

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO**

GUSTAVO PETICK DIAS

**ANÁLISE DE RISCO POR METODO FMEA EM ABERTURA DE LINHA
NA MANUTENÇÃO DE BOMBEAMENTO DE AMÔNIA**

MONOGRAFIA

CURITIBA

2015

GUSTAVO PETICK DIAS

**ANÁLISE DE RISCO POR MÉTODO FMEA EM ABERTURA DE LINHA
NA MANUTENÇÃO DE BOMBEAMENTO DE AMÔNIA**

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista no Curso de Pós Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR.

Orientador: Prof. M. Eng. Roberto Serta

CURITIBA

2015

GUSTAVO PETICK DIAS

**ANÁLISE DE RISCO POR METODO FMEA EM ABERTURA DE
LINHA NA MANUTENÇÃO DE BOMBEAMENTO DE AMÔNIA**

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista no Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, pela comissão formada pelos professores:

Orientador:

Prof. M.Eng. Roberto Serta
Professor do 29º CEEST, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Banca:

Prof. Dr. Rodrigo Eduardo Catai
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Prof. Dr. Adalberto Matoski
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Prof. M.Eng. Massayuki Mário Hara
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Curitiba
2015

“O termo de aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso”

RESUMO

DIAS, Gustavo Petick. **ANÁLISE DE RISCO POR MÉTODO FMEA EM ABERTURA DE LINHA NA MANUTENÇÃO DE BOMBEAMENTO DE AMÔNIA PRESSURISADA EM INDÚSTRIA DE GÁS CARBÔNICO.** 2015. 40 folhas. Monografia de Conclusão de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

A indústria historicamente vem aumentando a complexidade de seu processo, assim como visando atender o aumento de demanda de bens relacionados ao cotidiano da população. A área da indústria química configura a representativa de transformação mundialmente, porque seus produtos são usados em todos os demais segmentos industriais e produtos de consumo. Na monografia foi desenvolvida com a aplicação de análise de risco pelo método FMEA (Análise dos Modos e Efeitos de Falhas) a uma manutenção no bombeamento de um sistema de refrigeração utilizado na indústria de gás carbônico (região metropolitana de Curitiba) e trabalhando com os graus de prioridade de risco. O objetivo ao aplicar a metodologia de análise de risco foi obter, e priorizar as ações ou recomendações para reduzir a exposição ao risco da tarefa. Os resultados permitiram avaliar o risco principal representado pela amônia (fluido refrigerante), as ações recomendadas foram principalmente em mudanças na sistemática da operação e, por conseguinte a melhoria da tecnologia aplicada durante a manutenção.

Palavras-chave: FMEA. Análise de Risco. Amônia. Tecnologia. Ações Recomendadas.

ABSTRACT

DIAS, Gustavo Petick. FMEA RISK ASSESSMENT APPLIED TO LINE BREAKING IN AMMONIA COOLING SYSTEMS FOR A CARBON DIOXIDE PLANT. 2015. 38 pages. Safety Engineering Graduation Project - Federal Technology University - Parana. Curitiba, 2015.

The industry historically has increased the complexity of their process, as well as aiming to meet the increased demand of goods related to the daily life of the population. The chemical industry field configures the most representative processing business worldwide, because its products are used in all other sectors of industry and consumer products as well. This document was developed with the application of risk assessment by FMEA method (Analysis of Modes and Effects of Failures) in a maintenance operation focused in pumping used in a cooling system for a carbon dioxide plant (Great Curitiba City). The objective assessing the case was to obtain actions or recommendations to minimize the exposure to the task hazard. The results allowed the procedure evaluation and the main hazard represented by ammonia (refrigerant). The recommended actions were mainly on changes in systematic operation and, therefore, the improvement of the technology applied to the maintenance procedure.

Keywords: FMEA. Risk Assessment. Ammonia. Technology. Recommended Actions.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Tancagem do Sistema com Válvulas e Bombas.....	27
Figura 2 - Esquema de Bombeamento a partir do tanque de amônia.....	28
Figura 3 - Manutenção da Bomba de Distribuição (Válvulas & Manômetro)	29
Figura 4 - Neutralizador para armazenamento da amônia borbulhada em água	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades da Amônia	13
Tabela 2 - Resposta fisiológica a diferentes concentrações do gás amônia	16
Tabela 3 - Sistema de Classificação de Risco da ONU	17
Tabela 4 - Significado do 1º algarismo do número de risco	18
Tabela 5 – Classe de Vasos de Pressão	21
Tabela 6 - Exemplo de um FMEA em produção de Máquinas Agrícolas	25
Tabela 7 – Definição da Função x Modo de Falha	33
Tabela 8 – Escala de Prioridade – Grau de Risco (RPN).....	33
Tabela 9 – FMEA da Abertura de Linha envolvendo Tancagem de Amônia.....	36

LISTA DE SIGLAS

ANSI/IIAR	<i>Equipment, Design, and Installation of Ammonia Refrigeration</i>
BLEVE	<i>Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion</i>
BPF	Baixo Ponto de Fulgor
CFR	<i>Code of Federal Regulations</i>
EPI	Equipamento de Proteção Individual
EPR	Equipamento de Proteção Respiratória
FISPQ	Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GM	Gabinete do Ministro
ISO	International Organization for Standardization
kgf/cm ²	Kilograma força por centímetro quadrado
LIE	Limite Inferior de Exposição
LSE	Limite Superior de Exposição
LT	Limite de Tolerância
mg	Miligrama
MPa	Mega Pascal
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NBR	Norma Brasileira
NFPA	National Fire Protection Association
NR	Norma Regulamentadora
OHSA	<i>Occupational Safety & Health Administration</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
ppm	Parte por Milhão
PR	Paraná
P.V.	Pressão de Vapor
SP	São Paulo
UL	<i>Underwriters Laboratory</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 OBJETIVO GERAL	11
1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	11
1.3 JUSTIFICATIVA.....	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 RISCO QUÍMICO: AMÔNIA.....	13
2.1.1 Características Físico Químicas	13
2.1.2 Riscos e Efeitos	14
2.1.2.1 Refrigeração Industrial por Amônia.....	19
2.2 MANUTENÇÃO EM SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO.....	20
2.3 ANÁLISE DE RISCO – FMEA: ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHAS 23	
3 METODOLOGIA.....	26
3.1 SISTEMA DE ESTUDO - INDÚSTRIA.....	26
3.2 ANÁLISE DE RISCO – TANQUE DE AMÔNIA.....	27
3.3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA RESERVATÓRIO - BOMBEAMENTO	27
3.4 CONTROLES OPERACIONAIS	31
4 RESULTADOS	32
4.1 MODO DE FALHA APLICADO AO SISTEMA	32
5 CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

O ser humano historicamente luta para atender suas necessidades básicas de sobrevivência como alimentação, por exemplo, e vem empreendendo esforços para supri-las. Juntamente com as demandas de itens importantes como trabalho, transporte, educação, informação, trabalho entre outros, o homem moderno aumentou o leque de recursos, processos e produtos que são exigidos diariamente (ANAN, 2006). Dentro desta perspectiva e com o crescimento acelerado da população nas últimas décadas, as produções industriais e agrícolas passaram a trabalhar com aperfeiçoamento constante de seus processos e buscando atender a demanda crescente (GLASMEYER, 2006).

No cenário industrial o aumento da complexidade dos processos produtivos passou a ser registrado a partir do início do século XX, principalmente em indústrias químicas e petroquímicas que começaram a operar com recursos naturais (petróleo, GLP, BPF) e linhas de produção cada vez mais complexas com processos interligados o que elevou consideravelmente os riscos associados (GLASMEYER, 2006). Este fator associado com os produtos perigosos têm gerado riscos ao homem e ao meio ambiente, como os danos pessoais, danos materiais e impactos ambientais (MULLER, 2008).

O avanço de sistemas de controle das produções que inicialmente eram analógicos e posteriormente digitais tem caracterizado a segurança maiores níveis de segurança nos processos de produção. A difusão dos processos contínuos de fabricação favoreceu a expansão dos regimes de operação de plantas em turnos e noturnos no setor químico, resultando em diversas implicações para a segurança das operações e a saúde dos trabalhadores que passaram a exigir um diferente nível de atenção (DE Souza, 2014).

Dentro do espaço de tempo em que houve o aprimoramento do processo industrial, foi introduzida uma nova categoria de riscos, denominados riscos tecnológicos (GLASMEYER, 2006). Desde então foram registrados acidentes diversos, vários deles representando consequências gravíssimas aos trabalhadores, vizinhança, outras instalações e ao meio ambiente. Os resultados destes acidentes chamaram a atenção da comunidade científica e órgãos regulamentadores de atividades operacionais que passaram a debater mecanismos relacionados à gestão de riscos (GLASMEYER, 2006). É importante ressaltar que acidentes tecnológicos

combinados com produtos perigosos, é um assunto perfeitamente aplicável no conceito básico de gestão de riscos, em outras palavras, um risco pode ser minimizado agindo tanto na probabilidade da ocorrência quanto nas consequências obtidas da mesma (MULLER, 2008).

Alguns casos clássicos que podem ser citados são: na década de 1970 a explosão com ciclohexano de *Flixborough*, na década de 1980 os destaques para o desastre de Bhopal na Índia (contaminação da vizinhança com isocianato de metila), BLEVE com GLP na cidade do México, radiação nuclear em Chernobyl e incêndio em duto de gasolina na Vila Socó em Cubatão (São Paulo/SP) (ANAN,2006).

A indústria química possui diversos incidentes e acidentes ao longo do tempo, contudo segundo Anan (2006) é a área química a mais representativa de transformação mundialmente, porque seus produtos são usados em todos os demais segmentos industriais e produtos de consumo.

Por isso, a análise de risco operacional e escolha das ferramentas mais adequadas para avaliar as falhas, perigos, riscos em procedimentos/processos da indústria química representa uma etapa fundamental para evitar/minimizar a geração de acidentes que venham a afetar funcionários.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral foi aplicar uma metodologia de análise de risco em procedimento de manutenção do bombeamento oriundo de um tanque de amônia em indústria de Gás Carbônico em Araucária/PR para identificar possíveis melhorias nos controles operacionais presentes.

1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

O objetivo específico foi realizar uma avaliação e classificação de ações preventivas e/ou corretivas geradas na análise de risco levando em consideração:

- Prioridade das Ações;
- Impacto envolvendo o funcionário/contratado envolvido.

1.3 JUSTIFICATIVA

Os sistemas de refrigeração envolvendo amônia no Brasil apresenta norma técnica desenvolvidas pelo MTE (Ministério do Trabalho e Emprego do Brasil) em seu uso e manutenção, contudo conforme Muller (2008) apresenta em seu estudo há normas legais e técnicas específicas para sistemas de refrigeração utilizadas em outras nações.

Dentro deste contexto acima citado a aplicação do método neste trabalho busca contribuir no sentido de analisar ações que reduzam a exposição do trabalhador ao risco associado a tarefa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RISCO QUÍMICO: AMÔNIA

A amônia é um dos gases inorgânicos mais amplamente difundidos pela indústria química, sendo aplicado em diversas produções existentes desde explosivos a produtos têxteis. O principal interesse, contudo, é no seu emprego como agente refrigerante principalmente pelas suas características termodinâmicas (MULLER, 2008).

2.1.1 Características Físico Químicas

A amônia encontra-se como gás incolor à condições de temperatura e pressão ambientes. A substância tem odor característico, irritante e normalmente reconhecido a partir de pequenas concentrações (a partir de 5 partes por milhão – 5 ppm) é perceptível no ar (MULLER, 2008).

Uma característica marcante é a solubilidade em água, a amônia possui caráter higroscópico, em outras palavras possui afinidade pela água. Em números: a 0 °C e 760 mmHg, um volume de água consegue dissolver o equivalente de 1300 volumes de gás amônia, e a 20 °C, o mesmo volume é capaz de dissolver 710 volumes do mesmo gás. Estas características estão contidas na tabela 1 representando as propriedades do elemento químico (BRASIL, 2004).

Tabela 1 – Propriedades da Amônia

Propriedades da Amônia	
Fórmula Química	NH ₃
Ponto de Ebulição	-33,35 °C
Ponto de Fusão	-77,7 °C
Peso Molecular	17 g/mol
Densidade à 25 °C	0,7067 kg/m ³
Aparência e Odor	Gás comprimido liquefeito, incolor, com odor característico.
Ponto de Fulgor	Gás na Temperatura Ambiente
Temperatura de Auto Ignição	651 °C
LIE	16%

Propriedades da Amônia	
LSE	25%
Solubilidade em Água	Alta – 1 Volume de Água dissolve 1300 volumes do gás.
Absorção de Calor	Alta – 1,1007 cal/g. °C (H ₂ O: 1 cal/g. °C)

Fonte: Nota Técnica n°03/2004 do MTE (BRASIL, 2004)

A amônia é usualmente armazenada, transportada e processada na fase líquida e submetida à pressão, conforme a temperatura, ao ser despressurizada ocorre uma queda de temperatura podendo atingir -33 °C, neste caso sendo possível congelar a pele humana rapidamente, portanto devem ser utilizados equipamentos adequados para manuseio deste produto, principalmente devido à taxa de expansão que passa do estado líquido para o gasoso, aumentando 254 vezes o seu volume original (BRASIL, 2004).

2.1.2 Riscos e Efeitos

A exposição direta à amônia representa variados riscos à saúde do manipulador. Os efeitos adversos provocados pelo contato com as três formas distintas seguem a seguinte questão:

- (1) Inalação: a substância é respirada, entrando em contato direto com as membranas da zona respiratória (nariz, garganta, traquéia e pulmões);
- (2) Absorção: resultante do contato direto da substância com a pele e/ou olhos e mucosas (HADDAD *et. al.*, 2002);
- (3) Ingestão: ao consumir a substância, a qual produz um efeito em contato com o aparelho digestivo (boca, garganta, esôfago, estômago e intestinos) (MULLER, 2008).

As exposições podem ser diferenciadas em três tipos:

- (1) Aguda: resultado de curta duração, acontecendo em segundos, minutos ou até horas, podendo ela ser aplicada ou ingerida e supondo doses individuais;
- (2) Subaguda: representada por uma série de exposições agudas, que acontecem em um determinado período de tempo;

(3) Crônica: exposição de longa duração, podendo ser prolongadas ou repetidas exposição que sejam ocorridas em várias horas, dias, meses e em certos casos até anos (MULLER, 2008).

Normalmente as áreas mais afetadas devido à natureza abordada no item anterior são as vias respiratórias, a pele e os olhos. Os efeitos da exposição aguda são descritos por Muller, 2008

A amônia se dissolve nas mucosas dos olhos devido a sua alta solubilidade em água. Devido à sua ação cáustica alcalina, causa irritação e dano celular no trato respiratório, queimaduras na pele que dependem do tempo ao gás. No caso de ingestão provoca queimaduras na boca, faringe, laringe, além de favorecer grande salivação.

A Nota Técnica nº03/2004 do MTE (BRASIL, 2004) em sua redação possui uma enumeração dos efeitos ainda mais detalhados.

A inalação pode causar tosse, formação de catarro, secreção de saliva, retenção de urina, dificuldades respiratórias, inflamação aguda do sistema respiratório, queimadura da mucosa nasal, faringe e laringe, constrição e dor torácica. Dependendo da concentração e do tempo de exposição, o quadro respiratório pode evoluir com edema e espasmo de glote, asfixia, cianose, edema pulmonar, parada respiratória e morte. A exposição a concentrações acima de 2.500 ppm por aproximadamente 30 minutos pode ser fatal. A ingestão causa náusea, vômitos e inchaço nos lábios, boca e laringe. Em contato com a pele, a amônia produz dor, eritema e vesiculação. Em altas concentrações, pode haver necrose dos tecidos e queimaduras profundas. O contato com olhos em baixas concentrações (10 ppm) resulta em irritação ocular e lacrimejamento. Em concentrações mais altas pode causar conjuntivite, erosão da córnea e cegueira temporária ou permanente. Reações tardias podem acontecer, como catarata, atrofia da retina e fibrosa pulmonar. (BRASIL, 2004)

Bronquite crônica com redução da capacidade respiratória, pneumonites químicas e danos aos rins são exemplos de efeitos crônicos. Dentro do cenário de manifestação dos efeitos citados, o anexo 13 da Norma Regulamentadora nº15 (NR15), que é relacionada a questões de atividades e operações insalubres, determinou que a concentração máxima para uma exposição semanal de até 48 horas à amônia é de 20 ppm (ou 14 mg/m³ de ar), valor que representa o limite de exposição ocupacional, ou limite de tolerância (LT). Na caracterização desta situação o ambiente é considerado mediamente insalubre (MULLER, 2008). Os

efeitos crônicos de acordo com a exposição e concentração ao vapor de amônia estão expostos na tabela 2.

Tabela 2 - Resposta fisiológica a diferentes concentrações do gás amônia

Resposta Fisiológica ao Vapor		
Exposição	Quantidade (ppm)	% em volume
Concentração mínima percebida pelo cheiro	5 – 20	0,0005 – 0,002
Limite de tolerância	20	0,002
Concentração máxima para exposição prolongada	100	0,001
Atmosfera imediatamente perigosa à vida e à saúde	300	0,003
Concentração máxima para ½ a 1 hora de exposição	300 – 500	0,003 – 0,005
Concentração mínima que provoca irritação na garganta	408	0,0408
Concentração mínima que provoca irritação nos olhos	698	0,0698
Concentração mínima que provoca tosse	1720	0,172
Concentração perigosa para ½ horas de exposição	2500 – 4500	0,25 – 0,45
Concentração fatal em curto período de tempo	5000 – 10000	0,5 – 1
Faixa Inflamável	160000 – 250000	16 – 25

Fonte: Muller, 2008.

Conforme enquadramento na classificação da ONU para produtos químicos perigosos (ONU, 1997), a amônia pura liquefeita ou em solução aquosa é pertencente à classe de risco 2.3 conforme a tabela 3, que se refere a gás tóxico por inalação. As classes risco constam do Manual para Atendimento de Emergências com Produtos perigosos elaborado pela Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUM) com suas respectivas subclasses e definições das substâncias perigosas segundo a classificação da ONU (MULLER, 2008).

Tabela 3 - Sistema de Classificação de Risco da ONU

Classificação	Subclasse	Definições
Classe 1 Explosivos	1.1	Substâncias e artefatos com risco de explosão em massa.
	1.2	Substâncias e artefatos com risco de projeção.
	1.3	Substâncias e artefatos com risco predominante de fogo.
	1.4	Substância e artefatos que não apresentam risco significativo.
	1.5	Substâncias pouco sensíveis.
	1.6	Substâncias extremamente insensíveis, sem risco de explosão em massa.
Classe 2 Gases	2.1	Gases inflamáveis.
	2.2	Gases comprimidos não tóxicos e não inflamáveis.
	2.3	Gases tóxicos por inalação.
Classe 3 Líquidos Inflamáveis	-	Líquidos inflamáveis.
Classe 4 Sólidos Inflamáveis; Substâncias sujeitas à combustão espontânea; substâncias que, em contato com água, emitem gases inflamáveis	4.1	Sólidos inflamáveis.
	4.2	Substâncias passíveis de combustão espontânea.
	4.3	Substâncias que, em contato com água, emitem gases inflamáveis.
Classe 5 Substâncias Oxidantes e Peróxidos Orgânicos	5.1	Substâncias oxidantes
	5.2	Peróxidos orgânicos.
Classe 6 Substâncias Tóxicas e Substâncias Infectantes	6.1	Substâncias tóxicas.
	6.2	Substâncias infectantes.
Classe 7 Substâncias Radioativas	-	Substâncias radioativas.
Classe 8 Substâncias Corrosivas	-	Substâncias corrosivas

Classificação	Subclasse	Definições
Classe 9 Substâncias Perigosas Diversas	-	Substâncias Perigosas Diversas.

Fonte: Manual para Atendimento de Emergências com Produtos Perigosos da ABIQUIM, 2004.

A ONU, visando a facilitar a identificação dos produtos perigosos transportados nos modais rodoviário e ferroviário, atribuiu a cada um deles um número constituído o risco principal representado pelo algarismo presente na tabela 4 e o subsidiário na tabela 5, totalizando quatro algarismos, denominado número da ONU. Tal número está grafado na parte inferior do painel de segurança (placa retangular de cor laranja), afixada nas laterais, traseira e dianteira dos veículos. Dentro da sistemática de identificação, a amônia possui o número ONU 1005, e número de risco 268, denominados para gás tóxico, corrosivo (MULLER, 2008).

Tabela 4 - Significado do 1º algarismo do número de risco

ALGARISMO	SIGNIFICADO DO ALGARISMO
2	Gás
3	Líquido inflamável
4	Sólido inflamável
5	Substância oxidante ou peróxido orgânico
6	Substância tóxica
7	Substância radioativa
8	Substância corrosiva

Fonte: BRASIL - Resolução ANTT nº 420, 2004, p. 119

ALGARISMO	SIGNIFICADO DO ALGARISMO
0	Ausência de risco subsidiário
1	Explosivo
2	Emana gás
3	Inflamável
4	Fundido
5	Oxidante
6	Tóxico
7	Radioativo

ALGARISMO	SIGNIFICADO DO ALGARISMO
8	Corrosivo
9	Perigo de reação violenta

Fonte: BRASIL - Resolução ANTT nº 420, 2004, p. 119

2.1.2.1 Refrigeração Industrial por Amônia

A refrigeração industrial pode ser definida como sendo o processo que é empregado nas indústrias de alimentos, químicas, e de processos, englobando dois terços das aplicações, e a indústria manufatureira e laboratório. O desenvolvimento do processo de refrigeração permitiu um grande avanço tecnológico e ganhou status de importância para outras atividades industriais, dentre elas pode-se destacar: a indústria alimentícia em geral, os frigoríficos, indústria de pescados, fábricas de gelo, laticínios e a indústria de bebidas. (BRASIL, 2004).

A amônia entra neste processo como agente refrigerante, que nada mais é do que a substância que é empregada como absorvente de calor ou agente de resfriamento. Ela é submetida a um processo e sistema que insere no processo de refrigeração (HENSE, 1999).

Embora haja uma grande preocupação por parte de instituições internacionais com o caráter dos agentes refrigerantes como a *Underwriters Laboratory* (UL) dos Estados Unidos da América classificando em categorias conforme a criticidades em questões de ocupacionais e ambientais, no Brasil há uma carência de requisitos legais e outros (normas técnicas específicas) para sistema de refrigeração que atinjam este nível (MULLER, 2008). Dentro desta monografia destacaremos a presença da Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho e Emprego, NR-13 – Caldeiras e Vasos de Pressão e a normal da ABNT “Vasos de pressão para refrigeração”, 1996 (MULLER, 2008).

A opção feita pela amônia dentre os refrigerantes pode ser imediata, contudo em virtude de suas características toxicológicas pode ser desconsiderada ou não recomendada. Dependendo da legislação municipal envolvida com o uso de amônia, ele pode ser limitado a certas instalações, e geralmente sendo alocadas em áreas mais afastadas de locais muito povoados. A amônia deve possuir seu emprego restrito a processos industriais onde a operação seja devidamente supervisionada por pessoal técnico especializado (BRASIL, 2004).

2.2 MANUTENÇÃO EM SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

Dentro da indústria diversas operações ocorrem ao longo do ciclo de vida de uma unidade e um dos itens fundamentais para qualquer bom funcionamento é a manutenção de sistemas. Conforme a Norma Técnica 03/2004 do MTE, a manutenção é relacionada especificamente na seção:

Todas as etapas da manutenção do sistema devem ser cuidadosamente especificadas e adequadamente registradas, definindo-se procedimentos específicos para operações de risco, tais como a purga de óleo do sistema, a drenagem de amônia e a realização de reparos em tubulações. (BRASIL, 2004)

Na questão de periodicidade da manutenção preventiva e itens a serem realizados, também pode ser mencionada abaixo.

Considerando o risco envolvido, todas as instalações onde existe amônia devem sofrer processo periódico de inspeção para verificação de suas condições. Recomenda-se uma inspeção visual em todos os pontos críticos – soldas, curvas, junções, selos mecânicos – pelo menos a cada 3 meses. Tanques e reservatórios devem passar por inspeção de segurança completa, nos prazos máximos previstos na legislação (NR-13), recomendando-se radiografia de soldas e testes de pressão. (BRASIL, 2004).

Segundo o *Workers' Compensation Board* da Columbia Britânica (British Columbia) no Canadá, 2007 a manutenção em sistema de refrigeração envolve uma gama de recomendações: empregadores devem garantir procedimentos de manutenção preventiva e procedimentos escritos para resposta à emergências que devem estar disponíveis e entendíveis pela equipe relacionada com a atividade no sistema de amônia. Este órgão também cita que os empregadores devem também incluir na questão documental os planos de substituição e testes de equipamentos de segurança como monitores, sistemas de alarmes, sensores, rádios, lava olhos entre outros. E a finalidade de formalizar o uso e manutenção dos equipamentos de segurança deve ser registrado em *Logbooks* (Prontuários).

No mesmo sentido a OSHA – Occupational Safety & Health Administration dos Estados Unidos da América relaciona em sua legislação CFR – 1910.119 o item: O empregador deve fornecer os controles de perigos durante processos operacionais envolvendo bloqueio/etiquetagem, e abertura de tubulação ou equipamentos. O procedimento deve ser estendido a manutenção, contratados e as práticas de trabalho devem ser aplicadas a todos aos funcionários e contratados.

A legislação Brasileira no que toca a parte de Manutenção tem como referência a NR-13. Dentro do item 13.9 desta norma tem estabelecido:

“13.9 Segurança na Manutenção de Vasos de Pressão

13.9.1 Todos os reparos ou alterações em vasos de pressão devem respeitar o respectivo código de projeto de construção e as prescrições do fabricante no que se refere a:

- a) materiais;*
- b) procedimentos de execução;*
- c) procedimentos de controle de qualidade;*
- d) qualificação e certificação de pessoal.*

13.9.1.1 Quando não for conhecido o código do projeto de construção, deverá ser respeitada a concepção original do vaso, empregando-se procedimentos de controle do maior rigor, prescritos pelos códigos pertinentes.”

A seção 13.10 da mesma norma estabelece critérios para inspeções periódicas aos vasos de pressão conforme a categoria do vaso relacionada na tabela 5, tipo da inspeção (externa, interna) e teste hidrostático dos equipamentos. Relacionado as válvulas de segurança, a norma conta com o item 13.10.4 que apresenta o seguinte texto: *“As válvulas de segurança dos vasos de pressão devem ser desmontadas, inspecionadas e recalibradas por ocasião do exame interno periódico”*.

Tabela 5 – Classe de Vasos de Pressão

Classe de Fluido	Grupo Potencial de Risco				
	1	2	3	4	5
	P.V. \geq 100	P.V. $<$ 100 P.V. \geq 30	P.V. $<$ 30 P.V. \geq 2,5	P.V. $<$ 2,5 P.V. \geq 1	P.V. $<$ 1
	CATEGORIA				
“A”					
-Fluido inflamável,	I	I	II	II	III

Classe de Fluido	Grupo Potencial de Risco				
	1	2	3	4	5
	P.V. \geq 100	P.V. < 100 P.V. \geq 30	P.V. < 30 P.V. \geq 2,5	P.V. < 2,5 P.V. \geq 1	P.V. < 1
	CATEGORIA				
combustível com temperatura igual ou superior a 200 °C					
- Tóxico com limite de tolerância \leq 20 ppm					
- Hidrogênio					
- Acetileno					
“B”					
- Combustível com temperatura menor que 200 °C					
- Tóxico com limite de tolerância > 20 ppm	I	II	III	IV	IV
“C”					
- Vapor de água					
- Gases asfixiantes simples	I	II	III	IV	V
- Ar comprimido					
“D”					
- Outro Fluido	II	II	IV	V	V

Fonte: BRASIL, 1978.

Notas:

- Considerar volume em m³ e pressão em MPa;
- Considerar 1 MPa correspondente à 10,197 Kgf/cm².

Outro requisito legal que pode ser incluído na questão do sistema de amônia é relativa à sinalização de segurança, envolvendo a NR-26, Norma Regulamentadora 26 – Sinalização de Segurança (Portaria GM nº 3214/1978). Neste caso a tubulação/linha contendo a amônia sobrepressão deve ser sinalizada em coloração turquesa 7.5 BG 6/8 ou amarela referenciada pela Norma Brasileira para Tubulação Industrial - NBR 13193.

2.3 ANÁLISE DE RISCO – FMEA: ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHAS

A ferramenta FMEA surgiu por volta de 1949 e destinava-se às análises de falhas em sistemas e equipamentos do exército norte americano. Na década de 60, foi aprimorado e desenvolvido pela NASA, quando foi tomando espaço nos setores aeronáuticos. Porém, desde os anos 70 vem sendo usada no ramo automobilístico e atualmente constitui-se numa ferramenta imprescindível para as empresas fornecedoras deste segmento. Observa-se que a maioria dos fornecedores da indústria automobilística utiliza esta ferramenta em consonância com a norma ISO/TS 16.949 (BASTOS, 2006).

A ferramenta FMEA pode ser definida como uma metodologia sistemática que permite identificar potenciais falhas de um sistema, projeto e/ou processo, com o objetivo de eliminar ou minimizar os riscos associados, antes que tais falhas aconteçam. O objetivo é eliminar os modos de falha ou reduzir os riscos associados (BASTOS, 2006).

Segundo Puente et al. (2002) o método basicamente consiste em dois estágios:

1) primeiro estágio, possíveis modos de falhas de um produto ou processo e seus efeitos prejudiciais são identificados;

2) O segundo estágio, os times de engenheiros que trabalharam com o FMEA determinam o nível crítico (pontuação de risco) destas falhas e as colocam em ordem de prioridade.

A falha mais crítica será a primeira do ranking e será considerada prioritária para a aplicação de ações de melhoria, preventivas e/ou corretivas. Há três fatores utilizados no FMEA que auxiliam na definição de prioridades de falhas. São eles: ocorrência (O), severidade (S) e detecção (D), conforme Palafy (2004).

A ocorrência define a frequência da falha, enquanto a severidade corresponde à gravidade do efeito da falha. A detecção é a habilidade para detectar a falha antes que ela atinja o funcionário (Xiao *et al.* 2011).

O FMEA aplica o RPN (Graus de Prioridade de Risco), para o processo decisório ao definir os modos de falha de maior potencial. O qual é composto do produto dos três fatores do FMEA: D, O e S. Tendo obtido os RPNs, as causas das

falhas são priorizadas, direcionando a tomada de decisão por parte da alta direção da empresa. Na priorização do RPN em sistemas complexos, são utilizadas técnicas de priorização (BASTOS, 2006).

A Tabela 6 mostra um exemplo de aplicação do FMEA usado para identificar e priorizar a causa com maior potencial de ocorrência e tomar ações preventivas para evitar uma falha funcional do equipamento (BASTOS, 2006).

Segundo Palafy (2004), o FMEA tem como função principal a identificação da “Causa Potencial” pela qual o equipamento deixaria de executar a sua função, apresentando o “Modo de Falha” identificado na elaboração do FMEA.

Conforme Bastos (2006) define:

A elaboração do FMEA considerando todos os modos de falhas e todas as causas potenciais seriam quase impossíveis, sendo que, na interação do equipamento em seu meio de trabalho, as variáveis são inúmeras. Como seria possível prever, por exemplo, um vazamento de água de uma telha sobre um motor e este vir a falhar. O FMEA pode ser melhorado com a identificação destes modos de falha não triviais com a ajuda de outras ferramentas.

Tabela 6 - Exemplo de um FMEA em produção de Máquinas Agrícolas

Função	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial	Severidade	Causa Potencial	Ocorrência	Deteção	RPN	Ações Recomendadas
Transmitir movimento ao sistema de limpeza	Rompimento/Esmagamento das buchas de borracha	Parada da Máquina	8	Bucha Subdimensionada	10	5	400	Utilizar bucha com maior camada de borracha
	Fulga no rolamento da rótula	Aumento dos esforços de outros componentes	8	Montagem inadequada	10	5	400	Verificar o processo de montagem
	Alongamento da corrente e quebra	Parada da máquina	8	Montagem inadequada	8	5	320	Evitar o rompimento dos anéis o'rings alinhando as engrenagens
	Desgaste do pino da corrente	Parada da máquina	8	Desalinhamento das engrenagens	9	4	288	Alterar a forma de alinhamento das engrenagens
	Rompimento dos anéis o'rings	Perda de desempenho	7	Desalinhamento das engrenagens	9	4	252	Modificar o processo de montagem e alinhamento das engrenagens
	Alto nível de ruído na transmissão	Insatisfação do cliente	5	Desalinhamento das engrenagens	9	4	180	Alinhar as engrenagens

Fonte: Bastos, 2006.

3 METODOLOGIA

Durante a escolha do método de análise de risco na gama técnicas disponíveis foi definida a opção pela metodologia FMEA. Segundo Leal, Pinho e Almeida (2006), o FMEA é uma ferramenta utilizada para definir, identificar e eliminar falhas conhecidas ou potenciais de sistemas, projetos, processos e/ou serviços, antes que elas ocorram na prática.

O caráter preventivo em relação ao estudo de caso do sistema de refrigeração por amônia auxiliou pela opção pela análise por modo de falha sendo reforçado por Bastos (2006): *“O FMEA tem como sua principal vantagem a identificação dos modos de falhas quando aplicado. Sua aplicação permite identificar pontos em potencial suscetíveis a falha, permitindo elaboração de ações para eliminá-los ou contê-los”*.

3.1 SISTEMA DE ESTUDO - INDÚSTRIA

A indústria em estudo é o ramo de gás carbônico que consiste basicamente do recebimento de um gás com impurezas e por meio de processos físicos químicos (aquecimento, resfriamento, filtragem) obtém a qualidade necessária para os mais diversos fins aplicáveis (indústria de bebidas, combate a incêndio entre outros) na forma pressurizada e líquida.

O sistema que é o foco principal de desenvolvimento deste estudo é uma tancagem de amônia dotada de duas bombas em paralelo e quatro válvulas, sendo uma para cada linha de tubulação paralela de abastecimento ao sistema de resfriamento para as demais partes da planta que será descrita com melhor detalhe nas seções seguintes.

A linha de tubulação em questão na manutenção é a seção que possui válvulas a jusante e montante da bomba a ser mantida. A amônia é o fluido envolvido e mantido no interior da linha como um líquido pressurizado, portanto, para realizar a tarefa de manutenção no bombeamento é preciso esgotar a seção da tubulação. Neste caso há a presença de controle operacionais relacionados à tubulação em questão.

Os capítulos a seguir tratarão dos riscos dos elementos envolvidos, primeiramente do elemento químico presente: a amônia. O segundo foco será com relação ao sistema presente e as opções de procedimentos e tecnologias aplicáveis.

3.2 ANÁLISE DE RISCO – TANQUE DE AMÔNIA

Conforme revisado nas seções anteriores diversos fatores estão incluídos na questão do sistema e manutenção do objetivo de avaliação neste trabalho. Inicialmente as partes do desenvolvimento serão divididas da seguinte maneira: Descrição do Sistema Reservatório - Bombeamento de Amônia, Controles Operacionais Existentes, Indicadores Relacionados, Ações Corretivas e Preventivas, Comparativo.

3.3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA RESERVATÓRIO - BOMBEAMENTO

O reservatório comporta um armazenamento de 9 toneladas, volume interno de 12 m^3 de amônia líquida (Figura 1), que se encontra submetida a uma pressão de 14 kgf/cm^2 . O tanque possui duas tubulações de saída em paralelo com diâmetro de 150 mm com válvulas (uma em cada ramo de tubulação) que isolam a montante as bombas de distribuição (uma bomba em cada linha de tubulação) e outras duas válvulas estão presentes a jusante das bombas.



Figura 1 - Tancagem do Sistema com Válvulas e Bombas

Relacionada a classificação conforme a NR-13, o fluido e tancagem pode ser classificada de acordo com a tabela 5 como fluido Classe A, Grupo Potencial de Risco 3 e Categoria II.

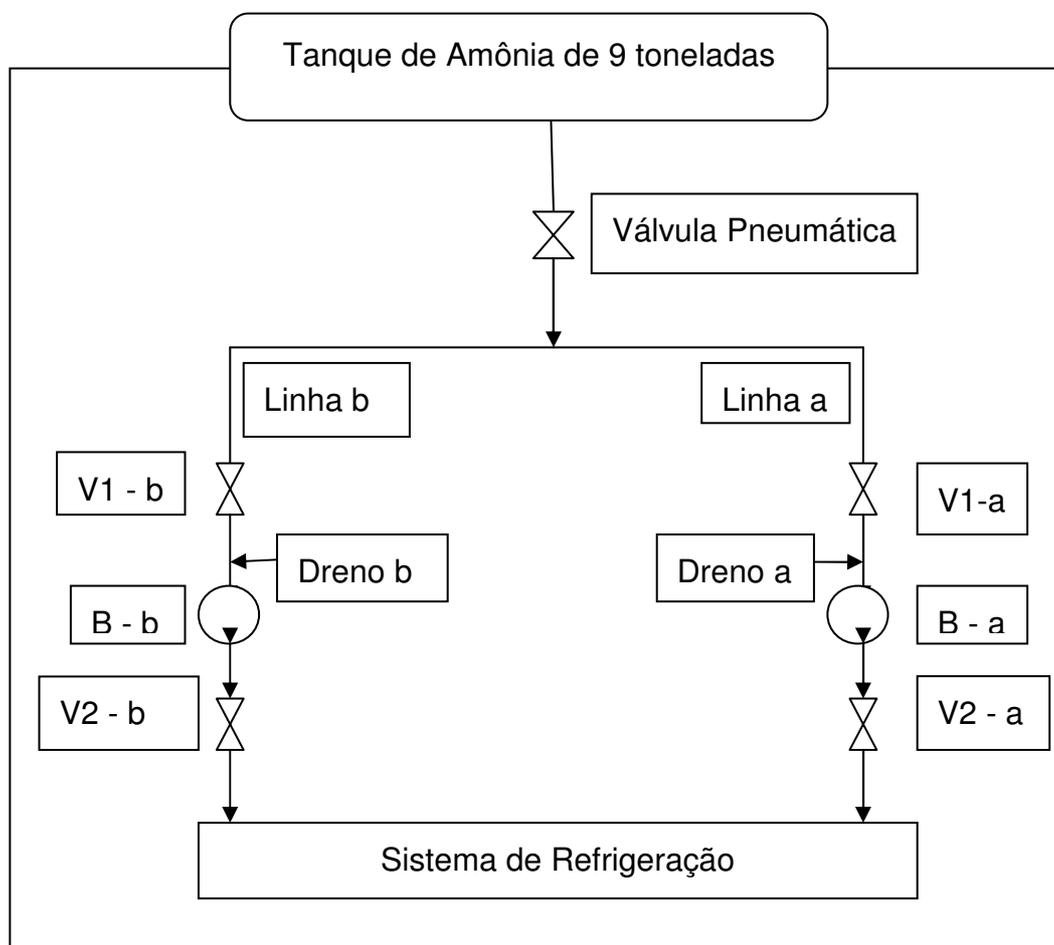


Figura 2 - Esquema de Bombeamento a partir do tanque de amônia

A figura 2 ilustra o perfil do sistema de armazenamento com as duas linhas em paralelo que partem do centro do tanque na parte mais central e alimentam os demais sistemas de refrigeração de gases da planta. O perfil permite visualizar as duas válvulas e flanges que isolam as bombas de distribuição envolvidas no procedimento alvo durante a manutenção estudada, este perfil também oferece o ponto de vista da análise de manômetros presentes tanto antes quanto depois das bombas. Na saída do tanque há a presença de um manômetro analógico que mede 0 a 25,49 kgf/cm², outro manômetro está na parte superior do costado do tanque de amônia que possui escala de medição de 0 a 28,00 kgf/cm².

A montante do bombeamento há a presença do manômetro no tanque em sua parte superior e a justante após a primeira válvula e flange. Neste sentido alguns

padrões evidenciados em tanques de amônia líquida conforme relatado por MULLER, 2008 como manômetros e válvulas de segurança.

Válvulas de segurança entram no mérito de possíveis fugas de amônia em virtude de processos de drenagem, procedimentos de limpeza, e pequenos vazamentos (MULLER, 2008), duas válvulas PSV (uma para cada trecho tubulação, **a** e **b**) que entram em operação com pressão de $17,60 \text{ kgf/cm}^2$. O sistema com bombeamento em paralelo na questão da amônia foi detectado por MULLER, embora o objetivo e sistema de resfriamento seja diferentes do analisados.

O tanque é constituído de aço carbono e segue os padrões estabelecidos para construção de tanques ANSI/IIAR 2, para sistemas de amônia conforme citado na NOTA TÉCNICA N° 03, 2004 do MTE. Infelizmente na mesma esteira de MULLER, 2008 não há referência de normas brasileiras relativas a sistemas de refrigeração contendo amônia. Portanto, alguns pontos como o atendimento à NR 26 na questão de sinalização de risco e produto contido no sistema foi verificado e estava em conforme com o requisito legal.



Figura 3 - Manutenção da Bomba de Distribuição (Válvulas & Manômetro)

A figura 3 apresenta a seção de interesse para manutenção, as duas linhas estão lado a lado e as duas válvulas que permitem a abertura de linha estão ao centro e direita. Na referência da bomba do primeiro plano, a seção de interesse é o tanque até a válvula jusante da bomba com a válvula que está mais ao fundo.

A linha apresenta tubulação com diâmetro de 4 polegadas (~100 mm) totalizando comprimento de tubulação de aproximadamente 3 metros de comprimento na soma de trechos e curva de tubulação, o volume de amônia líquida armazenada seria equivalente a $0,02356 \text{ m}^3$ de amônia líquida.

Contudo um risco ao lidar com a amônia líquida, conforme verificado no item 2.3.1 a amônia tem a capacidade de expandir e ocupar 710 vezes o volume em gás de seu equivalente em líquido, neste caso o equivalente potencial de expansão do volume seria a ocupação de $16,73 \text{ m}^3$ de ar, no raio da abertura de linha que estaria com presença de amônia após uma liberação deste volume.

Para evitar a exposição é feita extração do volume isolando a seção da linha e borbulhado em água o volume de amônia que é destinado ao neutralizador, representado na figura 4. A retirada deste volume é realizada por meio de uma válvula de drenagem da linha que está na seção que compartilhada entre as duas seções das bombas.



Figura 4 - Neutralizador para armazenamento da amônia borbulhada em água

3.4 CONTROLES OPERACIONAIS

Inicialmente o fluxo apresentado conforme a figura 2 segue do tanque para uma conexão de tipo teê que distribui para as duas linhas com bombeamento, entretanto há uma válvula pneumática de segurança que em caso de qualquer vazamento direto a partir do tanque que interrompe as operações informando em painel de controle. Em condições normais as válvulas do esquema acima permanecem abertas, possibilitando a distribuição da amônia líquida pela Bomba A (B – a) e/ou Bomba B (B – b).

O procedimento para parada da bomba é através da detecção de perda de amônia por inspeção verificando condições mecânicas (rolamentos, rotores) ou monitoramento da pressão na linha, o que permite o passo de parada da bomba. Primeiramente o operador interrompe fluxo da bomba da linha com o problema apresentado, e em seguida realiza o fechamento das válvulas. O primeiro passo para a manutenção é o isolamento da linha com o fechamentos das válvulas V1- a ou V1 – b e também da V2 – a (no caso de isolamento da linha **a**) ou V2 – b (no caso de isolamento da linha **b**).

A abertura de linha está vinculada a procedimento de segurança escrito e estabelecido pela empresa, envolvendo EPIs para os funcionários envolvidos, treinamento e respeitando as boas práticas da indústria no que toca ao manuseio e gerenciamento de amônia, que em caso de vazamento envolveria uma expansão de 254 vezes o seu volume instantaneamente segundo Muller (2008). As consequências seriam catastróficas no caso de vazamentos maiores e, portanto a análise de risco procura eliminar ao máximo estas possibilidades.

Importante citar que conforme revisado em literatura os vazamentos são ocasionados mais frequentemente por: falhas em válvulas de alívio (tanto mecânicas quanto por ajuste indevido da pressão), rachaduras internas de vasos nos (ou próximos) dos pontos de solda, aprisionamento de líquido nas tubulações, entre válvulas de fechamento.

4 RESULTADOS

4.1 MODO DE FALHA APLICADO AO SISTEMA

A partir do realizado na seção anterior é possível desenhar uma análise de risco por meio do FMEA, os controles operacionais presentes normalmente focam no vazamento de amônia e a detecção dos níveis viabilizando a evacuação do local e principalmente a proteção do funcionário durante a operação de abertura de linha evitando a exposição ao produto químico.

A primeira etapa é definir o enfoque principal que remete a minimização do risco de exposição a amônia durante a operação de abertura de linha. A partir deste ponto trabalha-se o modo de falha que se divide em fatores associados:

- a) **Fator Humano:** atualmente a abertura de linha envolve a presença de um funcionário durante a operação que está sujeito a possibilidade de erros tanto no projeto, manutenções anteriores e suas próprias falhas como improvisação, imperícia entre outros;
- b) **Fator Tecnológico:** uma possibilidade que não pode ser descartada durante a operação de abertura de linha, principalmente envolvendo um produto com expansão praticamente instantânea como citado na NOTA TÉCNICA N°03, 2004 do MTE, é uma falha tecnológica seja na detecção do sistema, pressão e equipamentos envolvidos (operação e/ou proteção individual);
- c) **Fator Físico:** a condição dos equipamentos envolvidos é fundamental para garantir o sucesso durante a abertura de linha, portanto, equipamento que fazem o esgotamento da linha devem encontra-se nas melhores condições possíveis evitando vazamentos indesejáveis.

A partir destes fatores é possível estruturar a primeira parte da tabela 6, que envolve a função e o modo de falha conforme a tabela 7.

Tabela 7 – Definição da Função x Modo de Falha

Função	Modo de Falha
Assegurar um menor tempo de exposição do funcionário durante a abertura de linha	Erro humano durante a operação
	Falha tecnológica de equipamentos associados com abertura de linha
	Equipamentos com desgaste físico que permitem vazamentos de amônia

A segunda etapa é relacionar a prioridade de cada modo de falha, sendo que a crítica foi considerada a prioritária. Os fatores utilizados no FMEA que na definição de prioridades de falhas.

A definição de escala para os fatores são:

→ Ocorrência (O): de 0 (zero - menor) a 10 (dez - maior);

→ Severidade (S): de 0 (zero – menor) a 5 (cinco – maior);

→ Detecção (D): de 0 (zero – menor) a 10 (dez – maior).

A combinação seguindo a multiplicação dos fatores resulta no RPN (Graus de Prioridade de Risco), seguindo a fórmula: $RPN = S \cdot O \cdot D$.

Relacionando os históricos de acidentes industriais, envolvendo manutenção as ocorrências são maiores com fatores pessoais e tecnológico comparando a questão com o fator físico citado por Anan (2006). A partir desta análise é possível estabelecer a prioridade a partir dos níveis dos controles operacionais aplicados que compõe a tabela 8.

Tabela 8 – Escala de Prioridade – Grau de Risco (RPN)

Função	Modo de Falha	Efeito Potencial	Severidade	Causa Potencial	Ocorrência	Detecção	RPN
Assegurar um menor tempo de exposição do funcionário durante a abertura de linha	Erro humano durante a operação	Danos pessoais (queimaduras químicas, lesões em órgãos internos, fatalidade)	5	Falta aptidão, fatores diversos	8	8	320
	Falha	Danos	5	Falhas em	5	8	200

Função	Modo de Falha	Efeito Potencial	Severidade	Causa Potencial	Ocorrência	Deteção	RPN
	tecnológica de equipamentos associados com abertura de linha	personais (queimaduras químicas, lesões em órgãos internos, fatalidade)		sensores, visores, sistemas de segurança			
	Equipamentos com desgaste físico que permitem vazamentos de amônia	Danos pessoais (queimaduras químicas, lesões em órgãos internos, fatalidade)	5	Falta de manutenção em equipamentos usados na operação	8	4	160

A terceira etapa é a análise crítica partindo do grau de prioridade e características dos controles operacionais presentes:

- a) **Erro Humano:** este modo de falha é um item de difícil resolução, neste caso há duas possíveis saídas, sendo a primeira a redução do tempo de exposição do funcionário durante a operação e a segunda é a eliminação da presença humana no esgotamento da linha;
- b) **Falha Tecnológica:** neste caso não se pode eliminar totalmente o risco retirando os equipamentos, o que pode ser estudado é a modificação para tecnologias mais seguras com dispositivos de segurança mais avançados;
- c) **Desgaste Físico:** pode ser tomada a ação preventiva com melhoria em testes e aprimoramento de procedimentos antes da operação de abertura de linha. Testes preliminares nos equipamentos envolvidos no esgotamento e borbulho de amônia na água pode evitar possíveis vazamentos na operação e conseqüentemente exposição ao produto químico.

A composição das três partes da análise de modo de falha dá origem a tabela 9 que apresenta o mesmo modelo introduzido na tabela 6. Pelo grau de prioridade, a redução de exposição do funcionário envolvido na abertura de linha em especial o esgotamento da amônia representa a ação corretiva/preventiva mais urgente, em seguida vem a alteração da tecnologia para uma alternativa menos susceptível à falhas que permitam vazamentos, e por último a realização de testes preliminares em equipamentos associados à abertura de linha (principalmente o esgotamento da amônia). Conforme verificado junto à empresa, o procedimento de reparo tem uma duração de 3 horas em média, e totalizando um período de parada do equipamento de 6 horas. Neste sentido, o maior esforço seria na ação de redução do período de presença do funcionário no local da tancagem.

Tabela 9 – FMEA da Abertura de Linha envolvendo Tancagem de Amônia

Função	Modo de Falha	Efeito Potencial	Severidade	Causa Potencial	Ocorrência	Deteção	RPN	Ações Recomendadas
Assegurar um menor tempo de exposição do funcionário durante a abertura de linha	Erro humano durante a operação	Danos pessoais (queimaduras químicas, lesões em órgãos internos, fatalidade)	5	Falta aptidão, fatores diversos	8	8	320	Redução do tempo de exposição do funcionário (3 horas) durante a operação e/ou a eliminação da presença humana no esgotamento da linha – Mudanças na Sistemática da Operação
	Falha tecnológica de equipamentos associados com abertura de linha	Danos pessoais (queimaduras químicas, lesões em órgãos internos, fatalidade)	5	Falhas em sensores, visores, sistemas de segurança	5	8	200	Modificação para tecnologias mais seguras com dispositivos de segurança mais avançados – Sistemas Automáticos de Esgotamento de Linha
	Equipamentos com desgaste físico que permitem vazamentos de amônia	Danos pessoais (queimaduras químicas, lesões em órgãos internos, fatalidade)	5	Falta de manutenção em equipamentos usados na operação	8	4	160	Testes preliminares nos equipamentos envolvidos no esgotamento e borbulho da amônia evitando possíveis vazamentos na operação e exposição ao produto químico

5 CONCLUSÃO

As operações de manutenção envolvem riscos dentro do processo industrial e no que toca a parte de resfriamento de gases na indústria de gás carbônico não é diferente.

O estudo por meio do FMEA permitiu constatar três resultados com relação à priorização de ações de prevenção e/ou correção em torno da redução (ou eliminação se possível) do período de exposição do colaborador/empregado contratado.

Primeiramente durante as operações de parada de manutenção em bombeamento de amônia, a principal ação seria reduzir as atuais 3 (três) horas detectadas no local da abertura de linha avaliando e se possível modificando a sistemática do trabalho.

Segundo ponto constatado concentra-se na ação por modificação da tecnologia de esgotamento da linha de tubulação de amônia por meio de tecnologia mais avançada, o que evitaria exposição do funcionário embora haja a possibilidade de erro tecnológico.

Por fim, a avaliação da metodologia do FMEA permitiu a constatação de uma ferramenta com caráter preventivo nas ações geradas e seus graus de prioridade dentro da análise de risco, entretanto, uma das dificuldades encontradas foi a realização da avaliação sem uma equipe multidisciplinar. Neste sentido a análise tornou-se mais subjetiva e não houve o enriquecimento da análise por meio do envolvimento de áreas industriais de manutenção e operação, por exemplo, que podem contribuir substancialmente com os RPNs obtidos no FMEA.

REFERÊNCIAS

ANAN, Marcelo. **Análise Intergrada de questões ambientais, de segurança e saúde do trabalho para a indústria fina: uma contribuição metodológica para auditorias no segmento de biocidas.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 2006.

Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUM). **Manual para Atendimento de Emergências com Produtos Perigosos.** 10ª edição, São Paulo: Pró-Química, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13193: Emprego de cores para identificação de tubulações de gases industriais.** Rio de Janeiro, 1994.

BASTOS, André. **FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) Como Ferramenta de Prevenção da Qualidade em Produtos e Processos – Uma Avaliação da Aplicação em um Processo Produtivo de Usinagem de Engrenagem.** XXVI ENEGEP - Fortaleza, CE, Brasil, 9 a 11 de Outubro de 2006. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006_TR470324_8144.pdf> . Acesso: 25/02/2015.

BRASIL - MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO – Secretaria de Inspeção do Trabalho (SIT) – Departament de Segurança e Saúde no Trabalho (DSST). **Nota Técnica nº 03/DSST/SIT: Refrigeração industrial por amônia:** Riscos, Segurança, e Auditoria Fiscal. Brasília, 2004.

BRASIL - MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **Norma Regulamentadora nº 13.** Caldeiras e Vasos de Pressão. Brasília/DF, 1978. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br>>. Acesso em: 13 nov. 2014.

BRASIL - MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **Norma Regulamentadora nº 15.** Atividades e Operações Insalubres. Brasília/DF, 1983. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br>>. Acesso em: 13 nov. 2014.

BRASIL - MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **Norma Regulamentadora nº 26.** Sinalização de Segurança. Brasília/DF, 2011. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br>>. Acesso em: 13 nov. 2014.

BRASIL - MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Agência Nacional de transportes terrestres (ANTT), **Resolução nº 420** – Regulamento do Transporte Terrestre de Produtos Perigosos. Brasília/DF, 2004. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/resolucoes/00500/resolucao4_20_2004.htm>. Acesso em: 25 fev. 2008.

DE SOUZA, Carlos R. C.. **Análise e Gerenciamento de Risco de Processos Industriais**. Universidade Federal Fluminense. Disponível em: <www.areaseg.com/bib/.../Apostila_de_Gerenciamento_de_Riscos.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2014.

HADDAD, Edson et al. **Prevenção, preparação e resposta a desastres com produtos químicos**. Apostila da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). São Paulo, 2002.

LEAL, F.; PINHO, A.F.; ALMEIDA, D.A. Análise de falhas através da aplicação do FMEA e da teoria Grey. Revista Gestão Industrial, Ponta Grossa, PR, v.2, n.1, p.79-88, 2006.

MULLER, Daniel. G.. **Vazamento de Amônia em Sistemas de Refrigeração de Indústrias de Pescado**. Tese de Doutorado - Centro Tecnológico da Terra e do Mar, Universidade do Vale do Itajaí. São José, 2008.

Occupational Safety & Health Administration. **29 – CFR - Part 1910.119: Process safety management of highly hazardous chemicals**. U.S. Department of Labor, Washington, DC. Disponível em: <https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owastand.display_standard_group?p_toc_level=1&p_part_number=1910>. Acesso em 13 nov 2014.

PALAFY, P. **FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram**. Instituto IMAM, 2004.

PUENTE, J.; PINO, R.; PRIORE, P.; LA FUENTE, D. de. **A Decision Support System for Applying Failure Mode and Effects Analysis**. International Journal of Quality & Reliability Management, v.19, n.2, p.137-150, 2002.

ULTRAFERTIL S.A. – FOSFÉRTIL. **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos: Amônia Anidra, 2008**. Disponível em: <www.fosfertil.com.br/www/.../NH3_AMONIA_Rev_AGO_2008.pdf>. Acesso em: 13 novembro 2014.

WORKERS' COMPENSATION BOARD / WorkSafeBC. **Ammonia in Refrigeration Systems**. British Columbia Safety Authority, 2007. Disponível em: <www.worksafebc.com/publications/health_and_safety/by_topic/assets/pdf/ammonia_refrigeration_bk1.pdf>. Acesso em: 29 novembro 2014.

XIAO, N.; HUANG, H.Z.; LI, Y.; HE, L.; JIN, T. **Multiple failure modes analysis and weighted risk priority number evaluation in FMEA**. Engineering Failure Analysis, v.18, n.4, p.1162-1170, 2011.