

Avaliação da Confiabilidade de Equipamentos com a Técnica HazOp

Elifas Moraes Alves Junior, Fernando da Silva Queiroga, Henrique Augusto Paiva, Tiago do Monte Correa
Novo
INERCO Consultoria Brasil Ltda.

1. OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo apresentar a importância da realização de um HazOp com técnicas de confiabilidade como complemento da análise tradicional e comprovar a viabilidade da sua aplicação em escala industrial, determinando com maior exatidão medidas associadas ao aumento da confiabilidade de equipamentos, seja por meio da implementação de melhorias no programa de manutenção, seja por meio da implementação de medidas físicas associadas a redundâncias de equipamentos ou até mesmo novos equipamentos.

Para tanto, além de uma breve apresentação da técnica de HazOp, é apresentada uma matriz de risco descrevendo os critérios de frequência, severidade e a classificação de risco. Além da matriz de risco, adicionalmente, foi introduzido o conceito de indisponibilidade dos equipamentos, obtendo-se uma análise semi-quantitativa dos desvios.

Dessa forma, esse trabalho, por meio do estudo de um caso hipotético, apresenta a técnica descrita e permite, com base na classificação dos desvios de forma semi-quantitativa, determinar com maior exatidão medidas associadas ao aumento da confiabilidade de equipamentos.

2. DESCRIÇÃO DO TRABALHO

2.1 Estudo de Perigos e Operabilidade (HazOp)

O Estudo de Perigos e Operabilidade (HazOp) foi desenvolvido para identificar os perigos e desvios operacionais em instalações de processos industriais, os quais, apesar de aparentemente não apresentarem perigos imediatos, podem comprometer a produtividade e a segurança da instalação. Foi desenvolvido originalmente para análise qualitativa de perigos e problemas operacionais, principalmente na utilização de novas tecnologias, onde o conhecimento sobre a operacionalidade das mesmas é escasso ou inexistente, sendo também utilizado nos vários estágios da vida útil de instalações industriais.

A utilização do HazOp orienta a realização de um estudo eficiente, detalhado e completo sobre as variáveis envolvidas no processo. É possível, identificar sistematicamente os caminhos pelos quais os equipamentos envolvidos no processo industrial podem falhar ou serem operados de forma inadequada, levando a situações indesejáveis de operação. Desta forma, o HazOp é uma avaliação não quantificada dos perigos e dos problemas operacionais presentes em um processo.

A aplicação da técnica é realizada durante reuniões com equipe multidisciplinar. Nas reuniões, após a divisão da planta em pontos de estudo (nós), o Coordenador dos trabalhos orienta o grupo para que as discussões dos participantes possam ser identificados diferentes desvios operacionais. Para tanto, é utilizado um conjunto de perguntas estruturadas, usando palavras-guia, que focam os desvios dos parâmetros de processo estabelecidos.

Em cada nó de estudo, a equipe de análise procura identificar as causas de cada desvio identificado e, caso sejam constatadas consequências relevantes são avaliados os sistemas de proteção existentes ou previstos, de modo a determinar se os mesmos são suficientes para controlar essas situações ou se há a necessidade de ser recomendada a inclusão de novos dispositivos de segurança, alterações no projeto ou em procedimentos operacionais. Esse procedimento é repetido até que cada equipamento de interesse ou seção do processo tenha sido revisado em todos os parâmetros de processo pertinentes.

2.1.1 Matriz de Risco

Foi desenvolvida uma matriz de risco operacional de forma a avaliar os riscos impostos às pessoas, Instalações/Equipamentos, Meio Ambiente e Imagem. Estes riscos são obtidos pela relação da frequência de ocorrência e severidade associada a cada desvio operacional.

A categoria de frequência de ocorrência que serviu de base para a concepção da matriz de risco é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Descrição das Categorias de Frequência

Categoria de Frequencia	Descrição
1	Pode ocorrer muitas vezes neste tipo específico de instalação
2	O evento é quase certo de ocorrer neste tipo específico de instalação
3	Pouco provável de ocorrer durante a vida útil de um conjunto de instalações similares
4	Eventos similares são improváveis de ocorrer, mas tem ocorrido raramente em algum local no mundo, em instalações similares
5	Nenhum dado histórico na indústria sugere que o evento ocorrer

A Tabela 2 apresenta as descrições de severidade elaboradas para pessoas, meio ambiente, Imagem e Instalações/Equipamentos.

Tabela 2 – Descrição das Categorias de Severidade

Severidade	Pessoas	Meio Ambiente	Imagem	Instalações/ Equipamentos
Catastrófica	Múltiplas fatalidades intramuros e/ou extramuros	Danos severos em áreas sensíveis	Impacto Nacional e/ou Internacional	Perda da Instalação
Severo	Fatalidade Intramuros ou lesões graves extramuros	Danos severos em efeito localizado	Impacto Regional com prejuízo na entrega do produto	Perda de 1 ou mais equipamentos
Moderado	Lesões Graves Intramuros ou lesões leves extra-muros	Danos moderados	Impacto Local com prejuízo na entrega do produto	Danos moderados a equipamentos
Pequeno	Lesões Leves	Danos leves	Repercussão Interna sem prejuízo na entrega do produto	Danos leves a equipamentos
Insignificante	Sem lesões ou no máximo primeiros socorros	Danos insignificantes	Impacto Insignificante	Danos insignificantes a equipamentos

Quanto às classes de risco, foram definidas três categorias, conforme descrições apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Níveis de Risco

Categoria de Risco	Descrição
Baixo (B)	Não há necessidade de medidas adicionais. A monitoração é necessária para assegurar que os controles sejam mantidos.
Médio (M)	Controles adicionais devem ser avaliados com o objetivo de obter-se uma redução dos riscos e implementados aqueles considerados praticáveis (região ALARP - “As Low As Reasonably Practicable”)
Alto (A)	Os controles existentes são insuficientes. Métodos alternativos devem ser considerados para reduzir a probabilidade de ocorrência ou a severidade das consequências, de forma a trazer os riscos para regiões de menor magnitude de riscos (regiões ALARP ou tolerável)

2.3 Confiabilidade

A confiabilidade de um sistema, componente, peça, entre outros, é definida como a probabilidade de que o mesmo funcione por um dado período de tempo, sob condições operacionais especificadas e segundo um critério de sucesso pré-estabelecido.

Do ponto de vista probabilístico, diz-se que o tempo de vida do componente, sistema, entre outros, é representado por uma variável aleatória (por exemplo T) e, então, a sua confiabilidade é expressa como:

$$R(t) = P(T > t), \text{ ou seja,}$$

a confiabilidade é a probabilidade de que o sistema sobreviva a um intervalo de duração t.

A princípio, a confiabilidade de um componente é calculada por meio do emprego do conceito de taxa de falha, representada genericamente por $\lambda(t)$. A interpretação intuitiva da taxa de falhas é o número de falhas que um componente sofre por unidade de tempo.

De acordo com a referência Red Book [1] do TNO para o Ministério de Uso e Ocupação do Solo na Holanda (VROM) são apresentadas metodologias, dados de falha e critérios para a classificação de frequência de ocorrência de cenários associados a riscos identificados.

A consulta ao TNO Red Book serviu de base para se introduzir na matriz de risco o conceito de confiabilidade dos equipamentos e camadas de proteção, transformando o critério de classificação dos riscos em um formato semi-quantitativo.

Desta forma, com base nos dados de falha dos equipamentos pertinente a cada uma das causas associados aos riscos identificados, foi determinada a probabilidade de falha na demanda, utilizando a fórmula 5.42 da página 5.20 do TNO Red Book apresentada a seguir:

$$PFD = \frac{\lambda T}{2}, \text{ onde}$$

λ é a taxa de falha do equipamento e T é o período entre testes/manutenção

Os dados de falha dos equipamentos foram retirados das seguintes literaturas: BEVI 2009 [2] e OREDA[3] 2015. Com base nesta metodologia, a probabilidade de ocorrência de cada risco/desvio identificado foi calculada, sendo o valor obtido, enquadrado nas cinco categorias utilizadas.

A definição quantitativa das classes de frequência para este enquadramento foi realizada com base em um levantamento realizado no OREDA[3] – Offshore Reliability Data 2015.

Considerando uma base anual de período entre testes/manutenção, a probabilidade média de falha na demanda máxima admitida para os equipamentos/sistemas foi de 1%. Um risco/desvio operacional que dependa da falha de um equipamento apenas (com probabilidade de falha de 1%), sem nenhuma camada de proteção, foi definido na categoria de frequência “1”, estando a frequência de ocorrência deste cenário, classificado com o maior grau disponível na escala. Desta forma, riscos com probabilidade de ocorrência maiores ou iguais a 1% foram classificados na categoria “1” de frequência.

Seguindo a metodologia de camadas de proteção estipulada no TNO Red Book[1], foi considerado que cada camada de proteção existente contribui para a redução de 1 (uma) ordem de grandeza da probabilidade calculada. Desta forma, a cada camada de proteção existente, a probabilidade de ocorrência do risco foi diminuída até a obtenção da classificação mínima “5”.

Considerando os conceitos de probabilidade de falha na demanda média e camadas de proteção, a Tabela 4 apresenta a complementação da descrição das categorias de frequência utilizada.

Tabela 4 – Definições Semi-Quantitativas Classes de Frequência

Classe de Frequência	Valor de Probabilidade	Descrição Camadas de Proteção
1	>1 %	Uma simples falha pode causar o evento, ou; Erro(s) humano(s) isolado(s) pode(m) causar o evento.
2	0,1 % - 1 %	Uma simples camada de proteção confiável ou salvaguarda confiável mais interface com o operador;
3	0,01% - 0,1 %	Existem pelo menos duas camadas de proteção confiáveis independentes. A falha de uma delas NÃO permite a ocorrência do evento.
4	0,0001% - 0,01 %	Existem no local pelo menos três camadas de proteção confiáveis independentes. A falha de duas delas NÃO permite a ocorrência do evento;
5	<0,00001%	Existem no local pelo menos quatro camadas de proteção confiáveis independentes. A falha de três delas NÃO permitirá a ocorrência do evento.

Ressalta-se que o conceito de camadas de proteção está associado não somente a dispositivos físicos que impeçam a ocorrência do risco, minimizem os impactos ou diminuam a frequência de ocorrência, como também procedimentos operacionais bem definidos associados às causas identificadas para cada risco.

3. ESTUDO DE CASO

Com o objetivo de avaliar a aplicabilidade da técnica, foi realizado um HazOp utilizando as premissas de confiabilidade para o processo de obtenção de fosfato diamônico, sendo assim, é apresentado uma breve descrição do processo.

2.1 Fertilizantes Fosfatados

A indústria de fertilizantes pertence ao setor petroquímico, embora tenha vínculos estreitos com a indústria de mineração. Tecnicamente, os produtos finais da indústria de fertilizantes resultam da mistura de produtos oriundos da rota nitrogenada (N), da rota fosfatada (P) e da rota potássica (K). Os produtos da cadeia nitrogenada têm origem, fundamentalmente, na produção de amônia a partir do petróleo. Os produtos da cadeia fosfatada, por sua vez, são processados a partir da rocha fosfática.

Os fertilizantes promovem o aumento de produtividade agrícola, possibilitando proteger e preservar milhares de hectares de florestas e matas nativas, assim como a fauna e a flora.

O fósforo, um dos três macronutrientes principais, juntamente com o nitrogênio e o potássio, é elemento fundamental no processo de conversão da energia solar em alimento, fibra e óleo pelas plantas. Desempenha função chave na fotossíntese, no metabolismo de açúcares, no armazenamento e transferência de energia, na divisão celular, no alargamento das células e na transferência da informação genética

Os fertilizantes minerais são constituídos por compostos inorgânicos e orgânicos sintéticos obtidos por processos industriais (ex.: uréia). Podem ser simples (com um único composto químico, mas com um ou mais nutrientes, macro e/ ou micro) ou mistos (resultam da mistura de dois ou mais fertilizantes simples). Os fertilizantes mistos subdividem-se em vários tipos, sendo os mais conhecidos, as misturas (mistura física de dois ou mais fertilizantes simples que podem estar individualmente na forma granulada ou em pó) e os fertilizantes complexos ou granulados complexos (são preparados por processo químico contendo dois ou mais compostos químicos em cada unidade de grânulo).

Os fertilizantes fosfatados mais comuns podem ser classificados com base no número de nutrientes e na sua composição química:

- Com um macronutriente primário (P):
 - Superfosfato simples (SSP), superfosfato triplo (TSP) termofosfato magnésiano
- Com dois macronutrientes primários (P, N)
 - Fosfato monoamônico (MAP)
 - Fosfato diamônico (DAP)

2.1.1 Produção de Fosfato Diamônico

De maneira geral, o processo produtivo da indústria de fertilizantes fosfatados compreende as seguintes etapas:

- Beneficiamento da rocha fosfática que visa a concentração do fosfato por meio de cominuição e de separação (magnética e flotação);
- Reação ou acidulação para conversão do concentrado fosfórico para compostos químicos com maior “disponibilidade” ou solubilidade do fósforo, etapa que ocorre no reator e prossegue em correia transportadora de reação e, em menor intensidade, no depósito de cura.

De maneira simplificada o fosfato diamônico é formado a partir da adição de ácido fosfórico e amônia em um reator. Se for acrescentado amônia em excesso é gerado uma reação incompleta liberando amônia para o ambiente, produto altamente tóxico perigoso, caso seja adicionado ácido fosfórico em excesso, é gerado um produto indesejado, porém não perigoso. A Figura 1 apresenta um esquemático simplificado do processo

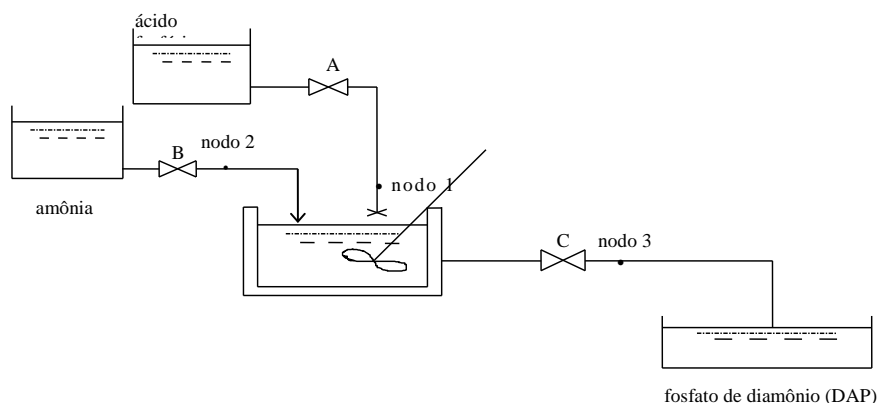


Figura 1 – Esquemático de Processo Simplificado

2.2 Avaliação do Sistema Proposto

Para efeito de avaliação, foram selecionados três desvios de processo, com potencial de gerar danos significativos a planta e ao entorno, permitindo o cálculo da confiabilidade destes sistemas críticos e a aferição de eventuais camadas de proteção ou melhorias no processo.

Os dados de falha dos equipamentos foram retirados das seguintes literaturas: BEVI[2] 2009 e OREDA[3] 2015, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Dado de Falha dos Equipamentos

Equipamento	Modo de falha	Frequência (oc/ano)	Tempo de manutenção (ano)	Indisponibilidade	Referência
Linha D \leq 75 mm	Ruptura	1,00E-06	1	5,00E-07	Bevi, 2009, Tabela 27, p.42.
Válvula esfera	Todos os modos de falha	5,00E-02	1	2,50E-02	OREDA, 2015, pp.491 e 494.
Sensor de nível	Falha em funcionar na demanda	1,11E-01	1	5,55E-02	OREDA, 2015, p.391.
Sensor de vazão	Todos os modos de falha	3,18E-02	1	1,59E-02	OREDA, 2015, p. 389.

Na sequência são apresentadas as planilhas de HazOp correlacionando os desvios operacionais e a indisponibilidade dos equipamentos.

Empresa: Fictícia			Sistema: Produção de Fosfato Diamônio						Data: 31/08/2017			
			Nó 1: Alimentação de Ácido Fosfórico no reator						Revisão: 1			
Referência: Esquemático Simplificado												
Item	Desvio	Causa	Efeitos	Detecções e salvaguardas	Classificação				Recomendações	Justificativa da frequência		
					Categoria	Freq.	Sev.	Risco				
1	Vazão nenhuma	Válvula A em modo de falha (falha fecha).	- Excesso de amônia no reator - Liberação de amônia para a atmosfera		Pessoas	1	Sev.	Alto	- Instalação de um medidor de vazão a jusante da Válvula A - Fechamento automático da Válvula B em caso de vazão nenhuma na linha de alimentação de ácido fosfórico no reator (intertravamento da válvula B com o medidor de vazão)	Equipamento: 1 válvula esfera	Quant.	2,50E-02
					Instal./Equip.	1	Peq.	Médio		1ª Camada		
					M.A.	1	Mod.	Médio		2ª Camada		
					Imagem	1	Sev.	Alto		3ª Camada		
2	Vazão nenhuma	Rompimento da linha por impactos mecânicos (queda de carga, colisão com equipamentos).	- Excesso de amônia no reator - Liberação de amônia para a atmosfera		Pessoas	4	Sev.	Médio	- Instalação de um medidor de vazão a jusante da Válvula A - Fechamento automático da Válvula B em caso de vazão nenhuma na linha de alimentação de ácido fosfórico no reator (intertravamento da válvula B com o medidor de vazão)	Equipamento (50 m linha d< 75 mm)	Quant.	5,00E-07
					Instal./Equip.	4	Peq.	Baixo		1ª Camada		
					M.A.	4	Mod.	Baixo		2ª Camada		
					Imagem	4	Sev.	Médio		3ª Camada		
3	Vazão nenhuma	Falha dos instrumentos de medição (indicação errada ou ausência de sinal)	- Excesso de amônia no reator - Liberação de amônia para a atmosfera		Pessoas	1	Sev.	Alto	- Instalação de um medidor de vazão a jusante da Válvula A - Fechamento automático da Válvula B em caso de vazão nenhuma na linha de alimentação de ácido fosfórico no reator (intertravamento da válvula B com o medidor de vazão)	Equipamento	Quant.	5,55E-02
					Instal./Equip.	1	Peq.	Médio		1ª Camada		
					M.A.	1	Mod.	Médio		2ª Camada		
					Imagem	1	Sev.	Alto		3ª Camada		

Figura 2 – Planilha de HazOp

Empresa: Fictícia			Sistema: Produção de Fosfato Diamônio						Data: 31/08/2017			
			Nó 1: Alimentação de Ácido Fosfórico no reator						Revisão: 1			
Referência: Esquemático Simplificado												
Item	Desvio	Causa	Efeitos	Detecções e salvaguardas	Classificação				Recomendações	Justificativa da frequência		
					Categoria	Freq.	Sev.	Risco				
1	Vazão nenhuma	Válvula A em modo de falha (falha fecha).	- Excesso de amônia no reator - Liberação de amônia para a atmosfera		Pessoas	3	Sev.	Médio	- Instalação de um medidor de vazão a jusante da Válvula A - Fechamento automático da Válvula B em caso de vazão nenhuma na linha de alimentação de ácido fosfórico no reator (intertravamento da válvula B com o medidor de vazão)	Equipamento: 1 válvula esfera	Quant.	2,50E-02
					Instal./Equip.	3	Peq.	Baixo		1ª Camada		1,59E-02
					M.A.	3	Mod.	Médio		2ª Camada		
					Imagem	3	Sev.	Médio		3ª Camada		
										Final	3,98E-04	
3	Vazão nenhuma	Falha dos instrumentos de medição (indicação errada ou ausência de sinal)	- Excesso de amônia no reator - Liberação de amônia para a atmosfera		Pessoas	1	Sev.	Alto	- Instalação de um medidor de vazão a jusante da Válvula A - Fechamento automático da Válvula B em caso de vazão nenhuma na linha de alimentação de ácido fosfórico no reator (intertravamento da válvula B com o medidor de vazão)	Equipamento	Quant.	5,55E-02
					Instal./Equip.	1	Peq.	Médio		1ª Camada		
					M.A.	1	Mod.	Médio		2ª Camada		
					Imagem	1	Sev.	Alto		3ª Camada		1,59E-02
										Final	8,78E-04	

Figura 3 – Planilha de HazOp considerando Camada de Proteção

4. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A partir dos cálculos de confiabilidade utilizados nas planilhas de HazOp foi possível determinar com maior exatidão a ocorrência dos desvios, associando a indisponibilidade de equipamentos. Conforme verificado nos resultados apresentados na Figura 2, as maiores probabilidades de ocorrência se referem a falha da válvula A em fechar e na falha no instrumento de medição, constituindo uma ordem de grandeza de 2,5% e 5,5% respectivamente, ou seja, acima do valor máximo de confiabilidade da planta.

Nestes casos uma camada de proteção é claramente necessária visto que este nível de risco se enquadra na categoria alta (risco maior que 1%), conforme demonstrada na Figura 3 (Planilha de HazOp considerando Camada de Proteção). A camada de proteção é citada na coluna de recomendações e consiste na implantação de um medidor de vazão na linha da válvula A intertravado com válvula B (alimentação de amônia). Desta forma a camada de proteção é representada pela indisponibilidade do sensor de vazão, o que resultam em uma indisponibilidade dos sistemas de 0,04% e 0,08%, o que resulta em uma categoria de risco médio.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] VROM. Methods for determining and processing probabilities: Red Book, CPR 12E. the Netherlands, 2005.
- [2] NATIONAL INSTITUTE OF PUBLIC HEALTH AND THE ENVIROMENT (RIVM). Reference Manual BEVI Risk Assessments. Version 3.2. Netherlands, 2009.
- [3] OREDA. Offshore Reliability Data. 6 ed. SINTEF Industrial Management. Noruega, 2015.