

GLECIVALDO OLIVEIRA DOS SANTOS

A IMPORTÂNCIA DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE
REDUÇÃO DA EMISSÃO DE ISOCIANATOS PARA A ATMOSFERA
EM TANQUES DE ESTOCAGEM.

São Paulo
2016

GLECIVALDO OLIVEIRA DOS SANTOS

A IMPORTÂNCIA DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE
REDUÇÃO DA EMISSÃO DE ISOCIANATOS PARA A ATMOSFERA
EM TANQUES DE ESTOCAGEM.

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para a obtenção do título de
Especialista em Engenharia de
Segurança do Trabalho

São Paulo
2016

Aos meus pais que ao me deixar as portas abertas ao conhecimento, deram-me a oportunidade de desbravar o mundo. À minha esposa Zilene e minha filha Gabriela que me deram força e carinho durante todo o período de pesquisa e elaboração deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Aos meus colegas de trabalho: Eng. Silvio Melo, Eng. Marcelo Sousa, Eng. Carlos Eduardo Cordeiro e Eng. Rogério Mantovani que foram os primeiros professores e me incentivaram a iniciar este curso e atuar na área de Saúde e Segurança do Trabalho, o que me proporcionou várias oportunidades nessa nova área de atividade.

Aos senhores Eng. Ashwin Patel e Eng. ArreyAshu, Superintendente e Supervisor de Engenharia de Processos na Sadara Chemical Company, respectivamente, que entendendo a importância deste curso para o meu desenvolvimento profissional, facilitaram a minha presença na USP em cada período de exame.

Ao amigo Eng. Kleber Barbosa que dedicou momentos preciosos em discussões elucidadoras que ajudaram a dar uma personalidade a este trabalho.

“Não é preciso ter olhos abertos para ver o sol, nem é preciso ter ouvidos afiados para ouvir o trovão. Para ser vitorioso você precisa ver o que não está visível”.

Sun Tzu

RESUMO

Esse estudo visa detalhar uma proposta de minimizar as emissões atmosféricas de isocianatos, apresentando como alternativa a alteração do projeto de inertização de uma tancagem existente, implementando um sistema de controle de pressão e adotando critérios específicos envolvendo o tipo de estocagem e substância armazenada. Dessa forma, busca-se reduzir ao máximo as emissões para o ambiente e, conseqüentemente, evitar os problemas associados às doenças ocupacionais e os riscos relativos à segurança de processos.

Palavras-Chave: Estocagem de Isocianato, Emissões Atmosféricas, Sistema de Inertização, Asma Ocupacional, Segurança de Processo.

ABSTRACT

This study details a proposal to minimize atmospheric emissions of isocyanates, presenting an alternative to change the inert design of an existing process, implementing a pressure control system and adopting specific criterions that involve the type of storage and substance which is stocked. Thus, it seeks to reduce as much as possible the emissions of isocyanates released into the environment, and minimize the problems associated with occupational diseases and the risks related to process safety.

Keywords: Isocyanate Storage, Air Emissions, Inert System, Occupational Asthma, Process Safety

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Emissões de vapores na indústria	15
Figura 2 - Tanque de teto fixo	19
Figura 3 - Tanque com teto flutuante externo.....	20
Figura 4 - Tanque de teto flutuante interno	21
Figura 5 - Balanceamento de vapores durante abastecimento.....	24
Figura 6 - Tanque com isolamento térmico	25
Figura 7 - Esfera com sistema de aspersão (dilúvio)	25
Figura 8 - Condensação de vapores químicos	26
Figura 9 - Tanque envolto em domo	27
Figura 10 - Tratamento de ar de exaustão	27
Figura 11 – Reagentes, tipos e principais aplicações dos poliuretanos	29
Figura 12 - Estrutura de ressonância do isocianato	30
Figura 13 - Produtos e atividades onde pode ocorrer exposição aos isocianatos.....	31
Figura 14 - Brônquios com ataque asmático	32
Figura 15 - Processo de produção do TDI	34
Figura 16 - Limites de exposição para isocianatos TDI, MDI e MIC.....	35
Figura 17 - Modelo de máscara com respiração autônoma	37
Figura 18 - Filtro de carvão ativado	39
Figura 19 - O diagrama de camadas - LOPA	41
Figura 20 - Hierarquia do controle de riscos	42
Figura 21 - Esquemático da tancagem existente	46
Figura 22 - Sistema de inertização existente.....	47
Figura 23 - Presença do trabalhador na região da tancagem	48
Figura 24 - Detalhe do fundo do tanque em deslocado da base	50
Figura 25 - PVRV e detalhe do bocal entupido com ureia.....	51
Figura 26 - Esquemático simplificado da transferência de produto no sistema.....	54
Figura 27 – Escala de ajustes de pressão	58
Figura 28 - Exemplo de válvula redutora de pressão com piloto.....	60
Figura 27 - Resumo do sistema de controle de inertização	61
Figura 29 - Arranjo da admissão de nitrogênio.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Emissões de TDI na indústria dos Estados Unidos (kg) em 2014.....	38
Tabela 2 - Volume dos tanques, vasos e isotanque de TDI	53
Tabela 3 - Vazões das bombas do sistema de tancagem.....	54
Tabela 4 - Seleção de dados para cálculo de vazão para cenário de vácuo	55
Tabela 5 - Seleção de dados para cálculo de vazão para cenário de pressão	56
Tabela 6 - Vazões necessárias para cenário de vácuo.....	59
Tabela 7 - Vazões necessárias para cenário de pressão.....	59
Tabela 8 - Vazões para as válvulas de alimentação e alívio de nitrogênio	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACGIH - *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*

CETESB - Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e Controle de Poluição das Águas.

CA – Certificado de Aprovação

CO₂ - Dióxido de Carbono

CFR - *Code of Federal Regulations*

DNT - Dinitrotolueno

EPA - *Environmental Protection Agency*

EPI - Equipamento de Proteção Individual

FISPQ - Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos

LOPA – *Layer of Protection Analysis*

MDI - Isocianato de Metileno Difenil

NIOSH - *National Institute for Occupational Safety and Health*

OSHA - *Occupational Safety and Health Administration*

PT – *Pressure Transmitter*

PPM - Partes por milhão

PMTA - Pressão Máxima de Trabalho Admissível

PPRA - Programa de Prevenção de Riscos Ambientais

PVRV – *Pressure and Vacuum Relieve Valve*

TDI – Tolueno diisocianato

TDA - Tolueno Diamina

TLV - *Threshold Limit Value*

TWA - *Time Weighted Average*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.2 OBJETIVO.....	16
1.3 JUSTIFICATIVA	16
2. REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1 TANQUES DE ESTOCAGEM	18
2.1.1 Tanques de Teto Fixo	19
2.1.2 Tanques de Teto Flutuante Externo	20
2.1.3 Tanques de Teto Flutuante Interno.....	21
2.2 PERDAS MAIS SIGNIFICATIVAS NA TANCAGEM DE PRODUTOS QUÍMICOS	22
2.2.1 Perdas por Transferência do Produto	22
2.2.2 Perdas por Ventilação.....	22
2.2.3 Outros Tipos de Perdas	23
2.3 PREVENÇÃO DE EMISSÕES EM TANQUES DE ESTOCAGEM.....	23
2.3.1 Sistema de Controle de Pressão e Vácuo.....	23
2.3.2 O Isolamento Térmico.....	24
2.3.3 Sistema de Aspersão	25
2.3.4 Condensação.....	26
2.3.5 Cobertura com Líquido de Baixa Pressão de Vapor	26
2.3.6 Domo	26
2.3.7 Tratamento do Ar de Exaustão	27
2.4 ISOCIANATOS.....	28
2.4.1 Origem dos poliuretanos	28
2.4.2 Mercado e demanda global dos isocianatos	28
2.4.3 A química dos isocianatos	29

2.4.4	Reação com a Água	30
2.4.5	Toxicologia	30
2.4.6	Caso particular: TDI	34
2.4.7	Equipamento de Proteção Individual para Manipulação do TDI	36
2.4.7.1	Máscara de respiração autônoma.....	36
2.5	ESTOCAGEM DE ISOCIANATOS	37
2.5.1	Emissões em tanques de isocianato.....	38
2.5.2	Uso de Carvão Ativado para Reduzir Emissões de Isocianato.....	39
2.6	FERRAMENTAS E NORMAS	40
2.6.1	Layers of Protective Analysis (LOPA)	40
2.6.2	Hierarquia dos controles de exposição ao risco.....	41
2.6.3	API 2000	43
2.6.4	NR 6	44
2.6.5	NR 15.....	44
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	45
3.1	ESCOPO DO TRABALHO	45
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA E FUNCIONÁRIOS	46
3.2.1	A empresa.....	46
3.2.2	Os funcionários.....	47
3.3	REQUISITOS BÁSICOS PARA O PROJETO	49
3.3.1	Limites de Exposição.....	49
3.3.2	Normas de Cálculo Utilizadas	49
3.4	EVENTO INICIADOR DO PROJETO.....	50
3.4.1	Análise dos elementos do sistema.....	51
3.4.1.1	Problemas observados na PVRV.....	51
3.4.1.2	Problemas observados na Tubulação.....	51
3.4.1.3	Problemas observados na Válvula Reguladora de Nitrogênio	52

3.5	BASES DE PROJETO.....	52
3.5.1	Dados básicos de processo.....	52
3.5.2	Limites de pressão para operacionalizar o sistema.....	52
3.5.3	Vazões operacionais da tancagem.....	53
3.5.4	Definição dos cenários.....	54
3.5.5	Cenário de vácuo.....	54
3.5.6	Cenário de Pressão.....	55
3.5.7	Tubulação.....	56
3.5.8	Válvulas de Alívio de Pressão e Vácuo.....	57
3.5.9	Leito de Carvão Ativado.....	57
4.	RESULTADOS & DISCUSSÕES.....	58
4.1	ESCALA DE CONTROLE DE PRESSÃO.....	58
4.2	VAZÕES REQUERIDAS PELO SISTEMA.....	59
4.2.1	Cálculo das Vazões para o Cenário de Pressão e Vácuo.....	59
4.2.2	Sumário das vazões calculadas.....	59
4.3	TUBULAÇÃO.....	60
4.3.1	Configuração adotada.....	60
4.3.2	Perda de pressão no sistema.....	61
4.3.3	Detalhamento dos elementos e funcionalidades.....	61
4.3.3.1	Válvulas de controle.....	61
4.3.3.2	Controle de pressão.....	62
4.3.3.3	PVRVs.....	62
4.3.3.4	Tubulação.....	63
4.3.4	Barreiras de proteção.....	63
4.3.4.1	Atuação das válvulas de controle.....	63
4.3.4.2	Atuação das PVRV's.....	64
4.3.4.3	Filtro de carvão ativado.....	64

5. CONCLUSÃO	65
REFERÊNCIAS	69
Apêndice A - Cálculo do escoamento por gravidade.....	73
Apêndice B – Estimativa para o filtro de carvão ativado.....	74
Anexo A - Inventário de emissões de produtos químicos nos estados unidos – todos os seguimentos industriais (libras).....	74
Anexo B – Tabela de fatores de conversão de volume líquido deslocado para volume de ar deslocado.....	75
Anexo C - Tabela de volume de ar deslocado devido à variação de temperatura sobre o volume do tanque.....	76
ANEXO D - Diagrama de capacidade x percentual de abertura de <i>PVRVs</i>	77
ANEXO E – Fatores de conversão de vazão volumétrica e massa específica para líquidos e gases.....	78
ANEXO F – Tabela de limites de exposição para isocianatos comerciais.....	79
ANEXO G - Ficha de Informação do produto – TDI.....	80
ANEXO H - Sistema de estocagem com header compartilhado.....	83

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, uma variedade de substâncias químicas é produzida, transportada, modificada e armazenada no mundo inteiro. Em meio a todos esses processos, uma enorme quantidade de seus vapores é lançada na atmosfera continuamente ou estão sob risco eminente de serem liberadas. Muitas dessas substâncias oferecem os mais diversos riscos ao homem ou ao meio ambiente, causando graves problemas ocupacionais e/ou ambientais.

De acordo com o sítio Worldometers (Odômetro Mundial), a cada segundo, 310 kg de produtos químicos tóxicos são libertados para o nosso ar, terra e água em instalações industriais em todo o mundo. Isso equivale a cerca de 10 milhões de toneladas de produtos químicos tóxicos liberados em nosso ambiente pelas indústrias a cada ano. Destes, mais de 2 milhões de toneladas por ano são reconhecidas como cancerígenas. Isto equivale a cerca de 65 kg por segundo.

Figura 1 - Emissões de vapores na indústria



Fonte: Ecolnews (2013)

Devido aos grandes inventários de produtos químicos normalmente armazenados, as maiores concentrações industriais apresentam um enorme perigo para toda a sociedade. Matérias que foram divulgadas pela mídia retratam alguns destes casos,

como por exemplo: “Polo Industrial de Cubatão é evacuado após vazamento de gás tóxico” (LOPES; PIRES, 2015), ocorrido em Cubatão, São Paulo; “Vazamento tóxico no Polo” (SILVA, 2011), Polo Petroquímico de Camaçari na Bahia; “Vazamento de gás na Vale deixa trabalhadores intoxicados” (MACEDO, 2015) em Uberaba, Minas Gerais. Todavia, muitas destas grandes corporações partem de um grande grupo que contribuem desenvolvendo ou financiando pesquisas tecnológicas de forma a minimizar os acidentes e reduzir os riscos associados à segurança de processos.

Para este intuito, é importante ter o pleno conhecimento do tipo de substância química que normalmente é manipulada em suas dependências e ter um grupo altamente preparado para o dimensionamento das medidas de segurança necessárias além de um plano de emergência eficaz para a proteção das pessoas, do meio ambiente e das instalações. Sendo assim, esse trabalho tem como foco as emissões de isocianatos, devido à sua grande demanda global e suas propriedades químicas e biológicas bastante desafiadoras.

1.2 OBJETIVO

Implementar um conjunto de melhorias em um sistema de inertização de uma tancagem de isocianato com o intuito de reduzir as emissões do produto para o meio ambiente.

1.3 JUSTIFICATIVA

Dentro do processo industrial, os tanques de estocagem representam uma das atividades que mais contribuem de forma significativa para as emissões químicas para a atmosfera. Segundo o European Commission (2006), os processos de enchimento dos tanques, limpeza, drenagem, inertização e também as emissões fugitivas, representam as formas onde podem ocorrer liberação química para o meio ambiente e conseqüentemente levar danos à sociedade.

A proposta apresentada de implementação de melhorias para minimizar as emissões também busca solucionar os riscos de segurança de processo que podem

ocorrer quando se trabalha com a estocagem de isocianatos, principalmente em relação à contaminação do fluido com a umidade proveniente do ambiente externo.

O tema escolhido tem aplicabilidade relativamente alta na indústria devido ao fato de que o processo de estocagem está presente em inúmeros segmentos industriais e pode ser implementado mesmo em sistemas que operam com outros tipos de fluidos.

De forma simples e efetiva, tanto os trabalhadores quanto à sociedade podem se beneficiar desse projeto, quando o resultado busca reduzir as emissões químicas para a atmosfera, reduzindo vários problemas que podem ocasionar danos à saúde das pessoas que porventura sejam afetadas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 TANQUES DE ESTOCAGEM

A estocagem de produtos químicos está presente nos mais diversos segmentos industriais, como na indústria química e petroquímica além de outras que produzam ou apenas consumam produtos químicos, conforme *Organic[...]* (2006). Pode ser identificada no início do processo produtivo - onde há o armazenamento de matérias-primas, ou no final, com a estocagem do produto acabado, ou haver também estocagem de produtos intermediários, ou para reprocesso.

O armazenamento e manuseamento de produtos químicos perigosos envolvem alguns riscos potencialmente graves que podem ser reduzidos para níveis muito baixos por um bom planejamento, projeto, e práticas de gestão. Instalações típicas geralmente contêm tipos de riscos que variam de pequenos vazamentos ocasionais, que exigem detecção e reparo imediato a versões maiores, que são extremamente raras em instalação com bom gerenciamento de risco, mas que podem ter o potencial para provocar impactos generalizados. (DRAKE E CROCE, 1988, p. 259-264, tradução nossa).

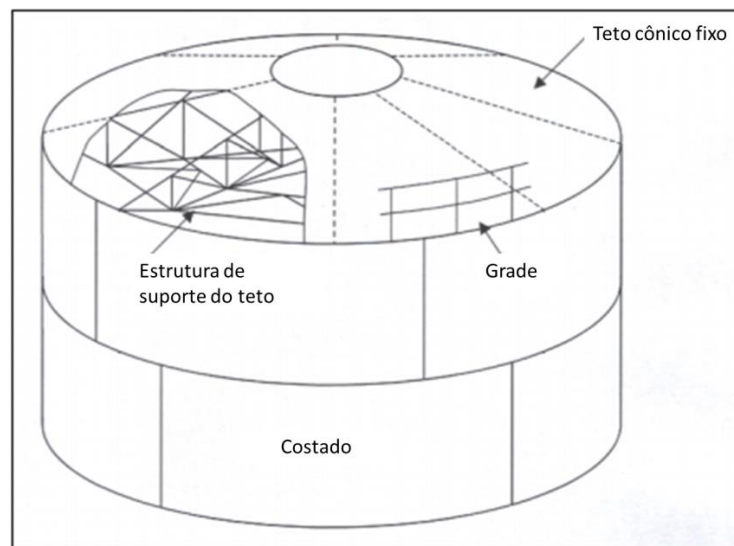
Ainda segundo Drake e Croce (1988), as instalações existentes que estocam produtos químicos, precisam revisar todo o seu plano estratégico de redução de riscos, avaliando as instalações e elementos do sistema, e fazendo melhorias contínuas em seus programas de gerenciamento de riscos, reduzindo ao máximo as emissões de produtos tóxicos para a atmosfera.

Conforme escrito na obra *Tank[...]* (2009), as emissões de substâncias químicas em tanques ocorrem particularmente devido à perda de líquidos por evaporação e dos efeitos causados pela mudança de nível durante a alimentação ou retirada de produtos dos mesmos. As formas de emissão variam de acordo com o projeto dos tanques. Os tipos de tanques mais relevantes e mais comumente utilizados podem ter três tipos de cobertura: teto fixo, teto flutuante externo e teto flutuante interno.

2.1.1 Tanques de Teto Fixo

De acordo com Dirceu (2004), os tanques de tetos fixos são os mais simples e comuns na indústria, consistindo de um corpo cilíndrico com um teto fixo cônico contendo um suspiro para a ventilação durante as manobras de carregamento e descarregamento do produto. Os suspiros permitem a entrada ou saída de ar, evitando a formação de vácuo ou pressurização do tanque. Os suspiros mais simples possuem uma abertura no teto do tanque, normalmente em forma de cabo de guarda-chuva para evitar a entrada de água de chuva dentro do tanque.

Figura 2 - Tanque de teto fixo



Fonte: *European Comission* (2006)

Conforme descreve Peress (2001), as emissões provenientes de tanques de teto fixo são as “perdas por respiro” e as “perdas por trabalho”. Perdas por respiro ocorrem quando há a expulsão de conteúdo de um tanque por meio da expansão e contração do vapor, que são resultantes das mudanças de temperatura e pressão barométrica. Essas perdas ocorrem mesmo que não haja mudança de nível de líquido no tanque. As perdas durante o enchimento e o esvaziamento é chamada de perda por trabalho. A evaporação durante o enchimento ocorre devido à agitação das moléculas na superfície do líquido que saturam o espaço de vapor interno. Ao aumentar o nível de líquido, o vapor é comprimido e a pressão no interior do reservatório excede a pressão de alívio e vapores são expelidos para fora do tanque.

De acordo com o *Venting*[...] (1998), emissões em tanques de teto fixo variam em função da capacidade de estocagem, pressão de vapor do fluido armazenado, da frequência de abastecimento e retirada dos mesmos e de como foi projetado o sistema de alívio do tanque.

2.1.2 Tanques de Teto Flutuante Externo

A diferença dos tanques de teto flutuante externo para os tanques de teto fixo é que os primeiros são abertos no topo, equipado com um teto livre para flutuar sobre a superfície do líquido estocado, conforme as alterações de nível no tanque. De acordo com Dirceu (2004), este tipo de tanque é capaz de reduzir as perdas por evaporação devido ao espaço de vapor reduzido, pois o teto flutua sobre a superfície do líquido. Para garantir a vedação, o teto é equipado com selo montado no perímetro do mesmo, que desliza sobre a parede do tanque, seguindo a movimentação do teto.

Figura 3 - Tanque com teto flutuante externo



Fonte: Depositphotos (2016)

O objetivo do selo é reduzir as perdas para o ar dos vapores do líquido armazenado. Pelo fato de que o selo não é estanque, sempre haverá vazamentos para a atmosfera, porém em proporções muito reduzidas. Também há emissões pelas

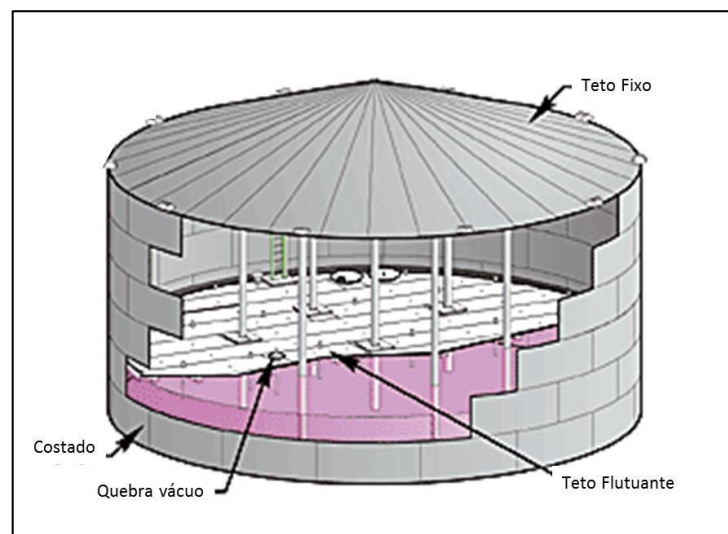
aberturas e conexões operacionais do teto que o atravessam, pois toda parte molhada ficará exposta ao ambiente e irá vaporizar-se.

“O vento é um dos mecanismos de perdas nos tanques de teto flutuante externos. Sem um teto fixo, a ação do vento sobre o topo aberto do tanque cria um diferencial de pressão que retira vapor de baixo do teto flutuante”. (Dirceu, 2004). Em conjunto com outros fatores ambientais, o vento afeta significativamente as perdas por evaporação.

2.1.3 Tanques de Teto Flutuante Interno

Um tanque de teto flutuante interno tem tanto um teto fixo permanente quanto um teto flutuante dentro (Figura 4). A descrição contida em *Organic[...]* (2006) informa que existem dois tipos básicos de tanques de teto flutuante interno: tanques em que o telhado fixo é suportado por colunas verticais no interior do reservatório, e tanques com um teto fixo autossustentável e sem apoio interno. O teto flutuante deste tipo de tanque sobe e desce diretamente sobre a superfície do líquido ou repousa sobre suportes várias polegadas acima do mesmo.

Figura 4 - Tanque de teto flutuante interno



Fonte: Petroleum Equipment & Technology Archive (2000)

“As perdas de vapor ocorrem pelo selo da extremidade, pelas emendas do deque e por qualquer conexão que o atravessam” (DIRCEU, 2004). Como há o contato direto do teto flutuante sobre o líquido, a vaporização é bastante reduzida e, normalmente não é suficiente para saturar o espaço de vapor. Além disso, emissões provenientes de tanques com teto flutuante interno são menores que do teto flutuante externo, devido a não haver a influência das condições meteorológicas, como a radiação solar e o vento sobre o lençol de chapa e sobre o selo periférico e acessórios de teto.

2.2 PERDAS MAIS SIGNIFICATIVAS NA TANCAGEM DE PRODUTOS QUÍMICOS

2.2.1 Perdas por Transferência do Produto

Conforme detalha a norma *Venting*[...] (1998), as perdas por transferência do produto para dentro do sistema surgem durante o enchimento ou esvaziamento do tanque. A taxa de variação volumétrica é normalmente fornecida pelas medições das vazões de alimentação e descarga da bomba ou mais simplesmente por uma medição de nível.

2.2.2 Perdas por Ventilação

Ainda segundo a norma *Venting*[...] (1998), e de acordo com a termodinâmica do processo de mudança de estado descrito por Abbott e Van Ness (1989), as perdas por ventilação ocorrem devido às alterações das condições atmosféricas; mais especificamente devido à variação da temperatura externa. A maioria dos parâmetros importantes que influenciam as perdas por emissões de vapores são:

- a. Saturação do espaço acima do líquido com o vapor. Isto é determinado, principalmente, pela a temperatura e pressão no espaço de gás e das características do líquido;

- b. As propriedades físicas do líquido, tais como a pressão de vapor e de calor latente de evaporação como função da temperatura;
- c. As condições meteorológicas no local de armazenamento, tais como a temperatura exterior, os efeitos do vento, precipitação forte (por exemplo, tempestades), etc;
- d. A condição da superfície do tanque, por exemplo isolamento térmico, cor, material de construção, etc.

2.2.3 Outros Tipos de Perdas

Conforme descrito no livro *Tank[...]* (2009), as perdas também ocorrerão devido à vazamentos em flanges e demais conexões, bombeamento, etc. Este item está bastante relacionado com a correta seleção de material e também com um programa de manutenção preventiva. É possível também haver emissões quando se realiza limpeza ou lavagem da tancagem sem que se utilize corretamente os padrões e procedimentos para realização das atividades onde haja a possibilidade de exposição do produto ao ambiente ou ao trabalhador.

2.3 PREVENÇÃO DE EMISSÕES EM TANQUES DE ESTOCAGEM

Os tanques de estocagem possuem algumas estratégias que podem ser utilizadas com o intuito de reduzir ou eliminar as emissões. No entanto, muitos não devem ser utilizados como única alternativa. Muitas vezes, a combinação entre mais de uma estratégia se faz necessária para atingir os requisitos mínimos de segurança. Eis alguns exemplos:

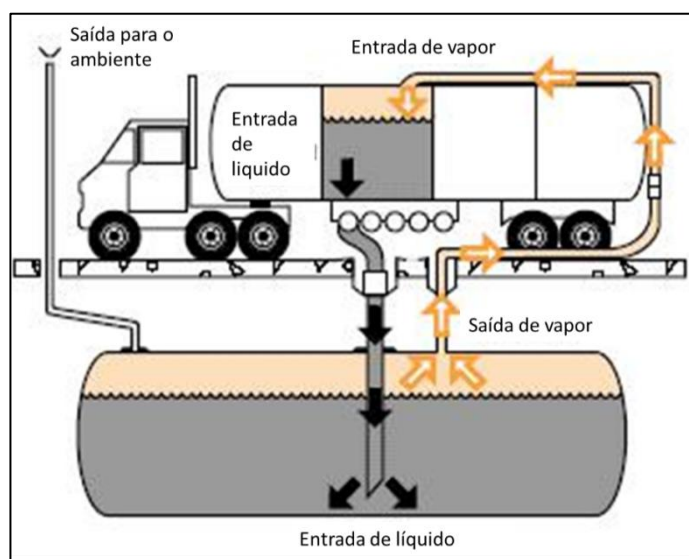
2.3.1 Sistema de Controle de Pressão e Vácuo

A ventilação do reservatório pode ser regulada por um sistema de controle de pressão e vácuo. Um medidor de pressão, ao detectar pressão negativa, permite a

entrada de ar ou nitrogênio. Por outro lado, para sistemas fechados, vapor interno é descarregado para fora do sistema. Em alguns casos, é possível projetar o sistema de forma a haver uma diferença entre as pressões de admissão e liberação, de forma que durante o ciclo diário, seja possível trabalhar com a compensação de pressão.

Wolf (1998) descreve o uso de reaproveitamento de vapores durante o abastecimento de gasolina em tanques de combustível. Também conhecido como balanceamento de vapor (Figura 5), nesta estratégia, durante o processo em que um tanque A está enchendo um reservatório B, os vapores expelidos pelo reservatório B são transferidos para o tanque A, busca-se atingir uma equivalência entre a pressurização e formação de vácuo, anulando-se mutuamente.

Figura 5 - Balanceamento de vapores durante abastecimento



Fonte: Koch, W. H., (1998) (Adaptado)

2.3.2 O Isolamento Térmico

Conforme exemplificado no texto *Tank[...]* (2009), o uso de isolamento térmico, conforme mostrado no exemplo da Figura 6, permite proteger a superfície do reservatório contra os efeitos do aquecimento provocado pela radiação solar, permitindo reduzir a flutuação diária de temperatura no espaço de gás. A variação

de temperatura a longo prazo ocorrerá mais lentamente o que afetará a frequência de descarga para a atmosfera para valores mais “aceitáveis”.

Figura 6 - Tanque com isolamento térmico

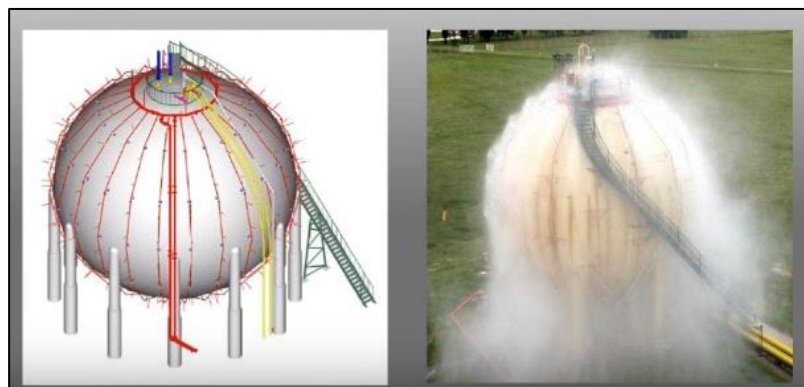


Fonte:Fogliene (2016)

2.3.3 Sistema de Aspersão

Este método é normalmente utilizado como meio de proteção contra incêndio, mas é uma alternativa para reduzir as flutuações diárias de temperatura quando se trata de evitar temperaturas extremas. Como regra geral, no entanto, a aspersão permanente não pode ser considerada por causa do elevado consumo de água (Figura 7).

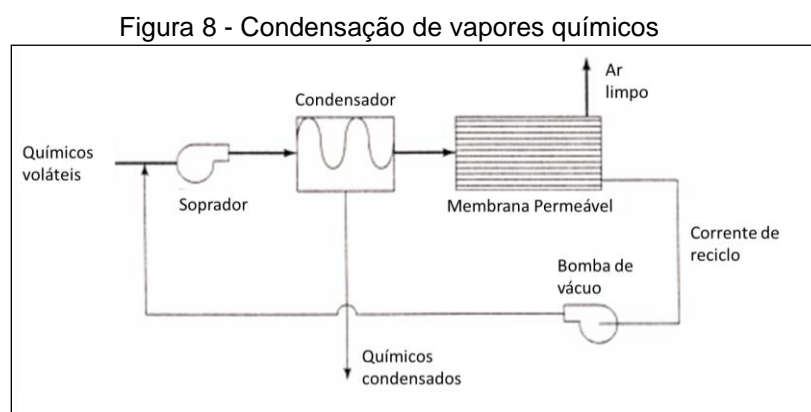
Figura 7 - Esfera com sistema de aspersão (dilúvio)



Fonte: Protectomatic, 2014

2.3.4 Condensação

Os gases que saem do reservatório são resfriados, o líquido condensa com a exceção de um pequena quantidade residual e o condensado pode ser devolvido para o tanque (Figura 8). “Condensação de vapores é um método muito utilizado para controle de emissões devido a sua simplicidade, facilidade de operação e baixo custo” (Grossel, S e Crowel, A. 1995)



Fonte: Saito, 2004 (Adaptado)

2.3.5 Cobertura com Líquido de Baixa Pressão de Vapor

Neste método, procura-se evitar que o espaço sobre o líquido se torne saturado com vapores do líquido armazenado. Essa estratégia possui “um selo líquido, que consiste de um selo cheio de espuma ou líquido, montado em contato com o líquido entre a parede do tanque e o teto flutuante” (DIRCEU, 2004).

2.3.6 Domo

O uso de uma estrutura com um teto fixo ou abobadado irá reduzir as emissões para o ar (Figura 9). Essa estratégia de uso de estruturas de telhado em forma de cúpula, são utilizados para proteger as grandes instalações de tratamento ou estocagem de água, agora também são usados para alguns tanques de armazenamento na indústria química e petroquímica. Os domos protegem os tanques de radiação solar

direta e resulta em menores flutuações diárias na temperatura do espaço de gás, além de confinar possíveis vazamentos.

Figura 9 - Tanque envolto em domo

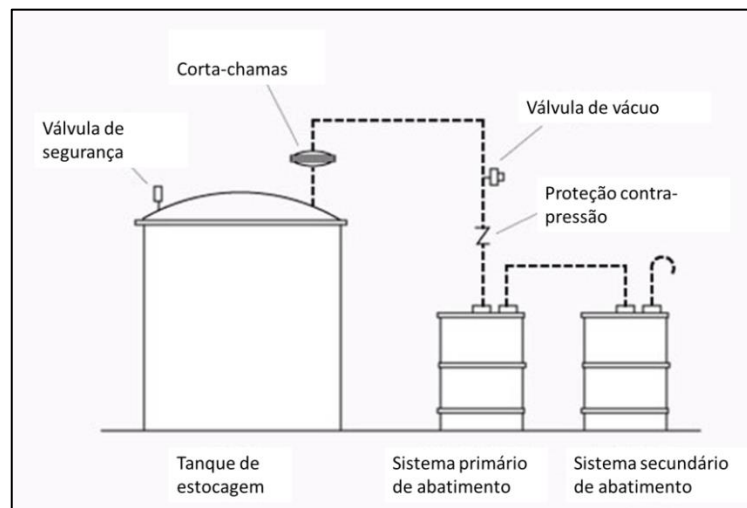


Fonte: Petro-Mont Technical Services Inc., 1996

2.3.7 Tratamento do Ar de Exaustão

“Primeiramente, os vapores de hidrocarbonetos são removidos em sua quase totalidade pela adsorção em vasos de carvão ativado, regenerados a vácuo, e o gás residual, em quantidades mínimas, é lançado na atmosfera” (DIRCEU, 2004). Esse processo se aplica ao tratamento dos volumes de gás descarregados a partir de tanques em instalações estabelecidas para esta finalidade, não só de hidrocarbonetos, mas de outros químicos em geral (Figura 10).

Figura 10 - Tratamento de ar de exaustão



Fonte: Carbtrol, 2016 (Adaptado)

2.4 ISOCIANATOS

2.4.1 Origem dos poliuretanos

Em 1937, Otto Bayer e seus colegas de trabalho descobriram o poliuretano durante seus trabalhos nos laboratórios de I.G. Farben em Leverkusen, Alemanha. Segundo Villar (2014), o desenvolvimento dos poliuretanos iniciou-se com a produção de espumas rígidas, adesivos e tintas e seguiu-se à produção de elastômeros na década de 1940, na Alemanha e Inglaterra. Após uma breve pausa devido à segunda guerra mundial, em 1946 o seu mercado apresentou um crescimento substancial. A seguir, o desenvolvimento de espumas rígidas foi destaque na década de 50 e o uso dos clorofluorcarbonos (CFCs) como agentes de expansão ajudou a disseminar o seu uso como isolamento térmico.

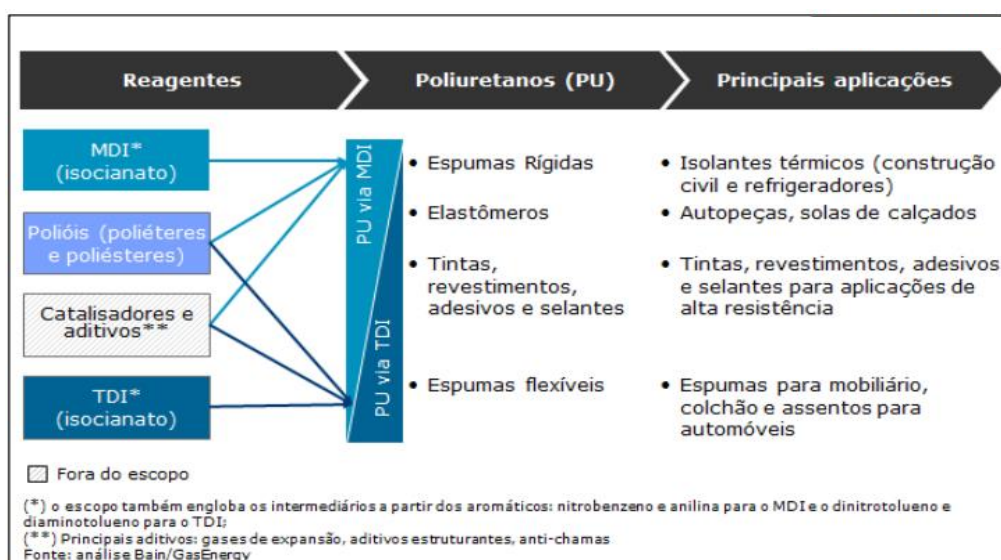
Na década de 70, a indústria de automóveis começou a empregar espumas semi-flexíveis e semi-rígidas revestidas com materiais termoplásticos. Nos anos 80, o crescimento de importância comercial foi a moldagem por injeção e reação dando ímpeto aos estudos das relações entre estrutura molecular e propriedades dos poliuretanos. Ainda de acordo com Villar (2014), na década de 90 os grandes debates globais acerca do meio ambiente, direcionaram as pesquisas para a substituição dos gases de Cloro-Fluor-Carbonos (CFC's) considerados danosos à camada de ozônio terrestre, e ao desenvolvimento de sistemas que não possuam compostos orgânicos voláteis (VOC's - *Volatile Organic Compound*), e os processos de reciclagem dos poliuretanos.

2.4.2 Mercado e demanda global dos isocianatos

De acordo com Villar (2014), os poliuretanos ocupam um papel de destaque no mercado global de plásticos, representando em torno de 5% da demanda mundial. O grande sucesso dos poliuretanos atualmente é a versatilidade de seus produtos, abrangendo uma enorme variedade de bens de consumo que podem ser produzidos utilizando-os como matéria-prima. Sua aplicabilidade pode ser encontrada na produção de espumas flexíveis (bastante utilizadas no mercado de colchões e

estofados), espumas rígidas (setores de construção e refrigeração), setor automobilístico, calçados, além de suprir os mercados de tintas e revestimentos e elastômeros (Figura 11).

Figura 11 – Reagentes, tipos e principais aplicações dos poliuretanos



Fonte: BNDES, 2014

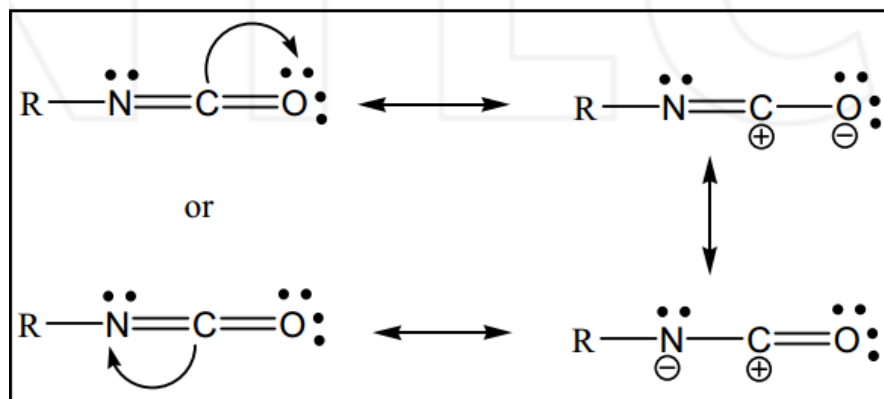
Tanto o MDI quanto o TDI são produzidos em todas as regiões no globo. Com a necessidade de estocagem, o padrão de engenharia e projeto dos sítios de armazenamento devem seguir regras bem definidas e rigorosas, assim como devem ser tratados a estocagem dos demais produtos químicos, principalmente quando estes apresentam propriedades reconhecidamente danosa ao homem e ao meio ambiente.

2.4.3 A química dos isocianatos

Na química, os isocianatos são substâncias orgânicas aromáticas ou alifáticas que possuem o grupo funcional $N=C=O$ (Nitrogênio, Carbono e Oxigênio). Conforme descreve Villar (2014), devido às duas ligações duplas deste grupo, a estrutura de ressonância do isocianato faz com que a baixa densidade de elétrons no átomo de carbono (C) o transforme no elemento mais suscetível a ser atacado por partículas nucleofílicas (com excesso de elétrons), como os polióis, a água, os extensores de cadeia, etc; enquanto o nitrogênio (N) e o oxigênio (O) reagem com partículas

eletrofílicas (com carência de elétrons), como o hidrogênio ativo (Figura 12). A presença do anel aromático faz destes isocianatos mais reativos que os alifáticos.

Figura 12 - Estrutura de ressonância do isocianato



Fonte: InTech, 2012

2.4.4 Reação com a Água

A reação de expansão do isocianato com a água é de extrema importância na fabricação das espumas de poliuretanos. “Esta reação é de extrema importância na fabricação das espumas de PU (poliuretanos), onde a difusão do gás carbônico para as bolhas de ar previamente nucleadas causa a expansão da espuma” (VILLAR, 2014). Nesta reação, a difusão do gás carbônico para as bolhas de ar previamente nucleadas causa a expansão da espuma. Essa reação é bastante exotérmica e desprende cerca de 47 kcal/mol de água. Os isocianatos reagem com a água formando ureia e liberando gás carbônico. Como a formação da ureia em tanques e tubulações que contêm isocianatos caracteriza os diversos problemas que podem ocorrer nestes sistemas, principalmente pelo fato de que o gás carbônico pode contribuir para pressurizar o sistema.

2.4.5 Toxicologia

A exposição crônica ou aguda aos isocianatos pode provocar danos à saúde. Um dos efeitos mais comuns está associado aos problemas respiratórios, principalmente asma ocupacional. Trabalhadores mais sensíveis à substância podem exibir

sintomas de asma quando expostos constantemente ao produto, mesmo quando a concentração do isocianato na atmosfera está abaixo dos limites ocupacionais.

Foi relatado em um trabalho realizado por Reh (2004), que o trabalhador exposto ao isocianato primeiro desenvolve uma condição asmática após uma exposição aguda. A condição asmática pode ocorrer imediatamente após a exposição aguda, algumas horas após ou uma combinação de ambas. A reação asmática tardia é a mais comum, ocorrendo em aproximadamente 40% dos trabalhadores sensibilizados ao isocianato. Após a sensibilização, qualquer exposição até mesmo a níveis abaixo dos limites ocupacionais, pode resultar numa condição asmática séria. Estimativas apontam que o percentual de trabalhadores expostos à asma induzida por exposição ao isocianato pode variar da seguinte forma: entre 5% e 10%, ocorrem em trabalhadores nas instalações de produção do diisocianato, 25% nas plantas que produzem poliuretanos e 30% na produção de revestimento de poliuretano. Mesmo aqueles que nunca tiveram asma durante a vida, podem desenvolvê-la após determinado tempo de exposição aos isocianatos.

Na tabela abaixo há uma relação de produtos comuns e postos de trabalho, onde a exposição aos isocianatos pode ocorrer (Figura 13).

Figura 13 - Produtos e atividades onde pode ocorrer exposição aos isocianatos

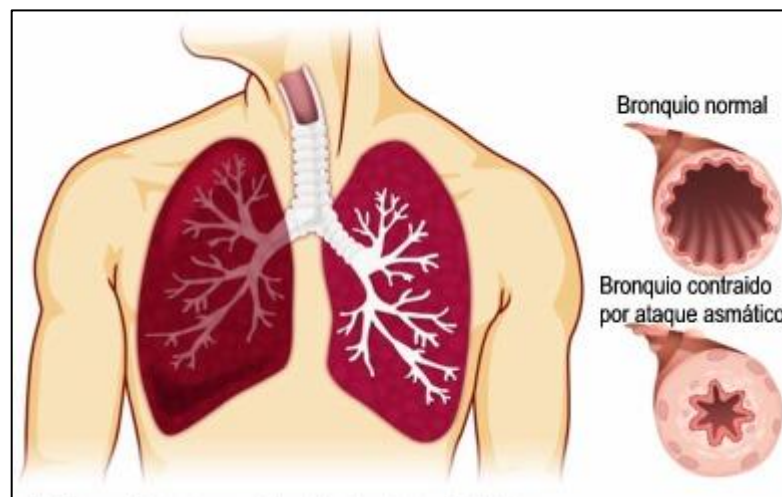
Produtos	Atividades
<ul style="list-style-type: none"> • Borracha de poliuretano • Colas e adesivos • Espuma de poliuretano • Materiais de isolamentos • Tintas, lacas, tintas, • Vernizes, selantes, revestimentos 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação de forro em caminhões • Construção e acabamento • Fundição • Impressão • Isolamento de cabo elétrico • Móveis • Pintura • Produção de têxteis, plástico e borracha • Produção de têxteis, plástico e borracha • Produção e reparo de automóveis • Sopro e corte de espuma

Fonte: Oregon OSHA, (2014) (Adaptado)

A asma ocupacional, pode resultar em dano ao pulmão no longo prazo e também deficiência respiratória, e até mesmo morte. Assim como em outros casos de problemas de saúde, o diagnóstico precoce e o tratamento adequado podem levar a melhores resultados de saúde. Roberge (2013) define asma como uma síndrome respiratória causada por uma reação inflamatória dos brônquios. Três mecanismos independentes causam a contração dos brônquios: edema (inchaço) da mucosa brônquica, a contração dos músculos dos brônquios e secreção de muco no centro dos brônquios. Os efeitos da asma são: obstrução causada pela inflamação, espessamento das paredes brônquicas e constrição dos brônquios pelo músculo liso em torno deles. Este estreitamento dificulta o fluxo de ar, especialmente durante a exalação.

Os sintomas são irritação dos olhos, nariz e garganta, tosse e episódios de sibilância. Eles normalmente ocorrem à noite, ou pode acordar o trabalhador durante a noite (isso é chamado de resposta atrasada). Ao longo do tempo, o trabalhador sente os sintomas mais intensos e experimenta desconforto durante e após o trabalho.

Figura 14 - Brônquios com ataque asmático



Fonte: *Enciclopedia Salud* (2007)

Em Québec, cerca de 25% dos casos de asma ocupacional reconhecidas são causados por isocianatos, embora a literatura mais antiga relata que 5% a 15% de todos os trabalhadores expostos desenvolvem asma ocupacional relacionada ao

isocianato no curso de sua vida profissional (ROBERGE, et al, 2013). No entanto, a incidência anual caiu para menos de 1% desde a década de 80, graças a um melhor conhecimento do local de trabalho, dos potenciais riscos e maneiras de controlá-los, um melhor controle do ambiente de trabalho, a formulação de certos produtos comerciais (por exemplo, revestimentos contendo menos monômeros voláteis) e o uso de equipamento de proteção respiratória, quando o controle na origem não é possível. Estas medidas de prevenção reduziram a incidência de novos casos de asma ocupacional.

De acordo com Roberge, (2013), algumas características são atribuídas ao tipo de asma causada por esse grupo químico:

- A asma pode desenvolver-se ao longo de qualquer período de tempo (dias ou anos);
- Asma ocupacional pode ocorrer com as mudanças na exposição de trabalho, empregos ou processos;
- É possível desenvolver asma ocupacional, mesmo se o seu local de trabalho tem equipamentos de proteção, tais como ventilação de exaustão ou respiradores. O mínimo contato pode ser o evento iniciador para a enfermidade;
- A asma ocupacional pode continuar a causar sintomas, mesmo quando a exposição cessa;
- Antes de trabalhar com isocianatos ou quaisquer outras substâncias causadoras de asma, deve haver todo um Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA), como previsto na legislação.

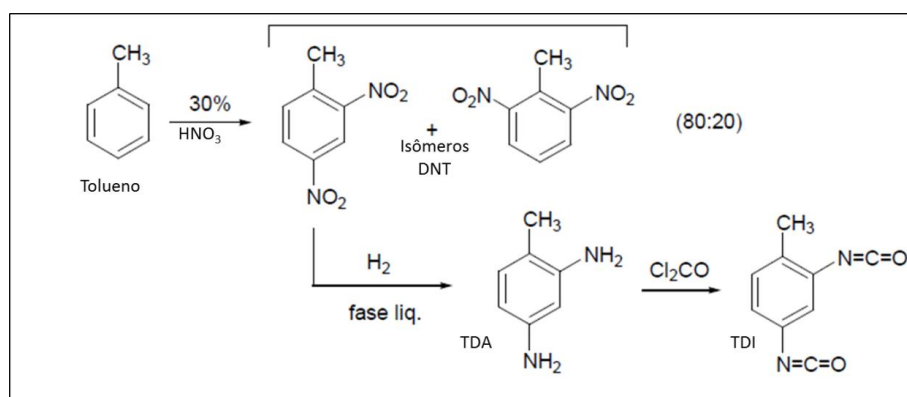
Contudo, a exposição não se limita às vias respiratórias. Também pode ocorrer através de outros órgãos do corpo. Em contato com os olhos, pode resultar em conjuntivite química bastante severa. Nos casos em que há contato com a pele, pode causar irritação e até dermatite de contato, além de outros sintomas como

erupção cutânea, comichão, urticária e inchaço das extremidades. Outros efeitos à saúde podem incluir problemas no fígado e disfunção renal (WORKSAFEBC, 2010).

2.4.6 Caso particular: TDI

No processo de produção do TDI, o tolueno é inicialmente nitrogenado com ácido nítrico, formando os isômeros de DNTs. Após a hidrogenação, o tolueno diamina (TDA) formado, reage com fosgênio, gerando o tolueno diisocianato, (Figura 15).

Figura 15 - Processo de produção do TDI



Fonte: Química Orgânica Industrial (1995)

A reação de TDI com água forma tanto o dióxido de carbono (CO_2) quanto compostos de poli-uréia insolúveis (VILLAR, 2014). Mesmo pequenas quantidades de água podem produzir CO_2 suficiente para romper um equipamento, principalmente porque a reação libera calor, contribuindo para a pressurização do equipamento onde esteja contido.

O tolueno diisocianato, e todos os outros produtos que contém TDI remanescente (não reagido) são potencialmente perigosos. Além de todos os cuidados necessários devido ao seu caráter carcinogênico (NIOSH, 1989), provoca ainda outros efeitos biológicos como asma ocupacional. A sua principal via de contaminação é por inalação. A substância afeta o sistema respiratório, gastrointestinal e nervoso central. Os sinais e sintomas na exposição aguda são: irritação dos olhos, nariz e garganta, cefaleia, tosse, falta de ar, sensação de embriaguez, desmaio e acúmulo

de líquido nos pulmões (CETESB, 2014). Assim como os demais isocianatos, o TDI provoca asma nos trabalhadores expostos por longo prazo por via inalatória além de afetar o fígado, sangue e rins. A exposição crônica a baixas concentrações do composto resulta em sensibilização à substância.

A Norma Regulamentadora NR-15 indica que a exposição ao TDI deve respeitar o valor teto 0,016 ppm de exposição para jornadas de até 48h. Dentre as substâncias listadas na Figura 16, o TDI é considerado o mais crítico por ser altamente tóxico em todas as suas variantes (isômeros), enquanto o manuseio do MDI é relativamente menos perigoso devido à sua estrutura molecular e baixa pressão de vapor, o que reduz a emissão de gases (WORKSAFEBC, 2010).

Figura 16 - Limites de exposição para isocianatos TDI, MDI e MIC

Substância	Limites Regulatórios		Limites Recomendados	
	NR15	OSHA PEL	NIOSH REL 1994	ACGIH 2013 TLV
	Até 48 horas/ semana	ppm	Até 10h TWA ppm	8h TWA ppm
2,4 Diisocianato de tolueno (TDI)	0.016	(LT) 0.02	Ca	0.005 (ST) 0.02
4,4'-difeníl metano diisocianato (MDI)		(LT) 0.02	0.005 (LT) 0.02 [10 min]	0.005
Metil Isocianato (MIC)		TWA 0.02 (contato)	0.02 (contato) (ST) 0.06	0.02 (ST) 0.06

Fonte: ABHO (2013); NR-15 (2014); Reh (2004)

Analisando a Figura 16, segundo a OSHA, o limite de exposição permissível (PEL) para TDI é de 0,02 ppm e 0,02 ppm, como limite teto [29 CFR * 1910.1000]. Ao atualizar seus padrões em 1989, a OSHA diminuiu este limite para 0.005 ppm para 8 horas de tempo de média ponderada (TWA) e 0,02 ppm como um limite de exposição de curto prazo. No entanto, esta norma foi revogada por ordem judicial em 1992.

Utilizando dois critérios distintos, NIOSH recomendou que a exposição TDI deve ser limitado a 0.005 ppm como um TWA de 10 horas durante uma semana de trabalho de 40 horas, com uma concentração limite de 0,02 ppm durante qualquer período de 10 minutos (NIOSH 1973, 1978). O NIOSH recomenda ainda um limite de exposição

(REL) destinado a evitar a irritação aguda e crônica e sensibilização dos trabalhadores, mas não para evitar respostas em trabalhadores que já estão sensibilizados.

Os dados disponíveis não indicam uma concentração na qual os vapores TDI deixa de produzir reações adversas em pessoas sensibilizadas. O NIOSH ainda reconhece o potencial carcinogênico do TDI e seus isômeros e recomenda que a exposição seja reduzida para as menores concentrações viáveis (NIOSH, 1989).

2.4.7 Equipamento de Proteção Individual para Manipulação do TDI

De acordo com a Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico (FISPQ) da Cetesb (ANEXO G), o manipulador do TDI deverá usar roupa de encapsulamento de viton e máscara de respiração autônoma. Na FISPQ do TDI disponibilizada pela Bayer, recomenda-se o uso de luvas de borracha, nitrilo, neoprene, etc. Os olhos devem ser protegidos por máscaras de proteção facial, porém não trás muitos detalhes sobre a vestimenta, informando apenas usar proteção para o corpo inteiro para evitar contato com a pele.

Segundo o NIOSH, para o caso do TDI que não há limite de exposição recomendado, deve-se usar aparelho de respiração autônomo com máscara completa, operado com pressão ou qualquer respirador com suprimento de ar que tem uma máscara completa e operado com pressão positiva ou uma combinação com um aparelho de respiração de pressão positiva portátil auxiliar.

Algumas substâncias cancerígenas podem ter um limite de exposição indicando que há outros efeitos tóxicos, mas esse limite não se refere ao efeito cancerígeno. Não deve ser permitido nenhum contato ou exposição com as substâncias cancerígenas, pois não existe limite de exposição para este efeito (TORLONI; VIEIRA, 2003).

2.4.7.1 Máscara de respiração autônoma

As máscaras de respiração autônomas “trata-se de um equipamento em que o usuário transporta junto ao corpo, o próprio suprimento de ar” (TORLONI; VIEIRA,

2003). Esses dispositivos classificam-se em máscaras autônomas de circuito aberto, onde se inspira o ar do cilindro e libera-se o ar para o ambiente através de válvulas de exalação. Nas máscaras autônomas de circuito fechado, o dióxido de carbono liberado pela respiração reage com o óxido de potássio, gerando oxigênio, sendo novamente respirado.

Figura 17 - Modelo de máscara com respiração autônoma



Fonte: Impacto - Equipamentos de Segurança (2016)

As máscaras recomendadas para o trabalho com isocianatos devem ser de demanda com pressão positiva. Nessas máscaras, há sempre uma pressão levemente acima da pressão atmosférica, minimizando o risco de entrada do ar do ambiente.

2.5 ESTOCAGEM DE ISOCIANATOS

Naturalmente os tanques de estocagem também devem estar incluídos no programa de gerenciamento de risco da empresa. A configuração do sistema e, principalmente, as propriedades físico-químicas das substâncias armazenadas, são extremamente relevantes para a definição de quais medidas de controle serão utilizadas, identificar os perigos (relacionados às propriedades do fluido) e os riscos desse sistema (probabilidade de o fluido causar danos ou perdas ao meio ambiente ou ao ser humano).

Cada substância apresenta particularidades o que afeta o seu potencial de poluir o ambiente ou contaminar seres humanos. Essas definições agregam importante valor ao projeto do sistema de tancagem, no que se refere à segurança de processo e à segurança do trabalho.

2.5.1 Emissões em tanques de isocianato

De forma geral, todo sistema que armazena produtos químicos está sujeito aos riscos do processo. Mais especificamente, todo armazenamento de material contendo isocianato apresenta certas particularidades devido às propriedades desse grupo de substâncias. Nesses sistemas, a principal fonte de contaminação do ambiente e do trabalhador se dá através de Emissões Pontuais e Difusas (fugitivas).

Tabela 1 - Emissões de TDI na indústria dos Estados Unidos (kg) em 2014

Indústria	Emissões Fugitivas	Emissões Pontuais	Emissões Fugitivas + Pontuais	Todos os tipos de Emissões
Química	342	311	653	28.271
Plástico e Borracha	3	6.259	6.261	14.412
Transportes de Equipamentos	15	259	274	457
Móveis	3	3	5	69
Químicos Atacadistas	1	2	3	3
Despejos Perigosos / Recuperação de Solventes	42	63	105	5.780
Total	406	6.896	7.302	48.993

Fonte: EPA (2014) (Adaptado)

Na Tabela 1, pode-se observar que apenas em 2014, foram lançados na atmosfera quase 50 toneladas de tolueno diisocianato e seus isômeros, somando todos os segmentos industriais nos Estados Unidos que produzem ou utilizam o produto.

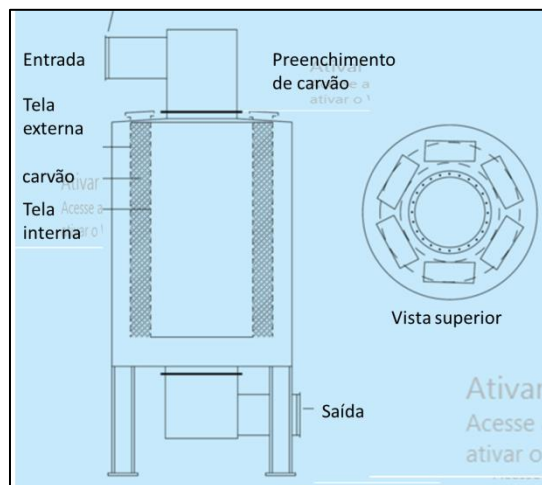
Visto que as Emissões Pontuais têm um valor em destaque nesta tabela, esse tipo de emissão pode ser considerado a “mais visível” e possível de ser resolvido. Existe um potencial grande de afetar os trabalhadores ou a comunidade onde a indústria está inserida. Principalmente no segmento de plástico e borracha, pois muitas vezes, pequenas empresas operam na produção de mobiliário, estofados, pintura,

etc. Caso não haja a devida fiscalização, pode ser que não ocorra um controle efetivo de suas emissões.

2.5.2 Uso de Carvão Ativado para Reduzir Emissões de Isocianato

O uso de carvão ativado tem sido usado em várias aplicações na indústria, inclusive para tratamento de emissões de isocianatos (Figura 22). Segundo a BASF (2014), os filtros de carvão ativado têm sido utilizados com sucesso na redução da concentração de TDI antes de aliviar para a atmosfera.

Figura 18 - Filtro de carvão ativado



Fonte: ALPORT, GILBERT, OUTERSIDE.(2003) (Adaptado).

Diversos tipos de filtros têm estado disponível no mercado nos últimos 25 anos. Filtros onde o carvão apresenta-se em forma de placas impede o aparecimento de caminhos preferenciais que podem ser formados quando o filtro utiliza grânulos de carvão. Os filtros mais modernos possuem blocos formados por grânulos de carvão, dispostos em cilindro, conforme na figura a seguir:

Os pontos mais críticos para a boa adsorção do TDI pelo carvão são:

- Tempo de contato entre o TDI e o carvão;
- Tipo de carvão;

- Formação de canais pelos vapores no carvão;
- Entupimento do leito de carvão;
- Acúmulo de detritos no leito.

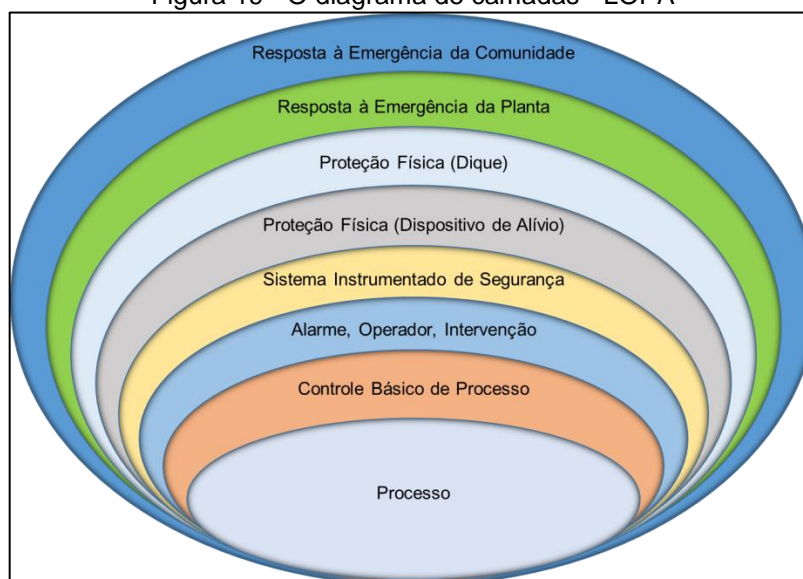
Também é citada determinada empresa que, mesmo após 7 anos de utilização de um filtro com carvão ativado, a eficiência ainda se mantinha acima de 99% (ALPORT; GILBERT; OUTERSIDE, 2003). Para este caso, o leito só foi substituído devido ao aumento da contrapressão no sistema.

2.6 FERRAMENTAS E NORMAS

2.6.1 Layers of Protective Analysis (LOPA)

Também conhecido em português como Análise das Camadas de Proteção, é uma forma de avaliação de risco, onde o risco é função da frequência x consequência de um possível cenário (GUIDELINES[...] 2015). O *LOPA* foi originalmente desenvolvido para examinar os riscos dos cenários individuais e avaliar como poderiam se propagar para o cenário em questão. Assim, esses riscos são comparados com um critério de tolerância, definido previamente pela empresa, e então estabelecido quantas camadas de proteção o sistema deve possuir (HYATT, 2003).

Figura 19 - O diagrama de camadas - LOPA



Fonte: Paul Gruhn (2013) (Adaptado)

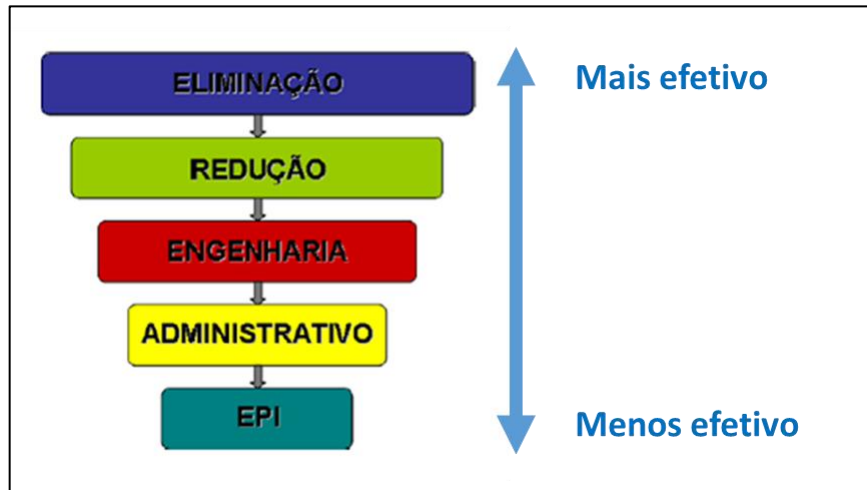
Vários níveis de proteção devem atuar para manter um sistema na condição segura. Mas para tal, cada uma delas deve ser capaz de funcionar independentemente das demais para que seja considerada eficaz. Cada camada é associada a um sistema de segurança instrumentado ou físico (com ação humana ou dispositivos mecânicos). Os elementos possuem uma probabilidade de falha que, quando analisada conjuntamente, irá reduzir a possibilidade de ocorrer incidentes de processo. No momento que a primeira barreira falhar, a seguinte deverá deixar o processo em condição segura ou minimizar os efeitos em caso de perda do inventário, e assim sucessivamente.

2.6.2 Hierarquia dos controles de exposição ao risco

A empresa quando emprega um modelo de segurança de processo, introduz e aplica metodologias de avaliação e gerenciamento de segurança, tanto para cumprir seu papel como responsável social, quanto para atender à legislação, seguradoras, clientes, etc. Uma vez que a organização identifica os riscos e perigos associados aos seus processos, deve analisá-los e criar meios de controle dentro do seu sistema de gestão. O controle de exposição a riscos ocupacionais é o método fundamental de proteção dos trabalhadores. Para a determinação dos tipos de

controles, e para a identificação dos controles efetivos, alguns fatores devem ser levados em conta para reduzir os riscos, de acordo com a seguinte hierarquia:

Figura 20 - Hierarquia do controle de riscos



Fonte: CDC (2016)

De acordo com essa hierarquia, a aplicação dos controles no topo da figura resultará em sistemas potencialmente mais seguros se comparado aqueles da base da figura acima. Uma breve descrição dos controles encontra-se a seguir:

- **Eliminação:** Modificar o trabalho ou substituir uma substância para que o risco seja eliminado. Deve se avaliar nesse item se realmente determinado produto ou equipamento é essencial para o processo, podendo ser substituído ou até mesmo eliminado caso seja realmente possível.
- **Redução:** Reduzir os riscos a níveis aceitáveis. Avaliar se é possível modificar o procedimento de trabalho para minimizar a exposição do trabalhador, minimizar o inventário de substâncias perigosas, limitar a quantidades de máquinas em um ambiente para reduzir ruído, etc.
- **Engenharia:** Fazer alterações físicas para diminuir qualquer risco remanescente. Por exemplo: Usar cinto de segurança para evitar quedas onde você não pode evitar o trabalho em altura. Instalar ou utilizar máquinas adicionais, tais como aparelhos de ventilação para controlar os riscos de pó

ou fumaça. Dar prioridade sempre a medidas que protegem coletivamente EM detrimento das medidas de proteção individuais.

- Administrativo: Identificar e implementar os procedimentos necessários para trabalhar com segurança. Por exemplo: a proibição do uso de telefones celulares em áreas perigosas, melhorar a sinalização de segurança, e realizar controle de acesso a áreas perigosas, etc.
- EPI: Este é o último elemento a ser implementado. Só depois que todas as medidas anteriores foram julgadas e consideradas ineficazes para controlar os riscos para um nível razoavelmente praticável, deve-se considerar o uso do equipamento de proteção individual.

Evidentemente, a eliminação e a redução (ou substituição) do perigo são os controles mais eficazes para a proteção do trabalhador. Todavia, são os mais difíceis de serem implementados, principalmente quando o elemento em questão faz parte do processo principal da empresa. Neste caso, a opção mais viável seria implementar melhorias durante a fase de projeto. Como este estudo foi realizado com base em um processo existente, será considerado o gerenciamento de mudanças para implementar as melhorias. Assim, serão aplicados os controles: Engenharia, Administrativo e EPI para minimizar os riscos de exposição do trabalhador ao isocianato.

2.6.3 API 2000

O *API 2000: Venting Atmospheric and Low-Pressure* (Ventos Atmosféricos e Baixa Pressão) é uma norma criada pelo *American Petroleum Institute* (Instituto de Petróleo Americano).

Esta norma abrange os requisitos de ventilação normal e vapor de emergência para tanques de armazenamento de petróleo líquido acima do solo e tanques de armazenamento refrigerados à superfície e subterrâneos concebidos para funcionamento a pressões de vácuo através de 15 libras por metro quadrado (API 2000, 1998, pag. iii).

Ainda de acordo com a Norma, mesmo tendo como base derivados de petróleo para estimativa dos vapores a serem aliviados, todos os dados podem ser refletidos para outras substâncias, valendo-se apenas do julgamento e avaliação do engenheiro responsável pelos cálculos.

Ao utilizar essa norma como referência, é possível se obter os valores mínimos de admissão de ar (ou outros gases) requeridos de modo a evitar o vácuo no sistema, ou ainda conhecer a vazão mínima a ser aliviada de forma a proteger o sistema de alguma sobrepressão. Todos esses valores são definidos de acordo com o volume do sistema, fluido armazenado e vazões de abastecimento e retirada de produto.

2.6.4 NR 6

A norma NR 6 - Equipamento de Proteção Individual (EPI) do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), regulamenta as atribuições legais do fornecimento dos EPI's pelo empregador ao trabalhador definindo também os equipamentos de proteção obrigatórios nas atividades insalubres. A empresa é responsável de fornecer o EPI ao trabalhador, proporcionar o treinamento adequado e garantir que estes serão utilizados corretamente. O objetivo é manter a integridade física do trabalhador, evitando doenças ocupacionais e lesões que reduzam a capacidade laboral do mesmo. Ao trabalhador está garantido o direito ao EPI, mas também é sua obrigação a manutenção dos equipamentos em condições de segurança, limpeza o seu emprego nas condições para que foram desenvolvidos. Ressalta-se ainda que no Brasil, todos os EPI's devem ter o Certificado de Aprovação (CA) que é um documento que o MTE expede para garantir a sua qualidade e funcionalidade.

2.6.5 NR 15

A Norma Regulamentadora N° 15 - Atividades e Operações Insalubres do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), define as atividades e operações insalubres e seus limites de tolerância, além dos critérios a serem considerados quando o trabalhador está dentro de seu ambiente de trabalho e os meios de protegê-los quando estão expostos a alguma condição nociva à saúde.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ESCOPO DO TRABALHO

O evento ocorrido durante um procedimento operacional foi ponto de partida para o desenvolvimento deste projeto. A investigação foi realizada em etapa anterior e os perigos foram identificados através do estudo de *LOPA* onde as barreiras capazes de minimizar o risco de acidente e as consequências destes foram definidas, de acordo com o critério de tolerabilidade adotado pela empresa, respeitando os limites legais. Essas análises não fazem parte deste trabalho, mas sim apresentar uma proposta para o sistema de controle com o propósito de resolver os problemas identificados.

A aplicação da hierarquia dos controles foi importante na definição do escopo do trabalho. Neste sistema em particular, existiu a inviabilidade de eliminação ou substituição das substâncias utilizadas, pois o objetivo final desse processo é a produção do isocianato. Dessa forma, outras medidas de controle foram implementadas. A aplicação dos controles: Engenharia (trabalhando com o Gerenciamento de Mudanças na implementação do projeto), Administrativo (adotando procedimentos específicos de controle de acesso e manipulação para quem precisa manipular o produto) e o próprio EPI (definindo os equipamentos de proteção individual corretos para o trabalhador), otimizaram a definição do escopo do trabalho.

Dessa forma, o desenvolvimento desse estudo engloba a avaliação do sistema de inertização e alívio dos tanques, as vazões mínimas que as válvulas devem suprir ao sistema ou aliviar para a atmosfera, os limites de controle de pressão e o dimensionamento mínimo do filtro de carvão ativado.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA E FUNCIONÁRIOS

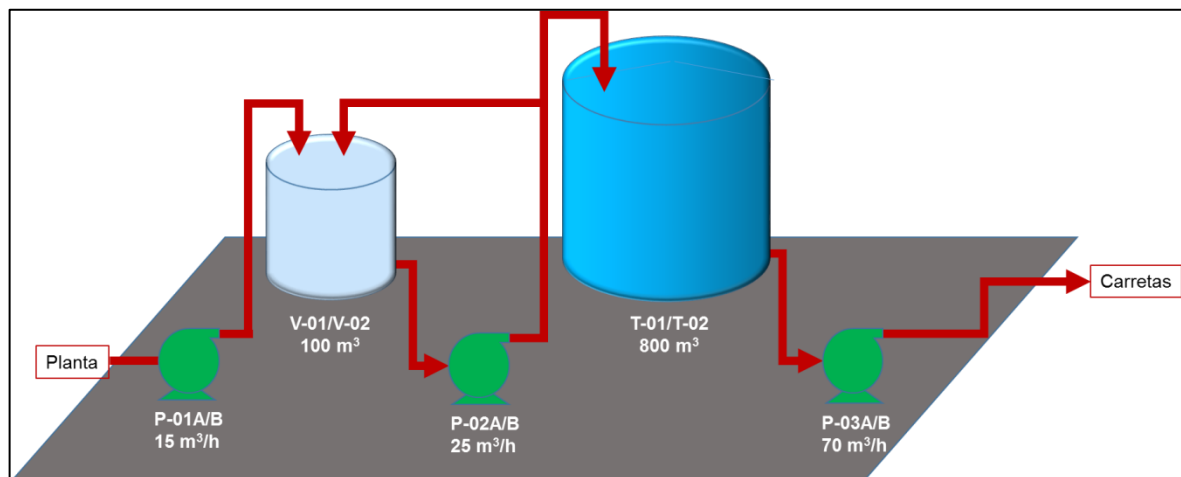
3.2.1 A empresa

Uma empresa produtora de isocianato, localizada em um grande complexo petroquímico no Brasil, possui um parque de tancagem onde é estocado o isocianato produzido e dele distribuído para as empresas beneficiadoras.

As instalações de estocagem e o processo de trabalho podem ser representados da forma a seguir:

- O parque de tancagem é composto por 2 vasos intermediários (V-01, V-02) e outros 2 tanques de armazenamento (T-01, T-02). Cada vaso possuindo capacidade de 100m^3 e os tanques possuindo 800m^3 cada um;

Figura 21 - Esquemático da tancagem existente



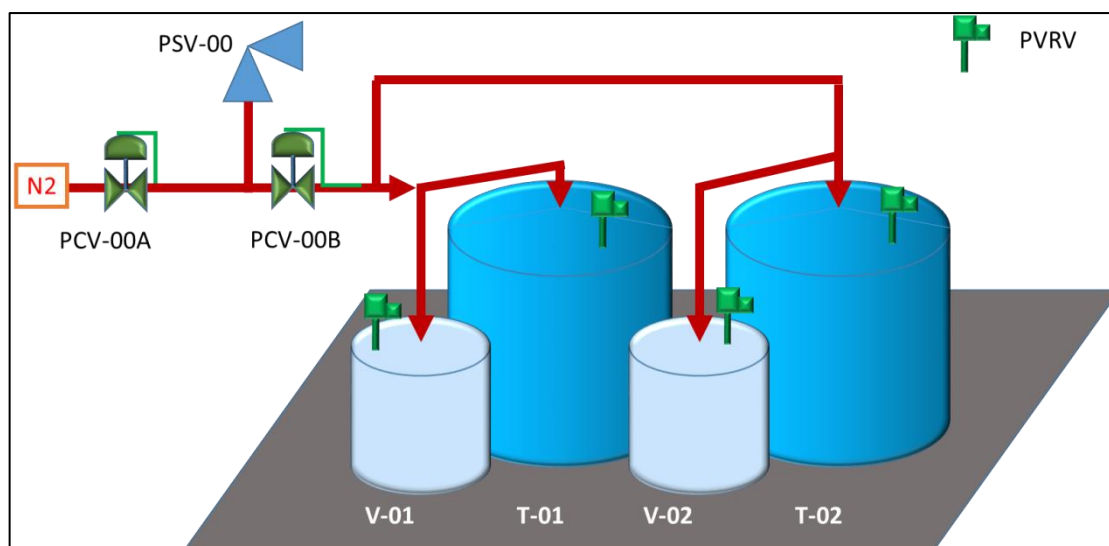
Fonte: Arquivo pessoal

- O isocianato produzido pela planta é enviado para os vasos intermediários. Nessa etapa, um aditivo é adicionado para a manutenção da qualidade do produto (cor);
- Uma vez especificado, o produto é enviado para estocagem definitiva nos tanques aguardando transferência para o usuário final;

- O transporte para clientes é feito através de carretas e o carregamento destas realizado por bombeamento e enviado para o cliente pressurizado com nitrogênio;
- Os tanques de estocagem possuem seu próprio sistema de inertização, instalado individualmente para cada reservatório (Figura 26);
- Cada um tem seu próprio fornecimento de nitrogênio e seu sistema de alívio;

No processo em questão, o nitrogênio é fornecido por um sistema de tubulação comum com pressão de 3,5 barg. Uma válvula auto reguladora reduz a pressão para 15 mbarg em um ponto distante cerca de 25 m do sistema para todos os tanques. Uma válvula de segurança protege o conjunto contra a possibilidade da válvula reguladora falhar aberta. Cada tanque possui sua própria PVRV como um segundo elemento de proteção contra vácuo e para evitar sobrepressão nos mesmos.

Figura 22 - Sistema de inertização existente

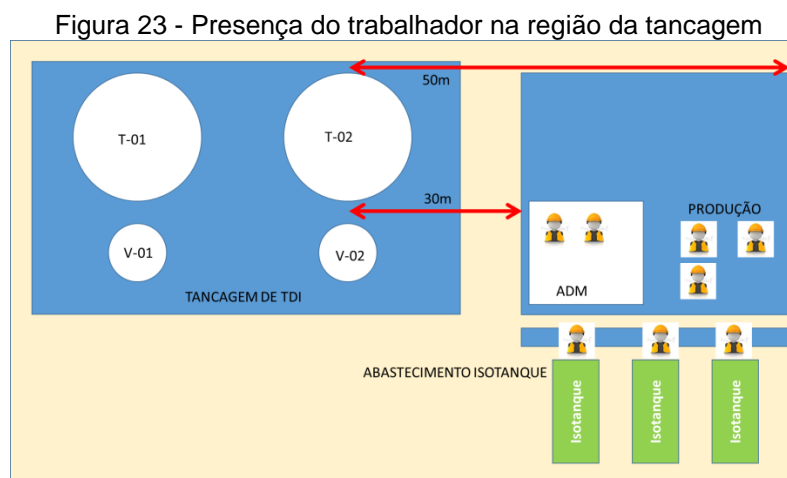


Fonte: Fonte: Arquivo pessoal

3.2.2 Os funcionários

Os funcionários presentes na área do Armazém da estocagem são caracterizados da seguinte forma:

- Total de funcionários: 8 funcionários estão diariamente trabalhando em um raio de 50 m da fonte de emissão mais próxima do prédio;
- Área administrativa: 1 supervisor e 1 assistente administrativa;
- Produção: 3 operadores abastecendo e organizando tambores;
- Abastecimento de carretas: 3 operadores. Todos os operadores trabalham com todos os equipamentos de proteção individual requeridos: roupa completa de viton, luvas e máscara autônoma por pressão positiva;
- O supervisor e os operadores que trabalham com tambores possuem mais de 10 anos de atividade na empresa;
- Todos os demais possuem entre 2 e 5 anos de atividade;
- Todos recebem treinamentos de segurança periódico, conforme requerido pela empresa e pela legislação brasileira.
- O abastecimento de isotanques só ocorre no turno administrativo.
- O monitoramento do sistema durante do horário administrativo é feito pela sala de controle principal.



Fonte: Arquivo próprio

Apesar de não haver sido avaliado a dispersão da emissão e estimado a concentração que cada trabalhador estaria exposto, partiu-se do princípio que a concentração da substância estava acima do limite permitido. Além disso, diariamente, funcionários de outros departamentos poderiam estar presentes no local, com exposição temporária, para realizar determinada atividade.

3.3 REQUISITOS BÁSICOS PARA O PROJETO

Uma vez que o estudo de segurança de processo definiu os perigos e riscos associados ao sistema de tancagem de isocianatos, foi possível estabelecer os critérios básicos para solucionar os problemas existentes e dimensionar as melhorias afim de que a operação seja segura, atendendo aos padrões de engenharia vigentes e à legislação.

3.3.1 Limites de Exposição

Sendo que a tancagem armazena isocianatos, é imperativo que o sistema a ser implementado minimize as emissões do produto para a atmosfera, de forma que as concentrações no ambiente estejam dentro dos parâmetros legais. No Brasil, como já foi visto anteriormente, a NR-15 estipula que o trabalhador não pode estar exposto ao TDI em concentrações maiores que 0,016 ppm por 48h semanais (Figura 16). Devido ao seu caráter restrito, esse fluido será utilizado como fluido de processo representante dos isocianatos neste estudo.

3.3.2 Normas de Cálculo Utilizadas

Como o sistema de tancagem era composto por tanques atmosféricos e vasos de baixa pressão, a norma a ser utilizada para dimensionar o sistema de proteção contra sobrepressão e vácuo foi o API 2000, 5ª Edição.

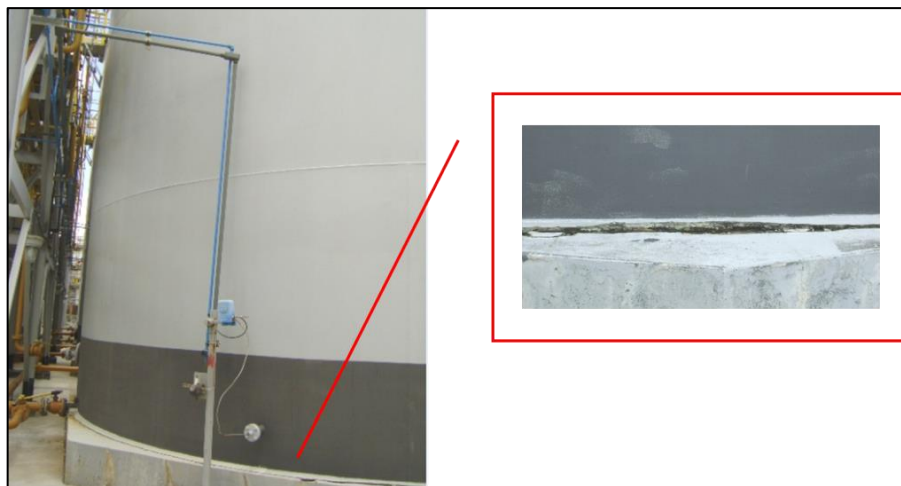
Essa norma define as vazões envolvidas para alívio de pressão ou para evitar o vácuo excessivo. Esses valores foram utilizados para o dimensionamento das

válvulas de admissão e alívio de nitrogênio, e posteriormente as *Pressure and Vacuum Relief Valves (PVRV's)* ou Válvulas de Alívio de Pressão e Vácuo.

3.4 EVENTO INICIADOR DO PROJETO

Durante um procedimento de transferência de produto para o tanque T-01, verificou-se que o fundo do tanque havia se deslocado da base. Neste tanque, a pressão interna multiplicada pela área da seção transversal do casco atingiu um valor maior que o peso do casco mais o teto mais o fluido. Como o tanque não possuía chumbadores para a ancoragem do casco este se deslocou para cima provocando a deformação do fundo, que tendeu a uma forma esférica, e a consequente perda do equilíbrio estático.

Figura 24 - Detalhe do fundo do tanque em deslocado da base



Fonte: Arquivo próprio

Um possível rompimento do tanque resultaria em lançar 800 m³ de isocianato no ambiente. Mesmo havendo um dique em volta da tancagem, limitando o a distância que o líquido poderia se espalhar, esse grande volume causaria uma exposição com uma criticidade bastante elevada devido aos vapores do produto. Além disso, como a região de dentro do dique não era impermeável, todo o solo deveria ser retirado para passar por um processo de tratamento falando em termos de custos para a empresa, o tanque deveria ser reparado ou substituído e ficaria com estocagem reduzida até ter de volta o equipamento íntegro.

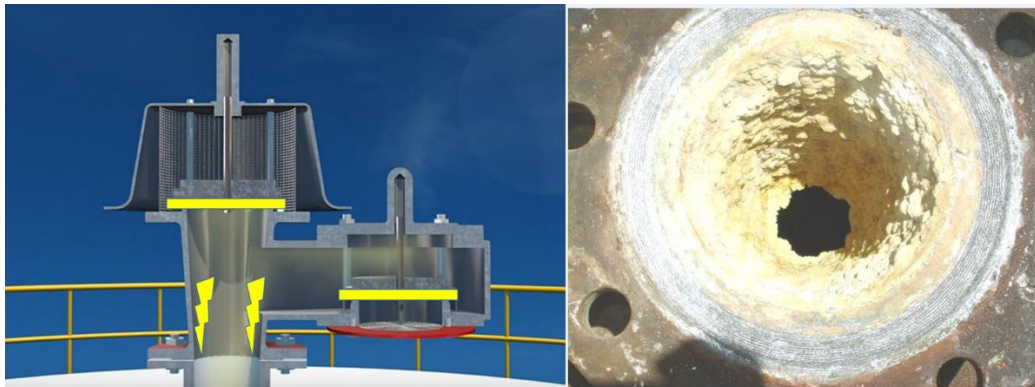
Os eventos vieram a causar o incidente já estavam se desenvolvendo há algum tempo, visto que elementos essenciais do sistema de proteção foram impedidos de operar. Uma inspeção realizada no sistema identificou alguns elementos que foram cruciais para a ocorrência do evento, como os citados nos próximos subitens.

3.4.1 Análise dos elementos do sistema

3.4.1.1 Problemas observados na *PVRV*

Durante a inspeção, foi identificado que a *PVRV* não operou para aliviar a pressão do reservatório, pois ela estava bloqueada com ureia (Figura 25).

Figura 25 - *PVRV* e detalhe do bocal entupido com ureia



Fonte: Finekay (2014) (Adaptado) e Arquivo pessoal

3.4.1.2 Problemas observados na tubulação

A formação de ureia dentro do tanque e da *PVRV* significa que o produto teve contato com umidade. A presença de umidade em tanques com essa estratégia de proteção ocorre quando há admissão de ar pelo lado de vácuo da *PVRV*. Verificou-se então que a linha de nitrogênio que alimentava esse tanque estava incrustada de ureia. Essa verificação levou à constatação de que também havia algum problema no suprimento de nitrogênio.

3.4.1.3 Problemas observados na Válvula Reguladora de Nitrogênio

A válvula reguladora estava subdimensionada para operar nas condições exigidas pelo processo. Não havia como disponibilizar a vazão necessária para manter o sistema inerte. Além do fato de que para suprir a vazão necessária para cada tanque, as tubulações ofereciam uma redução de pressão superior à limitação do sistema.

3.5 BASES DE PROJETO

3.5.1 Dados básicos de processo

- Fluido de processo: 2,4-Tolueno diisocianato – TDI;
- Fluido inerte: Nitrogênio;
- Pressão do *header* (tubulação de distribuição de fluidos) de nitrogênio: 3,5 barg;
- Densidade (Nitrogênio): 1,04 kg/m³ (35oC @ 1 atm);
- Temperatura de operação: 35°C;
- Ponto de fulgor: 126oC.

3.5.2 Limites de pressão para operacionalizar o sistema

Os tanques atmosféricos são os equipamentos com os limites de pressão e vácuo mais restritivos. Portanto, os seus valores de Pressão Máxima de Trabalho Admissível (PMTA) e vácuo máximo admissível serão adotados para o dimensionamento dos elementos de proteção..

- Máxima pressão admissível = 25 mbarg;
- Mínima pressão admissível (vácuo) = - 5 mbarg.

Os limites disponíveis devem ser explorados ao máximo, mas devem ser respeitados. Quanto maior a pressão de estocagem, menores os riscos de emissões do produto. A maior pressão de nitrogênio irá reduzir a vaporização do isocianato e conseqüentemente sua concentração na atmosfera dentro do tanque, pois a adição de um fluido inerte (nitrogênio) altera a pressão de vapor de um líquido em um sistema fechado (WARK, 1995). Assim, quanto menos as válvulas de suprimento ou a de alívio de nitrogênio abrirem, menor será o consumo de nitrogênio e menores serão as quantidades de químicos liberados.

3.5.3 Vazões operacionais da tancagem

O cálculo das vazões é a etapa mais importante desse projeto. A partir de seus valores é possível dimensionar os elementos para alimentação de nitrogênio no sistema e os dispositivos de proteção. Segundo o API 2000, para cada cenário de alta e baixa pressão, é necessário identificar as vazões máximas do sistema e os volumes dos tanques envolvidos, conforme o cenário selecionado e a estratégia de operação. Fatores de conversão a serem aplicados são provenientes da Tabela 1B do API 2000 e apresentadas no ANEXO B deste trabalho. Na Tabela 2B desta norma, apresentada no ANEXO , as vazões resultantes da variação de temperatura dependem do volume total do tanque, sendo lido diretamente na tabela ou interpolado para se adequar ao volume desejado. O volume dos tanques e vasos do parque de tancagem estão contidos na Tabela 2

Tabela 2 - Volume dos tanques, vasos e isotanque de TDI

Equipamento	Volume (m3)
V-01	100
V-02	100
T-01	800
T-02	800
Isotanque	30

Fonte: Arquivo pessoal

As vazões máximas operacionais para as bombas desse sistema estão relacionadas na tabela a seguir:

Tabela 3 - Vazões das bombas do sistema de tancagem

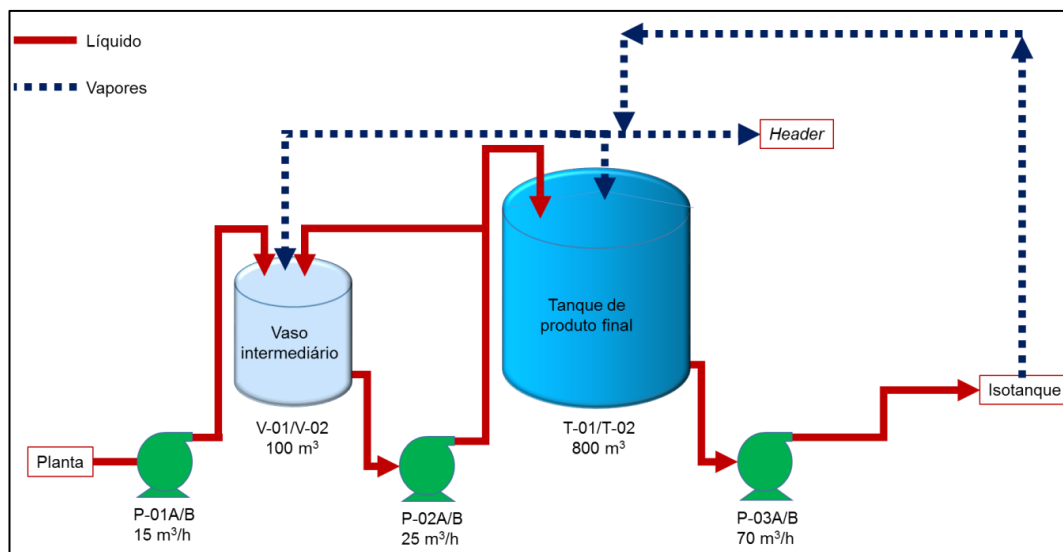
Bombas	Serviço	Vazão máxima (m ³ /h)
P-01A/B	Alimenta os vasos V-01 e V-02 com o TDI produzido na planta	15,0
P-02A/B	Faz a recirculação do TDI para especificação e transferência do mesmo do V-01/V-02 para o T-01/T-02	25,0
P-03A/B	Transferência do TDI para carreta.	70,0

Fonte: Arquivo pessoal

3.5.4 Definição dos cenários

Baseando-se nas tabelas de vazões e na configuração do sistema mostrado na figura abaixo, a definição dos cenários será apresentada nos tópicos seguintes.

Figura 26 - Esquemático simplificado da transferência de produto no sistema



Fonte: Arquivo pessoal

3.5.5 Cenário de vácuo

Para o cenário de vácuo, há duas situações em potencial para serem avaliadas. A primeira, diz respeito ao vácuo criado durante uma transferência normal de conteúdo entre vasos, tanques e isotanques. Neste cenário, um vaso transfere produto para o tanque simultaneamente ao envio de produto para a carreta. Porém, como os

equipamentos estão interligados, há a compensação de pressão entre eles. Assim, a transferência de um vaso para um tanque não gera um cenário crítico (Figura 29).

Para este caso, a situação mais crítica acontece quando não há alimentação de um vaso, mas há transferência de um tanque para um isotanque. Mesmo havendo uma tubulação transferindo vapores em excesso do isotanque para o tanque, é possível haver uma falha operacional que resulte no não alinhamento dessa corrente de volta ao sistema de origem. Assim, a vazão a ser utilizada para o cálculo deste cenário será a de 70 m³/h devido à bomba P-03A/B.

Porém, a situação crítica está relacionada a um cenário de ruptura de tubulação da base do tanque. Havendo conexões de 2 pol para drenagem do inventário, caso haja algum evento em que essa conexão seja rompida ou aberta, haverá a drenagem do volume do tanque por gravidade.

Tabela 4 - Seleção de dados para cálculo de vazão para cenário de vácuo

Equipamento	Volume (m ³)	Vazão de alimentação (m ³ /h)	Vazão de retirada (m ³ /h)
V-01	100	0	0
V-02	100	0	0
T-01	800	0	0
T-02	800	0	86,1

Fonte: Arquivo pessoal

3.5.6 Cenário de Pressão

Um dos cenários clássicos para pressão alta em sistemas de tancagem é quando ocorre a falha da reguladora de pressão na posição aberta. A princípio, esse cenário não será considerado para dimensionamento do sistema de alívio, pois outros elementos de proteção serão inseridos no sistema.

Muitas vezes negligenciado, porém muito importante, o cálculo da elevação de pressão devido à vaporização parcial do fluido quando inserido no tanque deve ser

considerado em outras condições. Porém, esse efeito não é relevante para o TDI devido às condições de operação e estocagem.

Considerando os cenários abordados no API 2000, relativos à variação de condições atmosféricas e elevação do nível do reservatório, haverá sobrepressão quando um tanque receber produto da planta e todos estiverem sob efeito da variação térmica simultaneamente. Neste caso, não será considerado alimentação de carreta, pois a retirada de produto do tanque reduz a criticidade do cenário.

Tabela 5 - Seleção de dados para cálculo de vazão para cenário de pressão

Equipamento	Volume (m ³)	Vazão de alimentação (m ³ /h)	Vazão de retirada (m ³ /h)
V-01	100	15	0
V-02	100	0	0
T-01	800	0	0
T-02	800	0	0

Fonte: Arquivo pessoal

3.5.7 Tubulação

Os critérios básicos para o dimensionamento da tubulação são os seguintes:

- Toda a tubulação deverá ser calculada de forma que a perda de pressão entre os elementos seja a mínima possível;
- Durante as transferências de vapores ou admissão / alívio de nitrogênio, a perda de pressão não pode provocar a abertura da *PVRV* para alívio ou admissão de ar;
- Não pode haver pontos baixos com risco de formar “bolsões”;
- A montagem das linhas deve permitir haja escoamento de possíveis condensados para dentro dos tanques;
- Deverá prever pontos onde seja possível realizar inspeções programadas durante a parada do sistema;

- A vazão de gases de retorno do isotanque para a tancagem deverá seguir de acordo com os mesmos critérios adotados pela tancagem e aplicados ao isotanque.

3.5.8 Válvulas de Alívio de Pressão e Vácuo

As *PVRVs* serão dimensionadas de forma bastante conservativa. Apesar de haver no mercado uma seleção de dispositivos com as variadas capacidades, será considerado, para efeito de dimensionamento, que cada uma das duas válvulas a serem dimensionadas, deverá atender plenamente às condições de emergência quando solicitadas.

Em relação às pressões de abertura e condições de alívio, as válvulas serão selecionadas seguindo os seguintes critérios (ANEXO):

- Vácuo - sobrepressão de 100%;
- Pressão – sobrepressão de 70%

3.5.9 Leito de Carvão Ativado

Para o cálculo do leito de carvão ativado, foi necessário preciso atender aos critérios abaixo (ALPORT; GILBERT; OUTERSIDE. 2003):

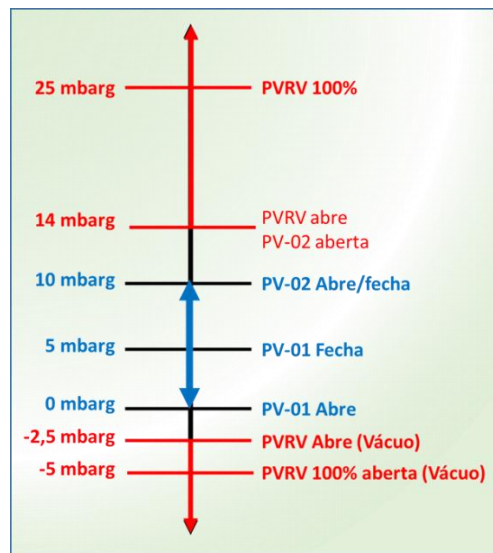
- Velocidade máxima de 0,4 m/s
- Tempo de residência de 2,5s para 1 m de carvão;
- Perda de carga compatível com as pressões do sistema.

4. RESULTADOS & DISCUSSÕES

4.1 ESCALA DE CONTROLE DE PRESSÃO

Na figura abaixo, é possível verificar os limites de pressão que devem ser respeitados. Como os tanques possuem limites de projeto entre -5 mbarg (vácuo) e 25 mbarg (pressão), todas as válvulas de controle, dispositivos de alívio e instrumentos de medição, deverão trabalhar dentro destes limites.

Figura 27 – Escala de ajustes de pressão



Fonte: Arquivo pessoal

A faixa de operação foi definida sem os detalhes dos elementos de controle que são disponibilizados pelo mercado. Uma pesquisa minuciosa acerca desses elementos é fundamental para o dimensionamento de um sistema funcional e confiável. Quanto maior for essa faixa, menor a liberação de vapores para a atmosfera, pois o sistema possui flexibilidade para operar sem que as válvulas de admissão e alívio abram. O sistema deverá ser capaz de absorver toda a variação de pressão em sua movimentação diária, enquanto estiver dentro dos limites estabelecidos. Quanto maior for a faixa azul na escala apresentada, melhores serão os resultados.

4.2 VAZÕES REQUERIDAS PELO SISTEMA

4.2.1 Cálculo das Vazões para o Cenário de Pressão e Vácuo

Utilizando os dados das seções anteriores (Tabela 4 e Tabela 5) para definir as vazões para cada cenário, é preciso aplicar os fatores de conversão do API 2000 listados nos ANEXO B e C aos dados de vazão de alimentação / retirada e volume dos reservatórios. Como esses cálculos têm como base volumes normais de ar a entrar ou sair do sistema, o resultado final será convertido para nitrogênio, multiplicando-se o resultado final por 1,015 (resultados na última coluna e última linha), conforme indicado no ANEXO E.

Tabela 6 - Vazões necessárias para cenário de vácuo

Equipamento	Efeito térmico (Nm ³ /h ar)	Deslocamento de nível (Nm ³ /h ar)	Resumo (Nm ³ /h de N2)
V-01	16,9	0,0	17,2
V-02	16,9	0,0	17,2
T-01	135	80,9	219,2
T-02	135	0,0	137,0
Vazão Total (Nm³/h de N2)	308	82	390

Fonte: Arquivo pessoal

Tabela 7 - Vazões necessárias para cenário de pressão

Equipamento	Efeito térmico (Nm ³ /h ar)	Deslocamento de nível (Nm ³ /h ar)	Resumo (Nm ³ /h de N2)
V-01	10,1	15,2	25,6
V-02	10,1	0,0	10,3
T-01	80,9	0,0	82,1
T-02	80,9	0,0	82,1
Vazão total (Nm³/h de N2)	185	15	200

Fonte: Arquivo pessoal

4.2.2 Sumário das vazões calculadas

Todos os elementos definidos e dimensionados para este sistema deverão atender às vazões calculadas acima. Apesar de que o cenário de pressão requer uma vazão mínima de alívio de 200 Nm³/h, a válvula de alimentação de nitrogênio deverá ser

capaz de disponibilizar 390,0 Nm³/h. Assim, válvula de controle de alívio deverá, ao menos, ser capaz de aliviar a mesma vazão de entrada.

Tabela 8 - Vazões para as válvulas de alimentação e alívio de nitrogênio

Cenário	Vazão de N2 requerida (Nm ³ /h)
Vácuo	390,0
Pressão	200 (calculado) / 390,0 (selecionado)

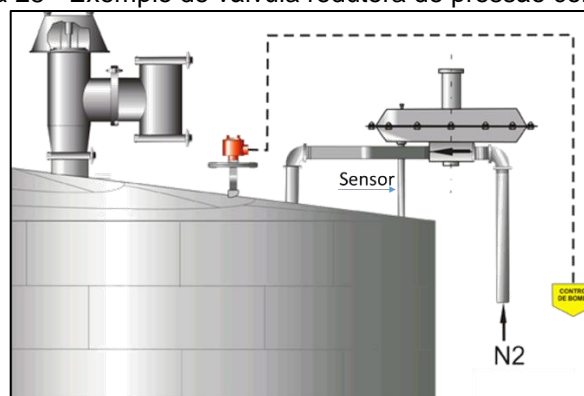
Fonte: Arquivo pessoal

4.3 TUBULAÇÃO

4.3.1 Configuração adotada

Será instalado um header de forma a conectar todos os tanques, válvulas de alívio e sistema de entrada e saída de gases. Essa estratégia irá evitar que haja o contato direto da válvula redutora de nitrogênio com vapores do fluido no tanque. Como pode ser visto na figura abaixo, esse tipo de válvula não é recomendado para operar com isocianatos, pois caso haja insuficiência de nitrogênio poderá ocorrer acúmulo de ureia no sensor e deixá-la inoperante.

Figura 28 - Exemplo de válvula redutora de pressão com piloto

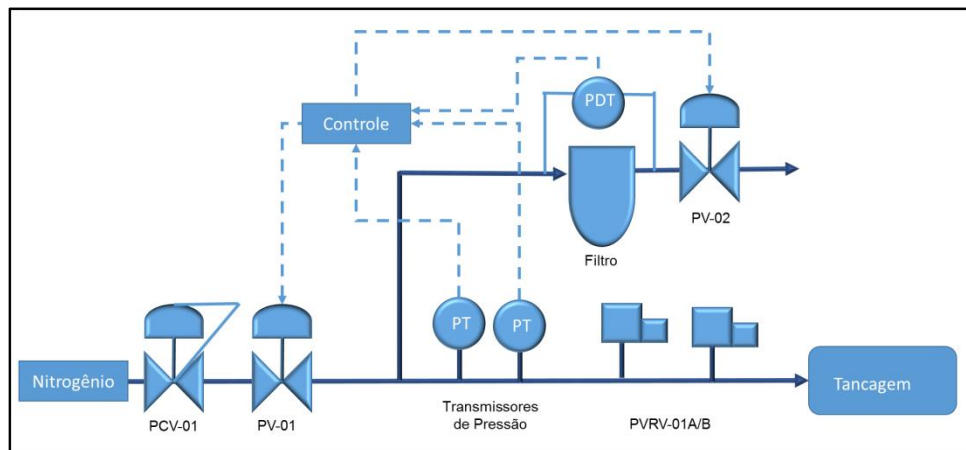


Fonte: Franko (2016) (Adaptado)

A seleção da estratégia utilizando header comum a todos os tanques deve-se aos conceitos já utilizados pela indústria e exemplificado no ANEXO H. A estratégia apresentada na figura a seguir apresenta algumas modificações com o intuito de assegurar que o sistema irá operar de forma independente, sem interferência

humana e será robusto de tal forma que, em caso de emergência, será capaz de levar o conjunto à sua condição mais segura. Nesse caso, o objetivo é evitar a ruptura do tanque. O detalhamento será apresentado ao longo desta seção.

Figura 29 - Resumo do sistema de controle de inertização



Fonte: Arquivo pessoal

4.3.2 Perda de pressão no sistema

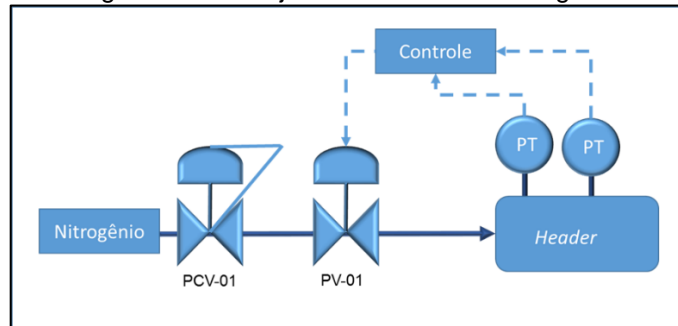
O header terá um diâmetro tal que a perda de pressão para as estabelecidas para as válvulas de admissão e alívio de nitrogênio deverá resultar em no máximo 2.5 mbarg, para prevenir que o lado de vácuo da *PVRV* abra e permita que o inventário dos tanques seja contaminado pela ar e umidade proveniente da atmosfera.

4.3.3 Detalhamento dos elementos e funcionalidades

4.3.3.1 Válvulas de controle

Para minimizar os riscos dos vapores de TDI adentrarem os internos da válvula reguladora, a estratégia proposta inclui um arranjo diferenciado, onde a PCV-01 na figura abaixo não tem contato direto com o sistema. O acionamento da alimentação de nitrogênio é feito por um transmissor de pressão que se comunica com uma segunda válvula (PV-01), que admite ou bloqueia a passagem de nitrogênio.

Figura 30 - Arranjo da admissão de nitrogênio



Fonte: Arquivo pessoal

O espaço entre a PCV-01 e a PV-01 sempre estará pressurizado a pelo menos 25 mbarg, valor de ajuste ao qual ela foi selecionada. Esse valor garante que o sistema não receberá uma pressão maior que a máxima pressão admissível do tanque.

4.3.3.2 Controle de pressão

Os transmissores de pressão (*PTs*) deverão ter sensibilidade para medir com precisão entre -5 mbarg à 25 mbarg, onde estão os limites operacionais e projeto. Porém, é importante ter medição fora desses limites, com o intuito de ter o mapeamento de algum evento indesejado de alta ou baixa pressão. Os *PTs* devem ser localizados em posições estratégicas no *header* de modo a medir a pressão mais significativa no sistema como um todo, considerando ainda as compensações de pressão existentes entre os vasos e tanques do conjunto. Segundo a escala de ajuste de pressão, a tancagem deverá operar dentro da faixa de 0 a 10 mbarg.

4.3.3.3 *PVRVs*

Dentro desses valores, não haverá entrada ou saída de gases. Por isso, é importante uma análise e seleção bastante criteriosa das *PVRVs* e das válvulas de controle (PV-01 e PV-02). Apesar do API 2000 citar que a faixa de sobrepressão das *PVRVs* ser entre 70% e 100% do ajuste de abertura, atualmente os grandes fornecedores já possuem produtos que são capazes de aliviar vazões específicas em percentuais de sobrepressão de até 10%, como Protego, por exemplo.

4.3.3.4 Tubulação

Os critérios acima estipulados serão relevantes e funcionais somente se o *header* de interligação entre os elementos tenha perda de pressão de no máximo 2,5 mbarg. Esse valor é a diferença entre a abertura da PV-01 para suprir nitrogênio e a pressão onde a *PVRV* abre para evitar o vácuo. Essa tubulação fará equalização de pressão entre os vasos intermediários e tanques. Essa é uma das medidas mais simples para reduzir emissões, pois o uso de linha de equilíbrio de pressão, permite haver a transferência do volume de vapores deslocado, evitando que vá diretamente para a atmosfera.

A linha de interligação do isotanque com o *header* deverá enviar os vapores de volta ao sistema de tancagem. A vazão de retorno será de 71,8 Nm³/h de nitrogênio (os isotanques devem ser de operação dedicada para operar com este produto, de forma que seja garantido transporte sempre inertizado com nitrogênio para evitar entrada de ar). No fluxo de volta ao tanque, a vazão estará repondo a pressão perdida pelo sistema devido ao deslocamento de nível. Não há grandes preocupações com perda de pressão nessa linha pois o isotanque opera com pressões superiores aos utilizados na tancagem. Em caso de emergência a vazão poderá ser aliviada pela PV-02 ou pelas *PVRVs* instaladas no *header*.

4.3.4 Barreiras de proteção

4.3.4.1 Atuação das válvulas de controle

A PV-01 também deverá ter função de bloquear a alimentação de nitrogênio caso a pressão no sistema atinja 5 mbarg, que é o valor de ajuste de pressão de alimentação e prevendo uma possível falha da válvula reguladora.

A PV-02 estará sempre aberta quando a pressão ultrapassar 10 mbarg. Esse valor também poderá ser alterado no momento que houver uma boa seleção da *PVRV*, conforme citado anteriormente.

4.3.4.2 Atuação das PVRV's

Como última barreira de segurança para contenção dos vapores dentro do sistema, cada PVRV, deverá ser capaz de aliviar o cenário mais crítico (falha da reguladora aberta) caso as outras barreiras de segurança não atuem, como o fechamento da PV-01 ou abertura da PV-02. Da mesma forma, deverá ser capaz de evitar o vácuo devido à drenagem do tanque por gravidade. Qualquer que seja a situação, a abertura da PVRV poderá contaminar o sistema com a umidade do ar, mas nesse caso, é necessário proteger o equipamento para que não haja ruptura do mesmo, o que pode resultar em um cenário muito mais grave quando o inventário do tanque poderá ser liberado no ambiente.

4.3.4.3 Filtro de carvão ativado

Para o carvão ativado, o filtro deverá ter pelo menos 623 mm de diâmetro (APÊNDICE B). Como para cada 1 m de espessura do filtro, tem-se um tempo de residência de 2,5 s, admite-se ao menos 1,25 m de leito de carvão, que é a condição equivalente a manter o tempo de residência adequado. Dados específicos sobre o tipo de carvão e sua eficiência são informações não disponibilizadas pelos fornecedores, no intuito de resguardar a informação estratégica. Mas estes fazem o total dimensionamento do filtro e a seleção do melhor produto a ser utilizado e muito trabalham com o recolhimento e apropriado tratamento do carvão após seu esgotamento. O uso da medição de pressão diferencial no filtro ajudará a monitorar a perda de pressão no mesmo e antecipar problemas que possam causar emissões devido à impossibilidade de aliviar os gases por ele.

A complementação do sistema com o filtro de carvão ativado, permitirá eliminar em torno de 30-40% e até mesmo 99%, dos vapores de TDI na corrente de saída, conforme relato de empresas que adotaram a estratégia do carvão ativado em seus processos (ALPORT, D.C.; GILBERT, D. S.; OUTERSIDE, S. M., 2003). Uma desvantagem do sistema de carvão é o descarte. As empresas que fornecem o carvão normalmente o recuperam ou o incineram. Caso não sigam procedimentos criteriosos, poderão contribuir ainda mais com os problemas de emissões atmosféricas.

5. CONCLUSÃO

O sistema utilizado atualmente já opera com tanques de teto fixo. Esse tipo de reservatório é adequado para ser utilizado com este produto, pois é fechado e evita problemas devido à formação de ureia em partes móveis que estariam presente em tanques de teto flutuante. Nessa tecnologia, uma vez que o sistema é adequadamente inertizado, o risco de contaminar o produto com umidade atmosférica torna-se muito baixo, além de minimizar as emissões para o ambiente.

As ferramentas utilizadas nesse projeto foram cruciais para definir os critérios e direcionar o trabalho. A alteração realizada no sistema de tancagem também se mostra bastante efetiva no sentido de reduzir os riscos de segurança de processo que podem ser causados devido à natureza dos químicos envolvidos e um sistema de alívio e inertização ineficientes. O redimensionamento desses elementos aumenta a confiabilidade do sistema e minimiza as possibilidades de possível ruptura de algum tanque devido à sobrepressão ou implosão por vácuo.

A inserção do controle de processo otimiza o consumo de nitrogênio, mantendo a pressão sempre positiva, variando dentro de uma faixa segura, além de adequar o balanceamento de vapores entre os tanques. Como resultado principal dessa estratégia, a redução dos químicos lançados ao ambiente é o maior ganho que pode ser associado às modificações implementadas, pois a evaporação do fluido armazenado é minimizada e mesmo o volume a ser aliviado é tratado pelo carvão ativado antes de ser lançado ao ambiente. Dessa forma, tanto reduz os problemas ambientais, quanto protege o trabalhador quanto às doenças ocupacionais que poderiam estar sujeitos.

Será possível obter melhores resultados a partir do momento que seja possível selecionar de forma criteriosa e específica, os instrumentos que irão compor o sistema. Nessa estratégia, deve-se buscar sempre maximizar a faixa operacional para evitar a entrada ou saída de gases.

REFERÊNCIAS

ABBOTT, M.; VAN NESS, H. Schaum's Outline of Thermodynamics With Chemical Applications 2nd ed – 1989. McGraw-Hill.

ABHO. Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais. Limites de exposição (TLVs) para substâncias químicas e agentes físicos & Índices biológicos de exposição. São Paulo, 2013.

ALPORT, D.C.; GILBERT, D. S.; OUTERSIDE, S. M. MDI and TDI: Safety, Health and the Environment: A Source Book and Practical Guide. England: Jon Wileys and Sons Ltd. 2003. p. 139-141.

AMERICAN CHEMISTRY COUNCIL. Polyurethanes. American Chemistry Polyurethane. 2008 Disponível em: <https://polyurethane.americanchemistry.com/Search.aspx?SearchMode=1&SearchPhrase=%22POLYURETHANES%22>. Acesso em: 03 mar. 2016.

AMERICAN CHEMISTRY POLYURETHANE. Boletim Técnico. Diretrizes de Equipamentos para Tanques de Armazenamento de Diisocianato. Disponível em: <<https://polyurethane.americanchemistry.com/Resources-and-DocumentLibrary/6941.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2016

BASF. TDI Handbook. Wyandotte, MI. Estados Unidos. 2014

BASF. The Chemistry of Polyurethane Coatings: A General Reference Manual. Pittsburgh, Estados Unidos. Ago 2005. Disponível em <<https://www.pharosproject.net/uploads/files/cml/1383145151.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2016.

BNDES. Potencial de Diversificação da Indústria Química Brasileira: Relatório 4 - Poliuretano e seus Derivados. Rio de Janeiro, nov. 2014.

BRASIL. Norma Regulamentadora Nº 15 - Atividades e Operações Insalubres. Portaria MTE n.º 1.297, de 13 de agosto de 2014. Ministério do Trabalho e Previdência Social. Disponível em <<http://www.mtps.gov.br/seguranca-e-saude-no-trabalho/normatizacao/normas-regulamentadoras/norma-regulamentadora-n-15-atividades-e-operacoes-insalubres>>. Acesso ago, 2016.

BRASIL. Resolução nº 382, de 26 de dezembro de 2006. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res38206.pdf>>. Acesso em: 1 abr. 2016.

CARLSON, B.; DUMOIT, J.; YANISKO, P.; ZHENG, S. Nitrogen: A Security Blanket for the Chemical Industry. American Institute of Chemical Engineers, Nov 2011.

CDC. Centers for Disease Control and Prevention. NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards. 2,4 Diisocianato de Tolueno. Disponível em: <<http://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0621.html>>. Acesso em: 22 fev. 2016.

CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY. Safe Design and Operation of Process Vents and Emission Control Systems. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc. 2006.

CETESB. FIT - Ficha de Informação Tecnológica. 2014. Disponível em <<http://laboratorios.cetesb.sp.gov.br/>>. Acesso em: 10 fev. 2016.

CROWEL, A., E GROSSEL, S. Handbook of Highly Toxic Materials Handling and Management. III Series: Environmental science and pollution control. 1995. Estados Unidos.

DRAKE, E. M. AND CROCE, P. A. (1988), Guidelines for safe storage and handling of high toxic hazard materials: A new CCPS Publication. Plant/Oper. Prog., 7: 259–264. doi:10.1002/prsb.720070413

EPA. TRI On-Site and Off-site Reported Disposed of or Otherwise Released (in pounds), for All chemicals, By Industry, U.S., 2014. Environmental Protection Agency. Disponível em: <https://iaspub.epa.gov/triexplorer/tri_release.chemical>. Acesso em: 04 fev. 2016.

EUROPEAN COMMISSION. Emissions from Storage, Integrated Pollution Prevention and Control. Europe, 2006. Disponível em <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/esb_bref_0706.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2015. Página 53.

FISPQ (Ficha de Informação de Produtos Químicos). Diisocianato de Tolueno. Disponível em: <[http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=DIISOCIANATO%20DE%20TOLUENO](http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=DIISOCIANATO%20DE%20TOLUENO;)>;>. Acesso em: 16 fev. 2016.

GRUHN, P.E.P, FELLOW, I. Layer of Protection Analysis and Common Mistakes. In: SAFETY CONTROL & INSTRUMENTED SYSTEMS CONFERENCE, 2013. Texas, USA. Disponível em: <<http://www.idc-online.com/>>. Acesso em: 05 abr. 2016.

GUALAME, R. Resumo dos Métodos. Metodologia de avaliação dos Isocianatos. SGS Group. 2015. Disponível em: <<http://www.sgsgroup.com.br/~media/Local/Brazil/Documents/Technical%20Documents/Technical%20Guidelines%20and%20Policies/SGSOIL4709SAMBRENVFD10042013VxxResumoMet.pdf>>. Acesso em: 29 fev. 2016.

GUIDELINES FOR INITIATING EVENTS AND INDEPENDENT PROTECTION LAYERS IN LAYER OF PROTECTION ANALYSIS. 2015. Center for Chemical and Process Safety. Estados Unidos

HYATT, N. Guidelines for Process Hazards Analysis (PHA, HAZOP), Hazards Identification & Risk Analysis. 2004. Ontario. Canadá.

ISOCYANATES. OSHA Oregon Fact Sheet. Department of Consumer, Business & Service. 2014. Disponível em: <osha.oregon.gov/OSHAPubs/factsheets/fs35.pdf>. Acesso em 01 Mar 2016.

KOCH, W. H. Refueling Vapor Recovery in the United States. Petroleum Equipment & Technology. Jul 1998

LIMA, A. H. T. et al. Estocagem de Petróleo. 2014, 20 p. Monografia (Graduação) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.

LOPES, A.; PIRES, O. Pólo Industrial de Cubatão é Evacuado após Vazamento de Gás Tóxico. G1, Rio de Janeiro, 23 jan. 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sp/santos-regiao/noticia/2015/01/polo-industrial-de-cubatao-e-evacuado-apos-vazamento-de-gas-toxico.html>>. Acesso em: 05 jan. 2016.

MACEDO, T. Vazamento de Gás na Vale Deixa Trabalhadores Intoxicados. JM Online, Uberaba, 22 set. 2015. Disponível em: <<http://www.jmonline.com.br/novo/?noticias,1,GERAL,115508>>. Acesso em: 05 jan. 2016.

MATERIAL SAFETY DATA SHEET. BAYER. MONDUR TD 80 GRADE B. Article Number: 5289076. Report Version 1,19. 2013.

MARTINS, D. O. Estudo do controle de emissões de compostos orgânicos voláteis em tanques de armazenamento de produtos químicos. MEPLIM. UFBA. Salvador-Ba, 2004. 179 p. il.

NIOSH, Toluene Diisocyanate (TDI) and Toluenediamine (TDA): Evidence of Carcinogenicity. Dez. 1989. Disponível em: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/90-101/>. Acesso em: 10 fev. 2016.

NIOSH. Preventing Asthma and Death from Diisocyanate Exposure DHHS. 1996. Disponível em: <<http://www.cdc.gov/niosh/docs/96-111/>>. Acesso em: 15 fev. 2016.

ORGANIC LIQUID STORAGE TANKS. EPA, 2006 - United States Environmental Protection Agency. EUA, ap. 42, v. I, ed. 5, cap. 7. Disponível em: <<https://www3.epa.gov/ttn/ chief/ap42/ch07/final/c07s01.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2016.

PEREIRA, J. B. S., Práticas Atuais de Projetos de Tanques de Armazenamento, Novas Tecnologias e seu (Potencial) Reflexo em Emissões de COVs - Compostos Orgânicos Voláteis e Análise de alternativas de redução de emissões em tanques de armazenamento. Petrobrás. Disponível em: <http://66.7.216.136/~pet_roblog/wp-content/uploads/Redu%C3%A7%C3%A3o-emiss%C3%B5es-tanques-de-armazenamento.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2016.

PERESS, J. P.E. Estimate Storage Tank Emissions. CEP Magazine, 2001. Disponível em: <<http://www.aiche.org/resources/publications/cep/2001/august/estimate-storage-tank-emissions>>. Acesso em 3 ago 2016.

POLIURETANOS. Isocianatos Comerciais. Disponível em: <http://www.poliuretanos.com.br/Cap1/132comerciais.htm> , <<http://www.poliuretanos.com.br/Cap1/131Isocianatos.htm> >. Acesso em: 16 fev. 2016.

PROTEGO. Pressure/Vacuum Relief Valves: end-of-line, v. 5. 2007. Disponível em: <http://www.protego.de/catalog2007/dokumente/EN/Kapitel_05/Kapitel_5_Gesamt_G B.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2016.

REH, B. D. A Summary of Health Hazard Evaluations: Issues Related to Occupational Exposure to Isocyanates, 1989 to 2002. CDC. NIOSH. 2004. Disponível em <www.cdc.gov/niosh>. Acesso em: 03 mar. 2016.

ROBERGE, B. et al. Guide for Safe Use of Isocyanates: An Industrial Hygiene Approach. IRSST (Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail). 2013. Disponível em <<http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/RG-773.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2016.

SAITO, H. Assessment of Industrial VOC Gas-Scrubber Performance. 19 Fev 2004. Livermore, CA

SILVA, A. Vazamento tóxico no Polo. Bahia Toda Hora, Salvador, 12 ago. 2011. Disponível em <<http://www.bahiatodahora.com.br/noticias/salvador/vazamento-toxico-no-polo>>. Acesso em: 05 jan. 2016.

TANK FARM GUIDELINES FOR THE CHEMICAL INDUSTRY, 2009, Basle Chemical Industry.

TORLONI, M.; VIEIRA, A. V. Manual de Proteção Respiratória. São Paulo: ABHO. 2003

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (2016). TRI Explorer (2014 Dataset) (Divulgado em mar 2016) [Banco de dados da Internet]. Disponível em: <<https://www.epa.gov/triexplorer>>. Acesso em 16 abr. 2016.

Venting Atmospheric and Low-Pressure Storage Tanks - API 2000. 1998. American Petroleum Institute -. Washington, D.C.

VILAR, W. D. Química e Tecnologia dos Poliuretanos. Rio de Janeiro: Vilar Consultoria, 1998.

WARK, K., Advanced Thermodynamics for Engineers. Series in Mechanical Engineering. Estados Unidos: McGraw-Hill, Inc. 1995. p. 342-345.

WORKSAFEBC. Isocyanates in industry. WorkSafe Bulletin. 2010. Disponível em <http://www2.worksafebc.com/i/posters/pdfs/2010/ws_2010_05.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2016.

WORLDOMETERS.INFO, Dover, Delaware, U.S.A. Disponível em: <<http://www.worldometers.info/view/toxchem/>>. Acesso em: 16 abr. 2016.

Figura 1 - Emissões de vapores na indústria

Fonte: http://www.ecolnews.com.br/toxicos_POPs_e_metais_pesados.htm

Figura 2 - Tanque de teto fixo

Fonte: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/esb_bref_0706.pdf

Figura 3 - Tanque com teto flutuante externo

Fonte: <http://depositphotos.com/11715137/stock-photo-large-oil-tank-with-floating.html>

Figura 4 - Tanque de teto flutuante interno

Fonte:

<http://www.petrolplaza.com/technology/articles/MiZlbiYxMDQ1NiYmMSYxJjUzJg%3D%3D>

Figura 6 - Tanque com isolamento térmico

<http://www.fogliene.com.br/produto/isolamento-termico-30>

Figura 7 - Esfera com sistema de aspersão (dilúvio)

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=6YbHhZfZZ6Q>

Figura 9 - Tanque envolto em domo

Fonte: <http://www.petro-mont.ca/floating%20roofs.html>

Figura 10 - Tratamento de ar de exaustão

<http://www.carbtrol.com/industrial-applications/tank-vent.html>

Figura 17 - Modelo de máscara com respiração autônoma

Fonte: http://www.impactomg.com.br/loja/product_info.php?products_id=544

Figura 25 - PVRV e detalhe do bocal entupido com ureia

Fonte: http://www.finekay.com/en/news_19.aspx

Figura 28 - Exemplo de válvula redutora de pressão com piloto

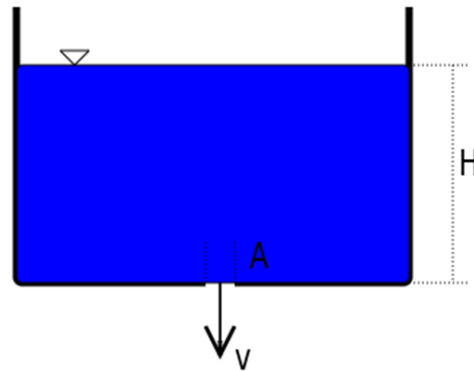
Fonte: <http://www.franko1.com/>

Anexo 5 – fatores de conversão de vazão volumétrica e massa específica para líquidos e gases.

Fonte: http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/publicreadonly/documents/web_resources/valve_page.hcst

APÊNDICE A - CÁLCULO DO ESCOAMENTO POR GRAVIDADE

CÁLCULO DO ESCOAMENTO POR GRAVIDADE DEVIDO A FALHA ESPÚRIA DE
UMA CONEXÃO DE 2 POLEGADAS



H (m) = 7,1 Altura de líquido acima da abertura de escoamento
 D (pol) = 2 Diâmetro do orifício de escoamento
 Cv = 1 Coeficiente de descarga. Assumido = 1
 g (m/s²) = 9,8 Aceleração da gravidade
 v (m/s) = 11,8 Velocidade $v = C_v (2 g H)^{1/2}$

A (m²) = 0,002027 Área de escoamento
 V (m³/h) = 86,1 Vazão volumétrica

Referência: http://www.engineeringtoolbox.com/flow-liquid-water-tank-d_1753.html
 acessado em 07/04/2014 às 20h00

Condição padrão: 399 Nm³/h
 Pressão 1 bar abs
 Temperatura 0 oC

Condição de operação
 Pressão 1,025 bar abs
 Temperatura 35 oC

Vazão na condição de alívio:
 Q = 439,1 m³/h

$$Q = \frac{P_1 x Q_1}{T_1} x \frac{T_2}{P_1} \rightarrow$$

Adaptação da equação de Clayperon

$$PV = nRT$$

Velocidade limite no leito de carvão: menor que 0,4 m/s.

Sendo que: **Vazão = Velocidade x Área**

Essa equação pode ser reescrita como: $D = \sqrt{\frac{4 x Q}{\pi x V}}$

Onde:

Q: Vazão 439,1 m³/h
 0,12 m³/s
 V: Velocidade 0,4 m/s
 D: Diâmetro 0,62 m
 623 mm

O filtro deverá ter um diâmetro mínimo de 623 mm.

APÊNDICE B - ESTIMATIVA PARA O FILTRO DE CARVÃO ATIVADO

Para o cálculo do filtro, é necessário realizar algumas conversões:

Condição padrão: 399 Nm³/h
 Pressão 1 bar abs
 Temperatura 0 °C

Condição de operação
 Pressão 1,025 bar abs
 Temperatura 35 °C

Vazão na condição de alívio:
 Q = 439,1 m³/h

$$Q = \frac{P_1 \times Q_1}{T_1} \times \frac{T_2}{P_1} \Rightarrow$$

Adaptação da equação de Clayperon

$$PV = nRT$$

Velocidade limite no leito de carvão: menor que 0,4 m/s.

Sendo que: **Vazão = Velocidade x Área**

Essa equação pode ser reescrita como: $D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times V}}$

Onde:

Q: Vazão 439,1 m³/h
 0,12 m³/s
 V: Velocidade 0,4 m/s
 D: Diâmetro 0,62 m
 623 mm

O filtro deverá ter um diâmetro mínimo de 623 mm.

ANEXO A - Inventário de emissões de produtos químicos nos estados unidos – todos os seguimentos industriais (libras)

Other On-site Disposal or Other Releases											
Row #	Industry	Fugitive Air Emissions	Point Source Air Emissions	Surface Water Discharges	Underground Injection Class I/V Wells	Land Treatment	RCRA Subtitle C Surface Impoundments	Other Surface Impoundments	Other Land Disposal	Sub Total	Total On- and Off-site Disposal or Other Releases
1	NAICS 311-312 - Food/Beverages/Tobacco	16,135,105	30,931,991	71,179,974	19,89	6,927,993	109,582	220,547	1,949,942	128,025,023	138,117,608
2	NAICS 313/314 - Textiles	239,378	1,055,737	1,496,567	0	0	0	124,337	68	2,916,087	3,263,984
3	NAICS 315 - Apparel	1,45	13,05	0	0	0	0	0	0	14,5	26,066
4	NAICS 316 - Leather	13,565	201,422	5,353	0	0	0	0	750	221,09	2,091,749
5	NAICS 321 - Wood Products	1,222,752	7,278,411	9,33	0	5,266	0	686	4,643	8,521,088	9,302,829
6	NAICS 322 - Paper	42,933,530	98,411,003	19,526,640	0	1,411,620	0	2,545,452	255,396	165,083,641	187,545,879
7	NAICS 322/51 - Printing and Publishing	2,679,703	2,872,519	13	0	0	0	0	0	5,552,235	5,928,042
8	NAICS 324 - Petroleum	10,017,488	30,305,230	27,516,897	26,542	110,109	0	32,331	696,99	68,705,587	85,914,805
9	NAICS 325 - Chemicals	45,734,430	110,777,574	32,904,173	7,16	442,098	782,981	211,89,222	5,567,134	217,404,772	485,220,332
10	NAICS 326 - Plastics and Rubber	7,206,570	26,716,982	219,993	0	0	0	339	18,374	341,162,158	41,602,506
11	NAICS 327 - Stone/Clay/Glass	2,619,509	16,024,090	5,237,076	9,586	0	106	89,963	537,022	24,517,351	28,602,284
12	NAICS 3273 - Cement	86,256	6,084,885	1,008	0	0	0	842	66,264	6,239,256	7,247,650
13	NAICS 331 - Primary Metals	5,637,667	27,583,487	37,123,505	25	176,668	0	37,842,774	22,953,753	131,317,879	340,516,826
14	NAICS 332 - Fabricated Metals	5,736,535	12,447,870	996,612	25	44,546	0	28	85,037	19,310,653	37,528,194
15	NAICS 333 - Machinery	600,964	1,966,285	48	0	244,248	6	20	29,71	2,889,232	6,796,782
16	NAICS 334 - Computers/Electronics Products	182,47	1,055,048	1,631,885	0	0	0	0	2,073	2,871,477	4,255,696
17	NAICS 335 - Electrical Equipment	285,003	1,129,527	4,289	0	0	0	4,473	6,266	1,429,559	4,530,803
18	NAICS 336 - Transportation Equipment	5,425,203	20,329,516	44,13	0	14	1	71,311	270,75	261,140,927	35,015,704
19	NAICS 337 - Furniture	760,255	3,677,771	21	0	88	0	0	4,03	4,442,166	4,511,717
20	NAICS 339 - Miscellaneous Manufacturing	335,935	1,742,414	3,828	0	0	0	0	6,114	2,088,291	3,250,254
21	NAICS 22 - No TR/NAICS Code	654,54	1,279,543	11,063,073	20	541,325	0	1,508,288	9,723,742	24,790,512	30,883,601
22	NAICS 2121 - Coal Mining	331,277	11,727	115,997	59,214	2,888,120	0	148,436	598,108	4,152,878	9,812,798
23	NAICS 2122 - Metal Mining	1,448,882	1,499,476	1,707,624	148,067	1,838	1,243,826	601,151,231	1,158,600,402	1,765,801,346	1,771,632,497
24	NAICS 2211 - Electric Utilities	1,317,162	181,106,072	4,167,762	0	1,268,229	303,078	83,484,172	6,130,158	277,776,634	525,521,356
25	NAICS 4246 - Chemical Wholesalers	567,876	463,338	341	0	0	0	0	11,03	1,042,565	1,384,159
26	NAICS 4247 - Petroleum Bulk Terminals	789,961	907,476	4,035	5	0	1	561	1,551	1,703,590	3,082,417
27	NAICS 562 - Hazardous Waste/Solvent Recovery	153,979	242,189	8,392	0	0	1,249,135	2	820,483	2,474,180	123,470,670
	Total	153,117,448	586,114,635	215,566,421	290,514	14,062,163	3,688,715	748,415,014	1,208,339,789	2,929,594,699	3,896,477,207

Fonte: EPA (2014)

ANEXO B – Tabela de fatores de conversão de volume líquido deslocado para volume de ar deslocado

**Table 1B—Normal Venting Requirements
(Nm³/hr of Air per Cubic Meter per Hour of Liquid Flow)
B. Metric Units**

Flash Point/Boiling Point ^a	Inbreathing		Outbreathing	
	Liquid Movement Out	Thermal	Liquid Movement In	Thermal
Flash Point ≥ 37.8°C	0.94	See Table 2B	1.01	See Table 2B
Boiling Point ≥ 148.9°C	0.94	“ ”	1.01	“ ”
Flash Point < 37.8°C	0.94	“ ”	2.02	“ ”
Boiling Point < 149°C	0.94	“ ”	2.02	“ ”

^aData on flash point or boiling point may be used. Where both are available, use flash point (See Appendix A).

Fonte: API 2000 (1998)

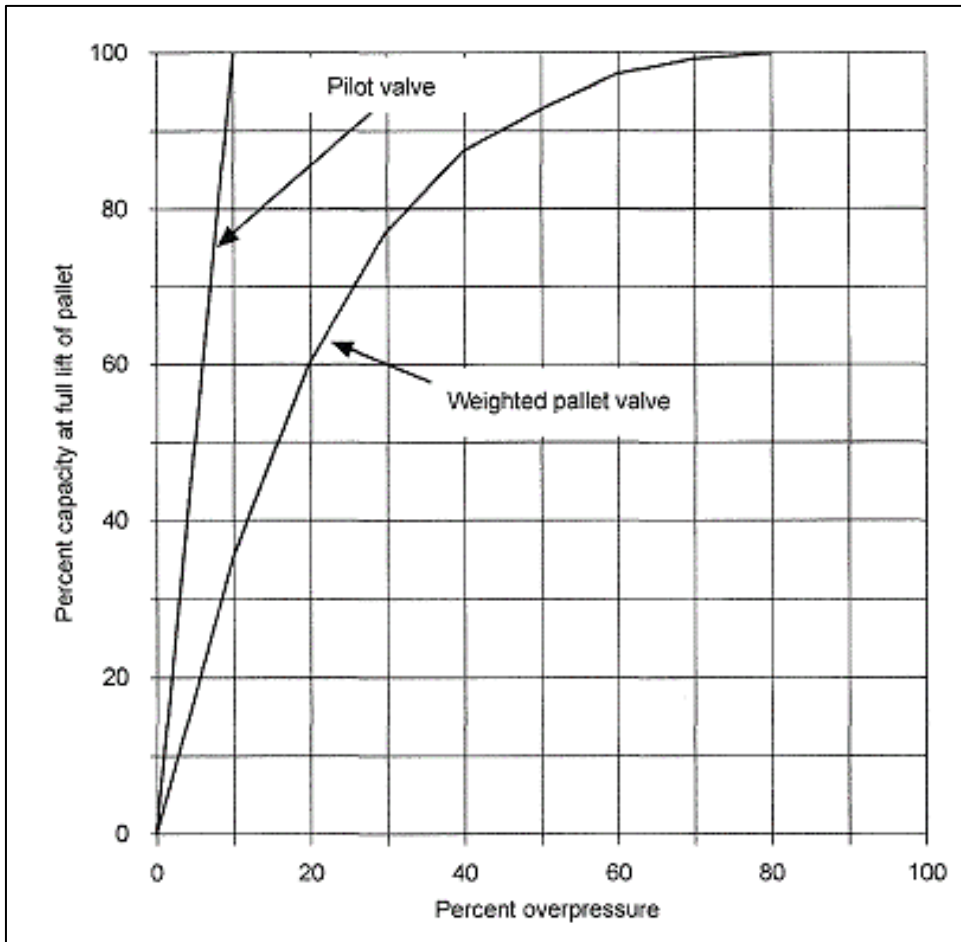
ANEXO C - Tabela de volume de ar deslocado devido à variação de temperatura sobre o volume do tanque.

**Table 2B —Requirements for Thermal Venting Capacity
B. Metric Units**

Tank Capacity Column 1 ^d	Inbreathing (Vacuum) Column 2 ^a	Outbreathing	
		Column 3 ^b	Column 4 ^c
		Flash Point ≥ 37.8°C or Normal Boiling Point ≥ 148.9°C	Flash Point < 37.8°C or Normal Boiling Point < 148.9°C
Cubic Meters	Nm ³ /h	Nm ³ /h	Nm ³ /h
10	1.69	1.01	1.69
20	3.37	2.02	3.37
100	16.9	10.1	16.9
200	33.7	20.2	33.7
300	50.6	30.3	50.6
500	84.3	50.6	84.3
700	118	70.8	118
1,000	169	101	169
1,500	253	152	253
2,000	337	202	337
3,000	506	303	506
3,180	536	388	536
4,000	647	472	647
5,000	787	537	787
6,000	896	602	896
7,000	1,003	646	1,003
8,000	1,077	682	1,077
9,000	1,136	726	1,136
10,000	1,210	807	1,210
12,000	1,345	888	1,345
14,000	1,480	969	1,480
16,000	1,615	1,047	1,615
18,000	1,745	1,126	1,745
20,000	1,877	1,307	1,877
25,000	2,179	1,378	2,179
30,000	2,495	1,497	2,495

Notes:
^a For tanks with a capacity of 20,000 barrels (3,180 cubic meters) or more, the requirements for the vacuum condition are very close to the theoretically computed value of 2 SCFH of air per square foot (0.577 Nm³/h per square meter) of total shell and roof area. For tanks with a capacity of less than 20,000 barrels (3,180 cubic meters), the requirements for the vacuum condition have been based on 1 SCFH of air for each barrel of tank capacity (0.169 Nm³/h per cubic meter). This is substantially equivalent to a mean rate of temperature change of 100°F (37.8°C) per hour in the vapor space (see Appendix A). An engineering review should be conducted for uninsulated tanks where the vapor space temperature is maintained above 120°F (48.9°C) (see 4.2.5.14).
^b For stocks with a flash point of 100°F (37.8°C) or above, the outbreathing requirement has been assumed to be 60 percent of the inbreathing requirement. The roof and shell temperatures of a tank cannot rise as rapidly under any condition as they fall, for example, during a sudden cold rain.
^c For stocks with a flash point below 100°F (37.8°C), the outbreathing requirement has been assumed to be equal to the inbreathing requirement to allow for vaporization at the liquid surface and for the higher specific gravity of the tank vapors.
^d Interpolate for intermediate tank sizes. Tanks with a capacity of more than 180,000 barrels (30,000 cubic meters) require individual study. Refer to Appendix A for additional information about the basis of this table.

Fonte: API 2000 (1998)

ANEXO D - Diagrama de capacidade x percentual de abertura de PVRVs.

FONTE: API 2000 (1998)

ANEXO E – Fatores de conversão de vazão volumétrica e massa específica para líquidos e gases.

TABLES		
A. Approximate multipliers to use when converting flow (GPM) of water to various liquids:		
Crude Oil	1.015 to 1.11	Example: Determine maximum flow of kerosene through a regulator if maximum water flow capability is 5 GPM.
Gasoline	1.15	
Hydraulic Oil-Mineral Base	1.12	Kerosene flow = 5 GPM (water) x 1.10 (kerosene multiplier) = <u>5.5 GPM</u>
Hydraulic Oil-Phosphate Ester Base .....	.95
Hydraulic Oil-Standard Mil 5606	1.10	
Hydraulic Oil-Water Glycol Base .....	.98
Kerosene	1.10	
Water	1.00	
B. Approximate multipliers to use when converting flow (SCFM) of air to various gases:		
Air	1.000	Example: Determine maximum flow of helium through a regulator if the maximum air flow capability is 300 SCFM.
Ammonia	1.295	
Argon852	Helium flow = 300 SCFM (air) x 2.69 (helium multiplier) = <u>807 SCFM</u>
Arsine .....	.609
Carbon Dioxide .....	.810
Helium	2.690	
Hydrogen	3.790	
Hydrogen Chloride .....	.888
Nitrogen	1.015	
Oxygen .....	.951
Silane .....	.915
C. Approximate specific gravities (S_L) for various liquids:		
Crude Oil81 to .97	To convert the flow from water (specific gravity of 1.0) to a liquid having a specific gravity other than 1.0 use the following formula:
Gasoline .....	.75
Hydraulic Oil-Mineral Base80	$Q_L \text{ (any liquid)} = Q_L \text{ (water)} \sqrt{\frac{1}{S_L \text{ (any liquid)}}}$
Hydraulic Oil-Phosphate Ester Base	1.10	
Hydraulic Oil-Standard Mil 5606 .....	.83
Hydraulic Oil-Water Glycol Base	1.05	
Kerosene .....	.82
Water	1.00	
D. Approximate specific gravities (S_G) for various gases:		
Air	1.000	To convert the flow from air (specific gravity of 1.0) to a gas having a specific gravity other than 1.0 use the following formula:
Ammonia .....	.596
Argon	1.379	$Q_G \text{ (any gas)} = Q_G \text{ (air)} \sqrt{\frac{1}{S_G \text{ (any gas)}}}$
Arsine	2.695	
Carbon Dioxide	1.529	
Helium .....	.138
Hydrogen .....	.070
Hydrogen Chloride	1.268	
Nitrogen .....	.967
Oxygen	1.105	
Silane	1.195	

Fonte: Flow Formulas (2009)

ANEXO F – Tabela de limites de exposição para isocianatos comerciais

Table 1: NIOSH, ACGIH, OSHA, and UK-HSE Exposure Criteria for Isocyanates


<i>Isocyanate Species</i>	<i>Exposure Criteria–Full-Shift TWAs $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>			<i>Exposure Criteria–Short Term or Ceiling Limits $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>			
	NIOSH REL	ACGIH TLV	UK-HSE	NIOSH REL Ceiling	ACGIH TLV- STEL	UK-HSE Ceiling	OSHA PEL Ceiling
TDI	CA-LFC [†]	36	None	None	140	None	140
MDI	50	51	None	200	None	None	200
HDI	35	34	None	140	None	None	None
HMDI	None	54	None	210	None	None	None
IPDI	45	45	None	180	None	None	None
NDI	40	None	None	170	None	None	None
TRIG	None	None	20	None	None	70	None

[†] NIOSH considers TDI to be an occupational CA and recommends that exposures be reduced to the LFC.

Abbreviations: ACGIH=American Conference of Governmental Industrial Hygienists; CA=carcinogen; HDI=1,6-hexamethylene diisocyanate; HMDI=methylene bis (4-cyclohexylisocyanate); IPDI=Isophorone diisocyanate; LFC=lowest feasible concentration; MDI=Methyl diphenyl diisocyanate; NDI=1,5-naphthalene diisocyanate; NIOSH=National Institute for Occupational Safety and Health; OSHA=Occupational Safety and Health Administration; PEL=Permissible exposure limit (OSHA); REL=Recommended Exposure Limit; STEL=Short-term exposure limit; TDI=Toluene diisocyanate; TLV=Threshold Limit Value (ACGIH exposure criteria); TRIG=total reactive isocyanate group; TWA=Time-weighted average; UK-HSE=United Kingdom's Health and Safety Executive; $\mu\text{g}/\text{m}^3$ =Micrograms of contaminant per cubic meter of air (a unit of concentration).

Fonte: NIOSH (2016)

ANEXO G - Ficha de informação do produto – TDI

Ficha de Informação de Produto Químico		
IDENTIFICAÇÃO		Help
Número ONU	Nome do produto	Rótulo de risco
2078	DIISOCIANATO DE TOLUENO;	
Número de risco 60	Classe / Subclasse 6.1	
Sinónimos T D I; NACONATO 100; TOLUENO 2, 4 - DIISOCIANATO		
Aparência LÍQUIDO INCOLOR A AMARELO CLARO; ODOR DOCE DE FRUTA; AFUNDA E REAGE COM ÁGUA		
Fórmula molecular C9 H6 O2 N2	Família química NÃO PERTINENTE	
Fabricantes Para informações atualizadas recomenda-se a consulta às seguintes instituições ou referências: ABIQUM - Associação Brasileira da Indústria Química : Fone 0800-118270 ANDEF - Associação Nacional de Defesa Vegetal : Fone (11) 3081-5033 Revista Química e Derivados - Guia geral de produtos químicos , Editora QD: Fone (11) 3826-6899 Programa Agrofit - Ministério da Agricultura		
MEDIDAS DE SEGURANÇA		Help
Medidas preventivas imediatas EVITAR CONTATO COM O LÍQUIDO E O VAPOR. MANTER AS PESSOAS AFASTADAS. CHAMAR OS BOMBEIROS. PARAR O VAZAMENTO SE POSSÍVEL. ISOLAR E REMOVER O MATERIAL DERRAMADO.		
Equipamentos de Proteção Individual (EPI) USAR ROUPA DE ENCAPSULAMENTO DE VITON E MÁSCARA DE RESPIRAÇÃO AUTÔNOMA.		
RISCOS AO FOGO		Help
Ações a serem tomadas quando o produto entra em combustão COMBUSTÍVEL. EXTINGUIR COM PÓ QUÍMICO SECO OU DIÓXIDO DE CARBONO. ESFRIAR OS RECIPIENTES EXPOSTOS COM ÁGUA.		
Comportamento do produto no fogo NÃO PERTINENTE.		
Produtos perigosos da reação de combustão PRODUZ VAPORES IRRITANTES.		
Agentes de extinção que não podem ser usados ÁGUA OU ESPUMA PODE CAUSAR MAIS ESPUMA.		
Limites de inflamabilidade no ar Limite Superior: 9,5% Limite Inferior: 0,9%		
Ponto de fulgor 132,3°C (VASO ABERTO)		
Temperatura de ignição > 149 °C		
Taxa de queima DADO NÃO DISPONÍVEL		

Taxa de queima DADO NÃO DISPONÍVEL
Taxa de evaporação (éter=1) DADO NÃO DISPONÍVEL
NFPA (National Fire Protection Association) Perigo de Saúde (Azul): 3 Inflamabilidade (Vermelho): 1 Reatividade (Amarelo): 3 NFPA: (OBS. 2)

PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E AMBIENTAIS	Help
---	------

Peso molecular 174,16	Ponto de ebulição (°C) 250	Ponto de fusão (°C) 20 - 22
Temperatura crítica (°C) NÃO PERTINENTE	Pressão crítica (atm) NÃO PERTINENTE	Densidade relativa do vapor NÃO PERTINENTE
Densidade relativa do líquido (ou sólido) 1,22 A 25 °C (LÍQUIDO)	Pressão de vapor 0,21 mmHg A 54,4 °C	Calor latente de vaporização (cal/g) NÃO PERTINENTE
Calor de combustão (cal/g) -5.720	Viscosidade (cP) DADO NÃO DISPONÍVEL	
Solubilidade na água INSOLÚVEL	pH NÃO PERT.	
Reatividade química com água FORMA GÁS DE DIÓXIDO DE CARBONO E BASE ORGÂNICA; A REAÇÃO NÃO É VIOLENTA.		
Reatividade química com materiais comuns NÃO REAGE.		
Polimerização LENTA. NÃO É PERIGOSA. ACIMA DE 45°C, INIBIDOR DE POLIMERIZAÇÃO: NÃO PERTINENTE.		
Reatividade química com outros materiais INCOMPATÍVEL COM OXIDANTES FORTES, ÁGUA, ÁCIDOS, BASES, AMINAS, ETC, POIS CAUSAM ESPUMA E RESPINGAM.		
Degradabilidade DADO NÃO DISPONÍVEL.		
Potencial de concentração na cadeia alimentar NENHUMA,		
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) DADO NÃO DISPONÍVEL.		
Neutralização e disposição final DISSOLVER OU MISTURAR O MATERIAL EM UM SOLVENTE COMBUSTÍVEL E QUEIMAR EM UM INCINERADOR QUÍMICO, EQUIPADO COM PÓS-QUEIMADOR E LAVADOR DE GASES. RECOMENDA-SE O ACOMPANHAMENTO POR UM ESPECIALISTA DO ÓRGÃO AMBIENTAL.		

INFORMAÇÕES ECOTOXICOLÓGICAS	Help
------------------------------	------

Toxicidade - limites e padrões L.P.O.: 0,4 - 2,14 ppm P.P.: NÃO ESTABELECIDO IDLH: 2,5 ppm LT: Brasil - Valor Médio 48h: 0,016 ppm LT: Brasil - Valor Teto: VER OBS. LT: EUA - TWA: 0,005 ppm LT: EUA - STEL: 0,02 ppm
Toxicidade ao homem e animais superiores (vertebrados) M.D.T.: DADO NÃO DISPONÍVEL M.C.T.: (OBS.1)

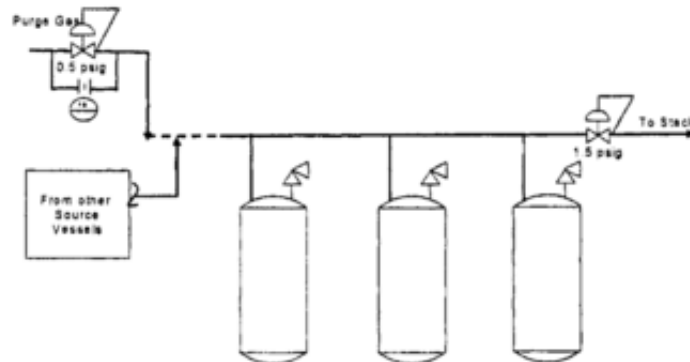
Toxicidade: Espécie: OUTROS Via Respiração (CL50): COELHO (3 h) = 1.500 ppb; COBAIA (4 h) = 13 ppm		
Toxicidade aos organismos aquáticos: PEIXES : Espécie		
Toxicidade aos organismos aquáticos: CRUSTÁCEOS : Espécie		
Toxicidade aos organismos aquáticos: ALGAS : Espécie		
Toxicidade a outros organismos: BACTÉRIAS		
Toxicidade a outros organismos: MUTAGENICIDADE SALMONELLA TYPHIMURIUM: "mma" = 500 ug/PLACA		
Toxicidade a outros organismos: OUTROS		
Informações sobre intoxicação humana		
Tipo de contato	Síndrome tóxica	Tratamento
Tipo de contato LÍQUIDO	Síndrome tóxica QUEIMARÁ A PELE. QUEIMARÁ OS OLHOS. VENENOSO SE INGERIDO.	Tratamento REMOVER ROUPAS E SAPATOS CONTAMINADOS E ENXAGUAR COM MUITA ÁGUA. MANTER AS PÁLPEBRAS ABERTAS E ENXAGUAR COM MUITA ÁGUA. NÃO PROVOCAR O VÔMITO.

DADOS GERAIS			Help
Temperatura e armazenamento 24 A 37.8°C.			
Ventilação para transporte PRESSÃO A VÁCUO.			
Estabilidade durante o transporte ESTÁVEL.			
Usos ESPUMA DE POLIURETANO, ELASTÔMEROS, REVESTIMENTO.			
Grau de pureza DESTILADO COMERCIAL : 99 % (DIISOCIANATO).			
Radioatividade NÃO TEM.			
Método de coleta DADO NÃO DISPONÍVEL.			
Código NAS (National Academy of Sciences)			
FOGO Fogo: 1	SAÚDE Vapor Irritante: 3 Líquido/Sólido Irritante: 3 Venenos: 4	POLUIÇÃO DAS ÁGUAS Toxicidade humana: 2 Toxicidade aquática: - Efeito estético: 4	REATIVIDADE Outros Produtos Químicos: 3 Água: 3 Auto reação: 3

OBSERVAÇÕES	Help
1) M.C.T.: SER HUMANO : TLo (2 ANOS) = 0.02ppm; TLo = 0.5 ppm; HOMEM: IRRITAÇÃO AOS OLHOS E NARIZ = 0.1 ppm, 30 min; NENHUM EFEITO = 0.01 ppm, 30 min 2) NFPA: NÃO USAR ÁGUA TAXA DE TOXICIDADE AOS ORGANISMOS AQUÁTICOS : TLM (96 h) = 1 ppm - 10 ppm POTENCIAL DE IONIZAÇÃO (PI) = DADO NÃO DISPONÍVEL. O LIMITE DE TOLERÂNCIA NÃO PODE SER EXCEDIDO EM MOMENTO ALGUM DA JORNADA DE TRABALHO, CONFORME ANEXO 11 DA NR 15.	

ANEXO H - Sistema de estocagem com *header* compartilhado

Example 3: Vent System Handling Flammable Materials (with Control Valves)



Description: In this example, air is prevented from entering through any defects that may exist in the vent header by operating the vent header system and the source vessels at a small positive pressure. This ensures any leaks will be away from the system and that air will be unable to enter by reverse flow through the vent stack.

Advantages:

- Positive pressure minimizes the potential for air to enter
- Purge gas usage and vapor losses can be reduced by vapor balancing if there is a need to transfer liquids between vessels

Disadvantages:

- Shared vapor space can result in cross contamination between vessels
- If leaks exist, vent gases will discharge to atmosphere
- The liquids in the vessels must be compatible. This may limit the ability to make changes at a later time
- Process vessels are subject to pressure changes between regulators set points

Comments:

Operating the vessels and the header at a small positive pressure provides a reliable system for preventing air leaking into vent systems. This approach may not prevent air being present from other possible sources such as:

- Air remaining in vessels after being opened for maintenance
- Leaking pump seals allowing air to be drawn into a liquid being fed to a vessel
- A failure of the purge gas supply or an insufficient supply of purge gas to meet the maximum demand, for example when emptying a vessel after being washed
- Air entering a vessel if it is opened to receive a solids feed or for taking samples

To minimize the potential for air to accumulate due to these or other circumstances, common practice is to provide a small continuous feed of purge gas to the vessels. Also, in some instances flame arresters are installed in the lines connecting source vessels to the vent header. Procedures for returning a vessel to service after maintenance activities should include measures to re-establish an inert atmosphere in the vessel(s) before introducing flammable liquids.

Fonte: CCPS (2006)