando apontadas, as mesmas falhas eram apontadas de formas diferentes, o que tornava o banco de dados não confiável. Novamente, devido à simplicidade do sistema, as falhas foram selecionadas conforme o componente falhou. Esse é um grande ganho para o Sistema de Manutenção como um todo, pois os engenheiros de manutenção e de confiabilidade raramente dispõem de dados com a qualidade necessária.
- c) Importância de se tratar causas não técnicas. A construção da FMEA tradicional não trata fatores humanos e organizacionais. Este estudo levou em consideração tais fatores por entender que a tomada de decisão na construção de barreiras seja mais assertiva com essa nova abordagem.
- d) Banco de dados confiável. Com um banco de dados mais confiável, o trabalho do engenheiro de manutenção ou confiabilidade é bastante simplificado, sendo possível escolher quais ferramentas pode-se utilizar em busca de melhores performances do equipamento. Assim, estes estudos vão nortear a manutenção quanto à alocação de recursos humanos e de investimentos para melhorar o desempenho do equipamento e, consequentemente, a Disponibilidade Operacional da planta.
- e) Maiores acuracidade e assertividade no orçamento de manutenção. Sabendo como o equipamento pode falhar e quando ele pode falhar, pode-se prever a alocação de recursos de manutenção de rotina para este equipamento.
- f) Maior produtividade das equipes de manutenção. Como anteriormente era necessário procurar em um banco de dados muito vasto e, muitas vezes, sem as informações sobre falhas e suas causas, o mantenedor despendia uma grande quantidade de tempo para apontar uma falha. Como o sistema foi simplificado e se tornou mais confiável, esse tempo para apontamento diminuiu significativamente, maximizando a produtividade da equipe.

5. CONCLUSÃO

A Indústria atualmente passa por um salto nos assuntos referentes à QSMS-RE, além de maiores exigências referentes a custos otimizados aliados a maiores disponibilidades operacionais. Para isto, é necessário ter uma estratégia de atuação de Manutenção que possa permitir rupturas. A análise de dados é uma ferramenta que embasa as tomadas de decisão quanto a estas estratégias, porém, se baseada em dados viciados e não confiáveis, pode levar a tomadas de decisão incorretas. Dentro desse contexto, o aperfeiçoamento da taxonomia de falha para construção de um banco de dados único, confiável e robusto possibilita conexão dos nós das falhas nas causas comuns, tornando eficientes a tomada de decisão gerencial e o estabelecimento correto das barreiras preventivas.

6. REFERÊNCIAS

- Ávila Filho, S., 2012, “Análise de falha em processos complexos”, XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Búzios, RJ.
- Ávila Filho, S., Dias, C., 2017, “Reliability research to design barriers of sociotechnical failure”, Annual European Safety and Reliability Conference (ESREL), 27.
- Ávila Filho, S., Menzenes, D., 2017, “Control of systemic failure through design criteria”, RISKDyn, ESREL 2017 | European Safety and Reliability Conference, 2017, Portoroz. Safety and Reliability Theory and Applications. Leiden: CRC Balkema Taylor & Francis, 2017.
- Cacciabue, P. C., 2000, “Human factors impact on risk analysis of complex systems”, Journal of Hazardous Materials, Vol. 71, pp. 101–116.
- Duan, R-X., Zhou, H-L., 2012, “A New Fault Diagnosis Method Based on Fault Tree and Bayesian Networks”, 2012 International Conference on Future Electrical Power and Energy Systems. Energy Procedia 17, pp. 1376 – 1382, SciVerse, ScienceDirect, ELSEVIER.
- Ericson, C.A., 1999, “Fault Tree Analysis – a history”, Proc. 17th International System Safety Conference, pp. 1-9, Orlando, Florida, USA.
- Ferreira, J. F. M. G. “Análise da confiabilidade do sistema de compressão de CO₂ numa planta petroquímica considerando os fatores técnico-operacionais e humanos”. 2018. 128 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2017.
- Jun, H-B., Kim, D., 2017, “A Bayesian network-based approach for fault analysis”, Expert Systems With Applications, 81, pp. 332 - 348, ELSEVIER.
- Kabir, S., 2017, “An overview of fault tree analysis and its application in model based dependability analysis”, Expert Systems With Applications, 77, pp. 114 - 135, ELSEVIER.
- Penkey, P.S; Siddiqui, N.A., 2015, “A review on accident pyramid and its empirical interpretation in oil & gas industry (upstream)”, International Journal of Scientific and research publications, Vol. 5, Issue 1, ISSN 2250 – 3153.
- Ruijters, E., Stoelinga, M., 2015, “Fault tree analysis: A survey of the state-of-the-art in modeling, analysis and tools”, Computer Science Review 15-16, pp. 29 – 62, ScienceDirect, ELSEVIER.
- Sagan, S. D., 1994, “Toward a Political Theory of Organizational Reliability”, Journal of Contingencies and Crisis Management, Vol. 2.
- Sartori, I., Amaro, C.A; Souza Junior, M.B; Embiruçu, M., 2012, “Detecção, Diagnóstico e Correção de falhas: Uma proposição consistente de definições e terminologias”, Science & Engineering Journal, Vol. 21 pp. 41-53.
- Sivini, P.G.L. Desenvolvimento de banco de dados de confiabilidade: Uma aplicação em estações redutoras de pressão de gás natural. Dissertação em Engenharia de Produção – UFPE. Pernambuco. 2006.

Stamatelatos, M., Vesely, W., Dugan, J.B., Fragola, J., Minarick, J., Railsback, J., 2002, "Fault Tree Handbook with Aerospace Applications", Office of safety and mission assurance NASA headquarters, USA.
Vesely, W. E., Goldberg, F. F., Roberts, N. H., Haasl, D. F, 1981, "Fault tree handbook", USA: US Nuclear Regulatory Commission, Washington DC.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

"Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho".

A PROPOSED FAILURE'S TAXONOMY TO IMPROVE THE QUALITY OF DATA BANK AND DECISIONS IN INTEGRATED MANAGEMENT AND ASSETS

¹Deivton Costa Santiago, deivts01@gmail.com

¹José Filipe Michel Gagliano Ferreira, gagliano.fm@gmail.com

¹Lauro Raphael Guerra Miranda, laurorgmc@gmail.com

¹Milena Lima Brandao, milenalbrandao@gmail.com

¹Ricardo Azevedo Rocha, rick.engmec@gmail.com

¹Salvador Ávila Filho, avilasalva@gmail.com

¹Federal University of Bahia, Street Prof. Aristides Novis, 02, Federação, ZIP 40210630, Salvador-BA, Brazil.

Abstract. *The increasing complexity of process has required a better approach on fault analysis. It's a common habit to study separately the stages of identification of failures, however the events do not happen isolated and the different areas involved should act in an integrated way with each other. Such communication can be more effective if database swere used to a single taxonomy easier to understand among all areas, avoiding multiple interpretations and loss of information during the process. This lack of integration has a direct impact on the decisions made by managers. Based on this premissa and seeking to attend to QSMS-RE, this paper provides a study of fault analysis in several stages, since the restrictions on technology and operation, and also on the elaboration, application, risks and viabilites to the validation of a proposed methodology and data bank resulting from the study.*

Keywords: *Failure Taxonomy, Sistemic Failure, Fault Analysis.*