



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola Politécnica & Escola de Química
Programa de Engenharia Ambiental

Alexandre Pacheco Terra

PROCESSOS DE SUBSTITUIÇÃO DE TECNOLOGIA E SEUS IMPACTOS NA
AVALIAÇÃO DE RISCO: ESTUDO DE CASO EM REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL

Rio de Janeiro
2016



UFRJ

Alexandre Pacheco Terra

PROCESSOS DE SUBSTITUIÇÃO DE TECNOLOGIA E SEUS IMPACTOS NA
AVALIAÇÃO DE RISCO: ESTUDO DE CASO EM REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Assed Naked Haddad, D.Sc.

Rio de Janeiro
2016

Terra, Alexandre Pacheco.

Processos de substituição de tecnologia e seus impactos na avaliação de risco: estudo de caso em refrigeração industrial/ Alexandre Pacheco Terra – 2016.

98 f.: il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, 2016.

Orientador: Assed Naked Haddad

1. Análise de risco. 2. Risco ambiental. 3. Refrigeração industrial. 4. Substituição de tecnologia. I. Haddad, Assed Naked. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica e Escola de Química. III. Mestrado.



UFRJ

PROCESSOS DE SUBSTITUIÇÃO DE TECNOLOGIA E SEUS IMPACTOS NA
AVALIAÇÃO DE RISCO: ESTUDO DE CASO EM REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL

Alexandre Pacheco Terra

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Assed Naked Haddad, Prof. D.Sc.

Aprovado pela Banca:

Presidente, Prof. Assed Naked Haddad, D.Sc, UFRJ

Prof. Fernando Pereira Duda, D.Sc, UFRJ

Prof. Álvaro Bezerra de Souza Júnior, D.Sc, UFRJ

Prof. Isaac José Antonio Luquetti dos Santos, D.Sc, UFRJ

Rio de Janeiro
2016

AGRADECIMENTOS

A Deus, por iluminar meus caminhos na busca pelo conhecimento que liberta.

Aos meus pais, por terem sacrificado suas vidas para o bem da família, e por terem me ensinado a estudar, trabalhar e viver de forma humilde e honesta, servindo ao próximo.

A minha família, pela compreensão, incentivo, paciência e apoio ao longo da vida.

Aos amigos que me incentivaram e apoiaram neste projeto.

A todos os professores e alunos que participaram dessa empreitada.

À UFRJ, por acreditar no meu profissionalismo.

*“Homem, conhece-te a ti mesmo e conhecerás
o universo de Deus.”*

RESUMO

Em instalações industriais de refrigeração existem diversos agentes que podem alterar o risco que o sistema representa. Um dos fatores que mais possui influência na refrigeração é a escolha do gás refrigerante, pois dependendo da escolha do empreendedor, a instalação pode representar impactos relevantes para o meio ambiente, segurança do trabalho e para a própria população ao redor.

O estudo de caso desta dissertação é uma instalação de refrigeração que está tendo seu gás refrigerante substituído. Nesse estudo, o HCFC está deixando de ser utilizado para dar lugar à Amônia. Sabe-se previamente que a Amônia apresenta maiores riscos à saúde humana do que o HCFC. Porém, caso a instalação de Amônia fique totalmente afastada da população, ela não representará risco algum para o seu entorno.

O objetivo principal desta dissertação é fazer um levantamento das consequências que a Amônia e o HCFC podem representar para o meio ambiente e para a segurança do trabalho, além de discorrer sobre recomendações para o respectivo estudo de caso, dentre elas a utilização do gás refrigerante CO₂ como alternativa. O resultado desse documento pode ser usado por empreendedores como parte do embasamento para implantação ou para substituição de sistemas de refrigeração similares.

Este trabalho também mostra as consequências que podem ocorrer caso o empreendedor ignore princípios de segurança inerente, e como as consequências podem ser remediadas. Os riscos tornaram o funcionamento do sistema de refrigeração em estudo inviável para funcionamento de acordo com a legislação do INEA. Para reduzir os riscos e tornar o projeto viável, foram recomendadas algumas medidas mitigadoras.

A dissertação conclui ressaltando a importância de um estudo prévio para escolher quais seriam as melhores decisões a serem tomadas com o objetivo de tornar um sistema de refrigeração menos nocivo a sociedade.

Palavras-chave: 1. Análise de risco. 2. Risco ambiental. 3. Refrigeração industrial. 4. Substituição de tecnologia.

ABSTRACT

In industrial refrigeration plants there are plenty agents that can modify the risk that the plant has. One of the factors that influence the risk in refrigeration plants is the choosing of the refrigerator gas, because depending on what gas the entrepreneur chooses, the plant might affect relevantly the environment, safety and whoever lives around the company.

The study case of this master thesis is a refrigeration plant that is having its refrigerator gas substituted. In this case, the ammonia gas will take place of the hydrofluorocarbon. Previously, it is known that ammonia gas is more harmful to the human health rather than HCFCs. However, if the plant stays far away from neighborhoods, it will not represent any risk for the area around.

The main goal of this master thesis is to raise the consequences that ammonia and HCFC can represent to the environment and safety, besides highlight recommendations to the study case including the use of CO₂ as an alternative of refrigerator gas. Entrepreneurs who intend to implement refrigerator systems can use this analysis.

This document shows the consequences that can occur in case the entrepreneur disregards the Inherent Safety principles that were established by Kletz, and how it can be remediated. The risks made the refrigerator system unfeasible to function according to the legislation of INEA. In order to reduce the risks and make it feasible, the thesis brings up mitigating actions.

The thesis conclusion highlights the importance of the previous study to help entrepreneurs make the better choice involving location and type of gas, so it

reduces the risk the most to make refrigeration systems less harmful to people's health.

Key-words: 1. Risk analysis. 2. Environmental risk. 3. Industrial refrigeration. 4. Technology substitution.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2-1 – Propriedades e limites de quantidade uso da Amônia de forma segura.....	34
Figura 2-2 – Estrutura de uma AQR.....	36
Figura 2-3 - Ilustração de uma curva FN.....	41
Figura 2-4 – Ilustração de linhas iso-risco.....	42
Figura 3-1 – Massa específica do vapor versus temperatura	54
Figura 3-2 – Entalpia de vaporização versus temperatura	54
Figura 3-3 – Efeito volumétrico de refrigeração.....	55
Figura 4-1 – Região onde fica localizada a sede da empresa.....	56
Figura 4-2 - Imagem da sede aumentada.....	57
Figura 4-3 – Ocupações a Leste da instalação.....	57
Figura 4-5- Normais climatológicas de temperatura média, máxima e mínima, Campos.....	59
Figura 4-6 – Normal climatológica de umidade relativa,Campos. Fonte:INMET, 2010.....	59
Figura 5-1 – Perfil do risco individual – sistema de Amônia.....	68
Figura 5-2– Gráfico FxN.....	69
Figura 5-3– Curva de iso-risco (644m).....	70
Figura 6-2– Perfil de risco individual após a MM1.....	77
Figura 6-3– Gráfico FxN após MM1.....	78
Figura 7-3 – Perfil individual do risco após a MM2.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1 – Equipamentos adquiridos e utilizados na nova instalação frigorífica.	44
Tabela 3-2 – Potência consumida pelos compressores comparando condensação a freon com Amônia.....	50
Tabela 3-3 – Potência consumida pelos condensadores comparando condensação a freon com Amônia.....	50
Tabela 3-4 – Bombas d’água e Amônia	51
Tabela 3-5 – Consumo do degelo.....	51
Tabela 3-6 – Resumo total do consumo de ambos os gases.....	52
Tabela 4-1 – Intensidade do vento, Campos, 1961-1990.....	60
Tabela 4-2 – Direção predominante do vento, Campos, 1961-1990	60
Tabela 4-3 – Cenário acidental selecionado para estimativa dos efeitos físicos.....	60
Tabela 4-4 – Efeitos físicos pesquisados para estimativa das áreas vulneráveis.....	62
Tabela 4-5 – Níveis de concentração de Amônia.....	62
Tabela 4-6 – Caracterização do evento acidental 1: Liberação de Amônia no trecho entre o condensador e o reservatório principal devido a furo ou ruptura de linha.....	63
Tabela 4-7 – Caracterização do evento acidental 2: Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do reservatório principal devido a furo ou ruptura de linha.....	63
Tabela 4-8 – Caracterização do evento acidental 3: Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do vaso separador -10°C ou do vaso resfriador intermediário.....	63
Tabela 4-9 – Caracterização do evento acidental 5: Liberação de Amônia no trecho entre o reservatório principal e os vasos separadores devido a furo ou ruptura de linha.....	64
Tabela 4-10 – Caracterização do evento acidental 6: Liberação de Amônia no trecho entre o vaso separador a -10°C e as câmaras frigoríficas devido a furo ou ruptura de linha.....	64
Tabela 4-11 – Caracterização do evento acidental 7: Liberação de Amônia no trecho entre o vaso separador a -35°C e as câmaras frigoríficas devido a furo ou ruptura de linha.....	64
Tabela 4-12 – Distância alcançada pelos níveis de concentração de Amônia (NH ₃).....	65
Tabela 5-1 – Distâncias correspondentes aos níveis de risco individual	67

Tabela 6-1 – Caracterização do evento acidental 1: Liberação de Amônia no trecho entre o condensador e o reservatório principal devido a furo ou ruptura de linha.....	71
Tabela 6-2 – Caracterização do evento acidental 2: Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do reservatório principal	71
Tabela 6-3 – Caracterização do evento acidental 3: Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do vaso separador - 10°C.....	72
Tabela 6-4 – Caracterização do evento acidental 4: Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do vaso separador -35°C.....	72
Tabela 6-5 – Caracterização do evento acidental 5: Liberação de Amônia no trecho entre o reservatório principal e os vasos separadores devido a furo ou ruptura de linha	73
Tabela 6-6 – Caracterização do evento acidental 6: Liberação de Amônia no trecho entre o vaso separador a -10°C e as câmaras frigoríficas devido a furo ou ruptura de linha.....	73
Tabela 6-7 – Caracterização do evento acidental 7: Liberação de Amônia no trecho entre o vaso separador a -35°C e as câmaras frigoríficas devido a furo ou ruptura de linha.....	74
Tabela 6-8 – Distância alcançada pelos níveis de concentração de Amônia (NH ₃) considerando falha da MM1.....	74
Tabela 6-9 – Distância alcançada pelos níveis de concentração de Amônia (NH ₃) considerando sucesso da MM1	75
Tabela 6-10 – Distâncias correspondentes aos níveis de risco individual após a MM1	76
Tabela 6-11 – Percentual de mitigação dos níveis de risco individual.....	76
Tabela 7-1 – Caracterização do evento acidental 1: Liberação de Amônia no trecho entre o condensador e o reservatório principal devido a furo ou ruptura de linha, ocorrendo falha do sistema de abatimento.....	79
Tabela 7-2 – Caracterização do evento acidental 2: Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do reservatório principal, ocorrendo falha do sistema de abatimento.....	80
Tabela 7-3 – Caracterização do evento acidental 3: Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do vaso separador -10°C ou do vaso resfriador intermediário, ocorrendo falha do sistema de abatimento.....	80

Tabela 7-4 – Caracterização do evento acidental 4: Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do vaso separador -35°C, ocorrendo falha do sistema de abatimento	80
Tabela 7-5 – Caracterização do evento acidental 5: Liberação de Amônia no trecho entre o reservatório principal e os vasos separadores devido a furo ou ruptura de linha, ocorrendo falha do sistema de abatimento	80
Tabela 7-6 – Caracterização do evento acidental 6: Liberação de Amônia no teto entre o vaso separador a -10°C e as câmaras frigoríficas devido a furo ou ruptura de linha, ocorrendo falha do sistema de abatimento	81
Tabela 7-7 – Caracterização do evento acidental 7: Liberação de Amônia no trecho entre o vaso separador a -35°C e as câmaras frigoríficas devido a furo ou ruptura de linha, ocorrendo falha do sistema de abatimento	81
Tabela 7-8 – Distâncias alcançada pelos núveis de concentração de Amônia (NH ₃) considerando falha do sistema de abatimento	82
Tabela 7-9 – Perda da capacidade de abatimento de emergência e falha no fechamento da linha de exaustão do galpão	83
Tabela 7-10 – Distâncias correspondentes aos níveis de risco individual após a MM2	84
Tabela 8-1 – Comparativo entre Amônia, HCFC e CO ₂	89

LISTA DE ABREVIATURAS

APP	Análise Preliminar de Perigos
AQR	Análise Quantitativa de Riscos
CCPS	<i>Center for Chemical Process Safety</i>
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
EAR	Estudo de Análise de Risco
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler - RS
FISPQ	Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico
GWP	<i>Global Warming Potential</i>
HAZOP	<i>Hazard and Operability Analysis</i>
HCFC-22	Gás Clorodifluormetano
IDLH	Immediately Dangerous to Life or Health
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
INEA	Instituto Estadual do Meio Ambiente
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
ISD	<i>Inherent Safety Design</i>
LAR	Licença Ambiental de Recuperação
LAS	Licença Ambiental Simplificada
LI	Licença de Instalação
LIO	Licença de instalação e de Operação
LO	Licença de Operação
LOR	Licença de Operação e de Recuperação
LP	Licença Prévia
LPI	Licença Prévia e de Instalação
MM1	Medida Mitigadora 1
MM2	Medida Mitigadora 2
ODP	<i>Ozone Depletion Potential</i>
PAE	Plano de Ação de Emergência
PGR	Plano de Gerenciamento de Risco
PMBOK	<i>Project Management Body of Knowledge</i>
SLAM	Sistema de Licenciamento Ambiental

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Apresentação	18
1.2	Relevância	20
1.3	Objetivo	22
2	Fundamentação Teórica	25
2.1	Segurança inerente	25
2.1.1	Substituição de Tecnologia	29
2.2	Análise Quantitativa de Riscos	30
2.2.1	Risco Social	39
2.2.2	Risco Individual	42
3	Metodologia	43
3.1	Instalação com gás refrigerante Amônia	43
3.1.1	Descrição da instalação de refrigeração de gás Amônia	43
3.1.2	Análise de Risco Ambiental	47
3.2	Instalação com gás refrigerante HCFC	50
3.2.1	Análise de eficiência	50
3.2.2	Análise de Risco Ambiental	52
3.3	Instalação com gás Dióxido de carbono	53
3.3.1	Análise de Risco Ambiental	53
4	Estudo de Caso	56
4.1	Localização da instalação e sua refrigeração	56
4.2	Identificação dos cenários acidentais	58
4.3	Análise de vulnerabilidade e cálculo do alcance dos efeitos físicos danosos... ..	60
4.4	Caracterização dos cenários acidentais	62
5	Cálculo de Risco	67
5.1	Risco individual	67
5.2	Risco social	68
5.3	Tolerabilidade dos riscos	69
6	Reavaliação dos Riscos com a aplicação da Medida Preventiva e Mitigadora 1	71
6.1	Caracterização dos cenários acidentais com implantação da MM1	71
6.2	Resultados	74
6.3	Reavaliação das frequências de ocorrência	76
7	Reavaliação dos riscos com a aplicação da Medida Preventiva e Mitigadora 2 ...	79
7.1	Caracterização dos cenários acidentais com a implantação da MM2	79

7.2 Resultados	82
7.3 Reavaliação das frequências de ocorrência	83
8 Conclusão	85
9 Referências Bibliográficas.....	90

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

A tecnologia está em constante evolução. Novas tecnologias incorporam novos requisitos ambientais, e alteram os níveis de riscos. De acordo com Bernechea e Arnaldos (2013), quatro estratégias podem ser usadas para atingir a segurança em processos químicos: inerente, passivo, ativo e prático. A estratégia inerente tenta eliminar ou reduzir os perigos fazendo mudanças essenciais no processo. A passiva tenta minimizar perigos com um design que reduz a frequência ou consequência de um certo acidente. A estratégia ativa é responsável por controlar sistemas automáticos que possuem função de segurança, enquanto a prática é responsável por aumentar a segurança através de aplicação de operações e boas práticas.

A maior referência para o conceito de Segurança Inerente é o engenheiro químico britânico Trevor Asher Kletz. Pioneiro no assunto, foi uma das primeiras pessoas a desenvolver tal conceito em seu artigo “*What you Don’t Have, Can’t Leak*” em 1978 (LEVINE, 2010). O conceito de Segurança Inerente foi melhor desenvolvido por Kletz em seu livro “*Process Plants: A Handbook for Inherently Safer Design*”. Kletz identificou alguns dos importantes princípios:

- ✓ Intensificação - Usar poucas substâncias perigosas, para que, caso aconteça um acidente, suas consequências sejam reduzidas;
- ✓ Substituição - Trocar substâncias tóxicas por substâncias menos tóxicas e menos inflamáveis;
- ✓ Atenuação - Caso necessário o uso da substância perigosa, suas condições e sua forma de uso deve ser a menos perigosa possível.
- ✓ Limitação dos efeitos – Limita os efeitos e falhas trocando os designs ou condições de uso ao invés de adicionar equipamentos de proteção que podem falhar ou serem negligentes;

Além dos quatro princípios apresentados, Kletz também cita outros cinco princípios que serão investigados nesta dissertação. A Segurança Inerente possui papel avaliativo nesta dissertação, e ao fim desta dissertação, será demonstrado se

ao ignorarmos esses princípios, as consequências poderão ser prejudiciais ou não para uma determinada instalação.

Em licenciamentos ambientais, nos quais empreendimentos armazenam grandes quantidades de substâncias químicas tóxicas é importante reunir ferramentas que sinergicamente irão mitigar e gerir os riscos de maneira efetiva. A substituição de tecnologia, neste caso, o tipo de gás refrigerante a ser utilizado, como visto por Kletz, pode ser usada como uma medida de Segurança Inerente para tornar o empreendimento mais seguro.

Em sistemas de refrigeração é muito comum o uso de fluorcarbonados e da Amônia. Para cada tipo de gás refrigerante é necessária uma instalação distinta. De acordo com (REYES, 2008), a Amônia possui vantagens químicas para seu uso em instalações como: leve peso molecular (17.03 g), baixo ponto de ebulição (-28 °F) e alto calor latente de vaporização (1371.2 J). O fato da Amônia ser explorada pelo ser humano desde o século XIX (REYES, 2008) também é favorável para o seu uso, uma vez que o homem possui um vasto domínio sobre suas propriedades e experiências com seu manejo.

O HCFC-22 por sua vez apresenta um preço de mercado relativamente maior, e é um poluente agressivo para a camada de ozônio. Entretanto, não possui um caráter tão tóxico como o apresentado pela Amônia (REYES, 2008). Dependendo do contexto, um determinado tipo de gás refrigerante pode ser mais adequado para uma certa situação. É necessário elaborar uma análise e avaliar os impactos ao meio ambiente para concluir sobre o tipo de gás mais adequado para uma determinada situação.

O R-744, mais conhecido como Dióxido de Carbono (CO₂), não possui cor nem cheiro e possui uma concentração de 360 ppm (partes por milhão) na atmosfera. O CO₂ não é considerado um gás inflamável e sua capacidade volumétrica de refrigeração pode variar de três a dez vezes mais que os HCFC (KIM, 2003). Uma das adversidades que o CO₂ enfrenta é a sua pressão de funcionamento de 64,2 bar, que é muito superior as pressões suportadas pela maioria dos componentes utilizados normalmente nos sistemas de refrigeração, requisitando materiais de alta resistência em sua instalação.

No Brasil, em decorrência de constantes acidentes e com a Resolução nº 1, de 23/01/1986, do Conselho Nacional de Meio Ambiente, a CETESB incorporou os estudos de Análise de Risco nos processos de licenciamento ambiental, com a intenção de reduzir o risco de grandes acidentes. A Análise Quantitativa de Risco (AQR) é um método usado para definir o risco associado a uma região industrial, estimando as consequências e a frequência de uma série de possíveis acidentes que podem ocorrer de uma maneira sistemática. (BERNECHEA; ARNALDOS, 2013)

Segundo (VÍLCHEZ; CASAL, 2010), 17% dos acidentes tem como origem o armazenamento de produtos químicos. O tipo de acidente mais comum é o incêndio seguido de explosão, sendo que separadamente possuem 47% e 40% de chances de acontecer, respectivamente. Os outros 13% são designados para nuvens tóxicas.

Os acidentes graves ocorrem por liberação instantânea ou em um tempo relativamente curto de quantidade importante de energia de materiais perigosos. Os vazamentos podem ser divididos em três diferentes tipos: térmicos (com radiação térmica), mecânico (onda de sobre pressão, ejeção de fragmentos) ou químicos (contato com produtos tóxicos dispersados no ar) (VÍLCHEZ; CASAL, 2010). No que tange a esta dissertação, o tipo de acidente relevante para o estudo de caso é o acidente químico. Portanto, excluindo assim acidentes térmicos e mecânicos.

Frente aos riscos da periculosidade de um acidente causado por gases refrigerantes, sejam eles sociais ou ambientais, é de extrema importância tomar conhecimento sobre qual é o melhor gás a ser usado em uma determinada situação. O resultado desta dissertação irá ajudar empreendedores que planejam ou que estão instalando sistemas de refrigeração que necessitam de grande quantidade de gás refrigerador. O estudo também é útil para empresas que comercializam instalações refrigeradoras, pois, uma vez mais instruída sobre o assunto, tais empresas podem orientar melhor os seus clientes.

1.2 Relevância

Um dos fatores que implica relevância dessa pesquisa é o crescimento mundial da demanda de alimentos em decorrência do crescimento da população mundial e do poder aquisitivo de famílias que até pouco tempo viviam em condições primitivas. Esse crescimento da demanda por alimentos resultará no aumento do número de

armazéns, mais especificamente no aumento do número de câmaras frigoríficas, para manter os alimentos em baixas temperaturas.

De acordo com o estudo probabilístico da população mundial feito (LUTZ; SANDERSON; SCHERBOV, 1997), existe uma alta probabilidade de chegarmos a quase 10 bilhões de habitantes no planeta Terra, antes do fim do século. A não ser que a população passe a consumir somente alimentos não processados, a estocagem de alimentos frios subirá proporcionalmente. Segundo (MAYELL, 2004) em seu artigo publicado na National Geographic News, aproximadamente 1.7 bilhões de pessoas no mundo, no ano de 2004, pertenciam a classe consumista. Tal classe se caracteriza por pessoas que tendem a possuir maior ingestão de comidas processadas, sendo que esse tipo de comida necessita de um processo de estocagem por refrigeração.

Outro fator importante a ressaltar é o risco de vida relacionado às pessoas que trabalham em instalações perigosas e aos moradores de edificações situadas no entorno desses empreendimentos. O fato descrito em seguida, noticiado num canal de comunicação brasileiro, corrobora com a afirmação anterior relacionada ao risco de vida de trabalhadores e moradores da vizinhança de empreendimentos onde há armazenamento e/ou uso de substâncias perigosas. Segundo matéria publicada nos meios de comunicações, no dia 21/01/2014, na cidade de Porto Ferreira, no estado de São Paulo, um vazamento de Amônia em um frigorífico provocou a intoxicação de 15 funcionários. O funcionário Adilson Ferreira relatou que pessoas começaram a correr, outras desmaiaram, enquanto outras sentiram dor de cabeça e falta de ar. No caso apresentado não houve vítima fatal, apesar de, se inalada em grandes quantidades e exposta a longos períodos, a Amônia pode ser letal para o ser humano.

Os CFCs também apresentam riscos para os seres humanos. Segundo documento publicado pelo estado de New Hampshire (EUA), (CHLOROFLUORCARBONS..., 2010), os CFCs quando expostos aos seres humanos, em curto período de tempo e baixas temperaturas, podem congelar a pele e as camadas superiores do ar. Quando expostos a altas temperaturas, os CFCs podem se degradar em gases mais tóxicos, como o ácido clorídrico. Altas concentrações de CFCs podem causar distúrbio na frequência cardíaca e pode levar o indivíduo a óbito.

No que faz parte a refrigeração, a Amônia se demonstra um gás muito perigoso para a saúde dos seres vivos, vide sua capacidade explosiva. No dia 21 de janeiro de 2013, um reservatório de Amônia que continha 1 tonelada de Amônia foi arremessado por 200 metros, após a sua explosão. O fato ocorreu em São José do Rio Preto, no estado de São Paulo, quando oito pessoas ficaram intoxicadas e tiveram que receber atendimento médico. Assim como ocorreu com os seres humanos, onze cães também ficaram intoxicados e apresentaram sangramentos pelo focinho e pelas orelhas e receberam atendimento veterinário. Ainda que numa proporção bem menor, um vazamento de Amônia também provocou a explosão de um frigorífico, em 3 de abril de 2013. Dessa vez, um vazamento de 200 litros do gás Amônia provocou a explosão de uma das câmaras de um frigorífico em Araçatuba, no estado de São Paulo. Para tal acidente, foi necessário o isolamento de um raio de 400 metros e oito pessoas tiveram que ser hospitalizadas.

De maneira remota, também é possível encontrar casos de explosão de cilindros de CO₂ em matérias publicadas em websites na internet devido a alta pressão de funcionamento do CO₂. Em sistemas fechados é imprescindível que haja medidas de segurança apropriadas utilizando dispositivos de monitoramento do sistema, pois se o CO₂ estiver concentrado a um nível em torno de 50.000ppm no ar ambiente, pode causar sufocamento e perda de consciência.

Diante da periculosidade desses gases, fica implícito a importância de sua análise de substituição para que tal empreendimento ofereça o menor risco possível para seus trabalhadores e para a população ao seu redor. Também é necessário que as consequências ambientais sejam mitigadas, para que seja minimizada a possibilidade de ocorrência de danos ao meio ambiente, em caso de acidente com as substâncias utilizadas no empreendimento.

1.3 Objetivo

O objetivo desse trabalho é analisar as características, o impacto ambiental, risco para segurança e os prós e os contras das três tecnologias apresentadas: CO₂, HCFCs e Amônia, apresentando aquela que seria a melhor alternativa para o presente estudo de caso.

Um dos critérios avaliativos a serem explorados durante o trabalho é o risco social e individual para a instalação de Amônia. Para fins de licenciamento

ambiental, o INEA desconsidera o risco que os trabalhadores estão expostos. O órgão entende que os trabalhadores estão cientes da periculosidade e que possuem treinamento para agir em casos de acidente, além de utilizarem os EPIs adequados para proteção contra os riscos inerentes ao empreendimento. Entretanto, se faz necessário mitigar os riscos que a população ao redor do empreendimento está exposta. Para a utilização de Amônia, o risco social corresponde ao risco que a população ao redor estará exposta, para os demais gases, a análise será feita através do levantamento em literaturas.

O risco ambiental propriamente dito também será analisado para as substâncias separadamente. Apesar do HCFC estar sendo banido ao longo dos anos por destruir camada de ozônio, esse gás ainda é utilizado em sistemas de refrigeração. É necessário investigar a fundo os danos que o gás pode causar. O Dióxido de Carbono e a Amônia serão avaliados para que possa permitir uma comparação final, relacionando os riscos ambientais que as substâncias podem oferecer.

No que tange à análise dos riscos envolvendo o uso da Amônia, será considerada a adoção de alternativas de mitigação desses riscos utilizando soluções como a implantação de um sistema de abatimento de Amônia, que nada mais é do que o confinamento das instalações onde há presença de Amônia, direcionando todo o gás que possa vazar das instalações de refrigeração para um sistema de lavagem de gases, neutralizando essa Amônia e evitando a sua dispersão na atmosfera.

Quanto ao método utilizado para gerenciar os riscos da Amônia, será utilizado o Estudo de Análise de Risco (EAR), método mais utilizado atualmente pelas indústrias para a avaliações dessa natureza. Todos os riscos de acidentes e medidas de prevenção dos riscos serão descritos em um relatório. Os conceitos de segurança inerente também serão aplicados para que os riscos sejam mitigados.

Após realizado todos os cálculos e análises, será elaborado um relatório geral, compilando todos os resultados de cada análise. O relatório discutirá os prós e os contras da opção por um sistema de refrigeração utilizando Amônia, levando os critérios avaliativos já citados. Por fim, serão apresentadas sugestões e alternativas que podem ou que poderiam ser implementadas para que haja maior controle do risco que a instalação apresenta.

Esta pesquisa foi realizada para um empreendimento específico e pode ser utilizada como base para empreendimentos similares. Para outros casos, a mesma metodologia deve ser utilizada levando em consideração as suas especificidades.

O uso do relatório poderá ser significativo, caso um outro empreendimento possua um cenário igual ou muito próximo da realidade que está sendo estudada neste trabalho. Isso ocorre, pois o Estudo de Análise de Risco exigido pelo órgão ambiental para liberação da Licença Ambiental, depende muito das características do entorno do empreendimento, podendo concluir pela inviabilidade da execução do projeto. Por exemplo, imagine um frigorífico que armazene 10 toneladas de Amônia, a ser instalado no centro de uma grande cidade, estando cercado de arranha céus, contando com a presença de dezenas de milhares de pessoas na vizinhança. Certamente, a implantação desse empreendimento não será aprovada pelos órgãos ambientais, pois o risco social será inadmissível, com base na legislação ambiental.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os conceitos, técnicas e fundamentos utilizados nesta dissertação precisam ser compreendidos pelo leitor. No capítulo 2 deste trabalho serão abordados brevemente conceitos sobre: Segurança Inerente, Análise Quantitativa de Riscos, Substituição de Tecnologia e breves informações sobre o contexto no qual a substituição de tecnologia se apresenta.

2.1 Segurança Inerente

De acordo com (GENTILE, 2004), segurança inerente é reconhecida como sendo um design útil para remover ou reduzir um certo perigo de uma dada fonte, ao invés de controlá-lo com barreiras protetoras. A segurança inerente é baseada em princípios qualitativos que não podem ser facilmente avaliados e analisados. Essa é a maior dificuldade para aplicação sistemática e para quantificação da segurança inerente em empreendimentos.

De acordo com o dicionário Aurélio, inerente é algo inseparável, que se encontra ligado de modo íntimo e necessário; relativo ao que é próprio de alguém ou ao que está na essência desta pessoa. O dicionário Aurélio define segurança como situação do que está seguro; afastamento do perigo; certeza, confiança.

Um processo químico inerentemente seguro afasta a instalação de perigos por causa de suas características essenciais que pertencem ao processo desde sua natureza (HEIKKILA, 1999).

Como já mencionado, a segurança inerente está compilada em nove princípios primordiais elaborados pela ciência. A formalização dos princípios foi realizada por Kletz em 1984, como uma estratégia para reduzir fontes liberadoras de substâncias perigosas e atingir designs menos perigosos na indústria. Os princípios básicos são baseados em:

- ✓ Intensificação: “What you don’t have, can’t leak”. Pequenos inventários de materiais perigosos reduzem as consequências de vazamentos. Inventários podem ser reduzidos em quase todas unidades de operação, assim como em armazenamento. Esta ação também reduz o custo, uma vez que menos material implica menores estruturas;

- ✓ Substituição: Caso a intensificação não seja possível, umas das alternativas é a substituição. Talvez seja possível trocar um gás refrigerante inflamável por um não inflamável, produtos perigosos por produtos menos perigosos, e processos que usam matéria prima perigosa por não perigosas. Usar materiais mais seguros ao invés de perigosos diminui a necessidade de se comprar equipamentos de proteção, o que faz com que os custos e os riscos também diminuam;
- ✓ Atenuação: Caso a intensificação e substituição não forem possíveis e/ou impraticáveis, uma alternativa é a atenuação. O significado de atenuação neste contexto é carregar materiais perigosos em condições do ambiente menos perigosas, conseqüentemente com menores riscos de acidente;
- ✓ Limitação de efeitos: Caso não seja possível fazer um projeto mais seguro através da intensificação, substituição ou atenuação, os efeitos de um acidente devem ser limitados. Um exemplo para o caso é um equipamento que foi desenhado para que, em caso de vazamento, o fluxo da substância perigosa seja baixo e fácil de ser contido. Limitação dos efeitos devem ser obtidos através do design do equipamento ou da mudança nas condições de reação, ao invés de se adicionar equipamentos de proteção.
- ✓ Simplificação: Projetos mais simples são inerentemente mais seguros do que projetos complexos. A razão é porque eles proporcionam menos oportunidades para falhas e possuem menos equipamentos que podem estar suscetíveis a falhas. Projetos mais simples são normalmente mais baratos e mais seguros.
- ✓ “*Change early*”: O termo em inglês significa que a identificação dos perigos deve ocorrer o mais cedo possível, ainda no processo escolha do local de implantação do empreendimento, na fase de escolha do design, durante a concepção do projeto. A identificação realizada o mais cedo possível pode contribuir positivamente para redução do custo e/ou dos riscos do empreendimento, ao ser adotado um novo processo, atentando para a correção dos problemas identificados, e/ou até sinalizar para a impossibilidade da implantação de um determinado projeto, evitando assim que seja realizado um investimento que posteriormente será

inviabilizado em decorrência da restrição por parte de órgãos ambientais. A identificação antecipada pode ser alcançada no processo através de uma avaliação das questões relacionadas à segurança, usando metodologias que analisam os processos preliminares referentes a um determinado projeto.

- ✓ Prevenir efeito-dominó: Projetos inerentemente seguros são projetados para que efeitos-dominós não ocorram. Por exemplo: Se um projeto possui material inflamável, pode ser que seja viável construir as instalações ao ar livre, para que em caso de vazamento o gás inflamável possa ser dispersado através da ventilação natural.
- ✓ “*Making Status Clear*”: Neste princípio, as instalações escolhidas devem ser de fácil uso e operação, devem existir mostradores de fácil interpretação e que mostram se um determinado equipamento está instalado corretamente ou se está ligado ou desligado. Esse princípio refere-se à ergonomia do projeto. Os produtos químicos envolvidos no processo também devem estar claramente identificados para que os trabalhadores possam ver e identificar possíveis perigos.
- ✓ Tolerância: Os equipamentos que compõem uma determinada instalação devem ser capazes de tolerar instalações em más e/ou difíceis condições de conservação e/ou de funcionamento, dentre outras situações críticas. Exemplo: Materiais empregados na construção de uma determinada instalação devem ser capazes de resistir à corrosão, a intempéries e a condições físicas ruins. Nesse sentido, em regra, para a maioria das aplicações, estruturas metálicas se mostram mais seguras do que vidro, plástico ou concreto.

Um ISD deve conter os princípios mencionados acima. Eles também devem cobrir todo o processo de design do projeto. Em estágios preliminares do projeto, esses princípios ajudam escolher as tecnologias e materiais mais seguros. (HEIKKIL, 1999)

Os conceitos de segurança inerente são basicamente voltados para melhorar o gerenciamento de risco, principalmente reduzindo a frequência e a consequência de possíveis acidentes.

Mesmo diante da falta de metodologia para implementação da segurança inerente, existem diversas pesquisas que tentam resolver os problemas de quantificação. Para análise de químicos, como será feito nesta dissertação, a metodologia mais recomendada é o índice de segurança inerente para processos químicos.

Tal metodologia foi desenvolvida por Lawrence (1996). Ele cita que para se obter o maior benefício possível da segurança inerente é necessário que os perigos sejam identificados e eliminados no início do processo de ciclo de vida. Para realizar a metodologia de segurança inerente feita por Lawrence, se faz necessário ter acesso ao primeiro estágio de desenvolvimento do processo, substituindo matérias primas e reações químicas, com o objetivo de reduzir riscos. (GENTILE, 2004)

Segundo Mansfield (1994), é crucial que indústrias que estão em constante crescimento fiquem atentas para a saúde no ciclo de vida, para a segurança e para os aspectos ambientais. Por esta razão, Heikkil (1999) afirma que é um dever dos pesquisadores explorar o conceito de SMS (Segurança, Meio Ambiente e Saúde), especialmente no que tange à legislação, para que não ocorram situações de conflito.

As aplicações dos conceitos de segurança inerente são fundamentais para que empreendedores possam tomar as decisões prudentes durante todo o processo de construção de uma planta de refrigeração. A intensificação permite que o empreendedor defina a quantidade de material que será necessário ser estocado, dessa forma ele pode definir o tamanho da instalação que vai atender as suas necessidades. Essa medida evita que o empreendedor opte por uma instalação maior do que a necessária e utilize mais fluido refrigerante do que o mínimo necessário, cortando gastos e diminuindo os riscos da instalação. Em casos nos quais já existe uma instalação em funcionamento, pode-se optar pela substituição da tecnologia, que será economicamente viável ocorrer caso um fluido menos perigoso tenha eficiência semelhante em relação ao fluido que está sendo usado.

Quando a substituição não é viável, é importante atenuar o ambiente onde o fluido refrigerante estará presente. Exemplo: as substâncias inflamáveis não podem funcionar em locais onde ocorrem queimas ou em altas temperaturas, para evitar um incêndio. A técnica de limitação de efeitos confunde-se com a atenuação, porém sua aplicação está voltada ao design da instalação. Exemplo: Em casos de utilização de

Amônia na refrigeração, construir um galpão que possua poucas aberturas para a atmosfera, possibilitando a retenção da maior parte do gás dentro do galpão. Entretanto, é necessário que os funcionários que trabalham dentro do galpão tenham fácil acesso a uma saída de emergência, pois em caso de vazamento de Amônia dentro do galpão, eles estarão mais suscetíveis à intoxicação e à morte.

A simplificação dos processos também é muito importante para qualquer tipo de processo químico, pois em processos mais simples é menos provável que ocorram falhas no sistema. O *change early* para este estudo de caso é um dos princípios mais importantes, pois está relacionado com o conceito de prevenção. Se o fluido da câmara frigorífica fosse escolhido antes da sua construção, o empreendedor teria noção da dimensão do risco da instalação, e por conseguinte escolheria o local mais apropriado para as câmaras, evitando que um acidente pudesse atingir as ocupações sensíveis. No desfecho desta dissertação será possível entender porque o funcionamento da instalação deste estudo de caso se tornou inviável, e que para obter a licença ambiental seriam necessárias medidas mitigadoras de risco.

A prevenção de efeito dominó é o princípio de Kletz que evita explosões e acidentes em cadeia. O único fluido, dentre os três fluidos considerados, que pode alcançar uma concentração inflamável é a Amônia, porém, em altas concentrações em relação ao ar (15 a 28%). Logo, explosão em cadeia é um cenário de acidente muito improvável para a instalação. *Making Status Clear* contribui para que o trabalhador seja alertado de possíveis irregularidades da instalação, incluindo vazamentos. No exemplo utilizado para o princípio de limitação de efeitos seria imprescindível a utilização do *Making Status Clear*, pois o trabalhador que atua dentro do galpão das câmaras precisaria ser um dos primeiros a ser alertado sobre vazamentos de Amônia. Por último, a tolerância é muito importante para as instalações que utilizam o Dióxido de Carbono, devido a suas altas pressões de funcionamento que colocam em risco o material que compõe os tanques e as tubulações.

2.1.1 Substituição de Tecnologia

O aspecto mais relevante para que ocorra a redução do risco no processo químico é a escolha dos tipos de produtos químicos que resultarão em um processo inerentemente seguro. De acordo com (GENTILE, 2004), para a escolha de produtos

químicos seguros é necessário investigar outras variáveis além de toxicidade, da reatividade e da inflamabilidade. A análise das quantidades dos produtos químicos que serão utilizados, como será feito o transporte dos produtos químicos, quando é necessário fazer reposição, além dos aspectos ambientais relacionados ao uso desses produtos químicos são algumas das variáveis que podem definir os níveis de segurança relacionados aos produtos químicos a serem utilizados. Por exemplo, um dos químicos em questão é muito tóxico e inflamável, porém é muito fácil de ser encontrado na região e só exige reposição uma vez em cada dois anos. Já o outro produto químico analisado é menos eficiente, exige reposição duas vezes ao ano e apresenta características menos perigosas ao ser humano, apesar de ser relativamente poluente ao meio ambiente.

Em seu trabalho de substituição de tecnologias em sistemas industriais aplicado ao uso eficiente de energia, SOLA (2011) cita algumas limitações que um projeto pode enfrentar ao se tentar realizar uma substituição de tecnologia. De acordo com ele, o processo de substituição de tecnologias em operação para um determinado processo produtivo depende da transposição de barreiras organizacionais. No que se relaciona com a melhoria da eficiência energética de empresas, Solo afirma que falta consciência e conhecimento a respeito do potencial de economia que uma substituição de tecnologia pode gerar. Isso mostra a falta de envolvimento de todos os setores da organização no processo decisório relativo ao uso de energia.

2.2 Análise Quantitativa de Riscos

De acordo com o guia da *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK) o risco de um projeto é um evento ou uma condição incerta que, se ocorrer, terá um efeito positivo ou negativo em pelo menos um objetivo do projeto.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005) discorre que, no que se refere a risco, deve ser avaliada a probabilidade de um evento e as suas consequências associadas no contexto dos controles existentes, bem como a magnitude dessas consequências.

Uma organização também está sujeita a riscos organizacionais. A administração pode apresentar falhas mais específicas como falta de liderança, fraco controle sobre mudanças, estimativas imprecisas, aplicação fraca de ferramentas de

administração de projetos. Estas são características da organização que geram motivos para o não atingimento de objetivos, a despeito da existência de um bom sistema para gerenciamento de projetos. (FORTES, 2011)

LIMA (2006) afirma que a aceitação dos riscos só pode ser analisada a partir de uma relação interdisciplinar entre o conhecimento técnico existente sobre ele e normas culturais que definem critérios importantes para a manutenção do bem-estar em determinada comunidade.

Serpa (2002) afirma que a análise, a avaliação e o gerenciamento de riscos são três processos distintos. Segundo ele, a análise é uma atividade estimativa, qualitativa ou quantitativa do risco, baseada na engenharia de avaliação e em técnicas estruturadas para promover a combinação das frequências e das consequências de um acidente. Por outro lado, a avaliação de riscos diz respeito ao processo que utiliza os resultados da análise desses riscos para a tomada de decisão quanto ao gerenciamento dos mesmos, por meio da comparação dos resultados das análises com critérios previamente estabelecidos. E, por fim, gerenciamento de riscos está associado à formulação e implantação de medidas e de procedimentos, técnicos e/ou administrativos, que têm por finalidade prevenir, controlar e/ou reduzir os riscos existentes numa instalação industrial, tendo também por objetivo manter essa instalação operando dentro de requisitos de segurança considerados toleráveis pelos órgãos ambientais e públicos competentes e pelas normas técnicas pertinentes.

LIMA (2006) cita em seu documento que o licenciamento ambiental é o principal instrumento de gestão de riscos aplicado no país. Além do licenciamento, LIMA ressalta que outros instrumentos também podem ser citados como gerenciadores de riscos, como o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental.

O sistema de refrigeração que está sendo estudado está situado no estado do Rio de Janeiro. As normas técnicas e a legislação a serem seguidas são determinadas pelo INEA, órgão regulador ambiental do estado do Rio de Janeiro.

O site do INEA discorre que o licenciamento ambiental é o procedimento administrativo por meio do qual o órgão ambiental autoriza a localização, a instalação, a ampliação e/ou a operação de empreendimentos e de atividades

utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores, ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental.

O Sistema de Licenciamento Ambiental (SLAM) instituído pelo Decreto Estadual nº 42.159, de 2 de dezembro de 2009, menciona os seguintes instrumentos e definições relevantes para este trabalho:

Licença ambiental é um ato administrativo mediante o qual o órgão ambiental estabelece as condições, restrições e medidas de controle ambiental que devem ser obedecidas na localização, instalação, ampliação e operação de empreendimentos ou atividades considerados efetiva ou potencialmente poluidores ou para aqueles empreendimentos ou atividades que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, tais como:

a) Licença Prévia (LP): ato administrativo mediante o qual o órgão ambiental, na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade, aprova sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implantação.

b) Licença de Instalação (LI): ato administrativo mediante o qual o órgão ambiental autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes, da qual constituem motivo determinante. A LI pode autorizar a pré-operação, por prazo especificado na licença, visando à obtenção de dados e elementos de desempenho necessários para subsidiar a concessão da Licença de Operação.

c) Licença de Operação (LO): ato administrativo mediante o qual o órgão ambiental autoriza a operação de atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta nas licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e demais condicionantes determinadas para a operação.

d) Licença Ambiental Simplificada (LAS): ato administrativo mediante o qual o órgão ambiental, em uma única fase, atesta a viabilidade ambiental, aprova a localização e autoriza a implantação e/ou a operação de empreendimentos ou atividades enquadradas na Classe 2, definida de acordo com a Tabela 1, constante

do Capítulo III deste Decreto, estabelecendo as condições e medidas de controle ambiental que deverão ser observadas.

e) Licença Prévia e de Instalação (LPI): ato administrativo mediante o qual o órgão ambiental, em uma única fase, atesta a viabilidade ambiental e aprova a implantação de empreendimentos ou atividades, estabelecendo as condições e medidas de controle ambiental que deverão ser observadas nos casos especificados no Art. 12 deste Decreto.

f) Licença de Instalação e de Operação (LIO): ato administrativo mediante o qual o órgão ambiental aprova, concomitantemente, a instalação e a operação de atividade ou empreendimento, estabelecendo as condições e medidas de controle ambiental que devem ser observadas na sua implantação e funcionamento, nos casos especificados no Art. 13 deste Decreto.

g) Licença Ambiental de Recuperação (LAR): ato administrativo mediante o qual o órgão ambiental aprova a remediação, recuperação, descontaminação ou eliminação de passivo ambiental existente, na medida do possível e de acordo com os padrões técnicos exigíveis, em especial aqueles em empreendimentos ou atividades fechados, desativados ou abandonados.

h) Licença de Operação e Recuperação (LOR): ato administrativo mediante o qual o órgão ambiental autoriza a operação da atividade ou empreendimento concomitante à recuperação ambiental de passivo existente em sua área, caso não haja risco à saúde da população e dos trabalhadores.

i) Documento de Averbação: ato administrativo mediante o qual o órgão ambiental altera dados constantes de Licença ou Autorização Ambiental.

Visto que o empreendimento em questão já possui licença ambiental do tipo LAS, que está para ser renovada, e que as mudanças a serem implementadas nas instalações da empresa implicam alteração da classe de licenciamento no qual se enquadra o empreendimento, elevando os riscos ambientais inerentes às instalações de forma relevante, o procedimento cabível para a empresa seria a solicitação de uma LIO, para que possa continuar operando até que as novas instalações sejam construídas e aprovadas para início de operação pelo órgão ambiental. Uma averbação da Licença Ambiental existente seria pertinente se as mudanças realizadas não implicassem na alteração da classe do licenciamento.

O artigo 3º do decreto discorre que estão sujeitos ao licenciamento ambiental os empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, considerados como sendo efetiva e potencialmente poluidores, bem como os capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental.

Em norma interna, o INEA apresenta as substâncias de usos mais frequentes, cujas propriedades são relevantes para o licenciamento ambiental, indicando as quantidades máximas de massa para uso, sendo que o uso em empreendimentos de quantidades dessas substâncias acima dos valores máximos determinados implica necessidade de adotar determinadas medidas mitigadoras de risco. E somente após a aprovação dessas medidas mitigadoras de risco, o INEA aprovará a Licença Ambiental do empreendimento. (INEA, 2014)

 instituto estadual do ambiente	IDENTIFICAÇÃO E GERENCIAMENTO DE ATIVIDADES DE RISCO MENOR
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------

SUBSTÂNCIA	CAS	UN	Massa Específica a 20°C (kg/L)	Pvap a 20°C (mmHg)	IDLH (ppm)	Ponto de Fulgor (°C)	Massa Mínima de Referência	
							Por recipiente (kg)	Por grupo de recipientes (kg)
álcool isobutílico	78-83-1	1212	0,80	9	1.600	27,8	NA	25.000
álcool metílico	67-56-1	1230	0,79	96	6.000	11,1	NA	25.000
amíl metil cetona	110-43-0	1110	0,81	3	800	38,9	NA	25.000
amônia anidra	7664-41-7	1005	0,0007	G	300	G	100	500
amônia anidra	7664-41-7	1005	0,61	GL	300	GL	500	2.500
anidrido acético	108-24-7	1715	1,06	4	200	48,9	NA	25.000
anilina	62-53-3	1547	1,02	0,6	100	70,0	NA	NA
arsina	7784-42-1	2188	0,00324	G	3	G	50	500
asfalto diluído (cura rápida) valores adotados	-	-	0,70	40	-	27,0	NA	25.000
asfalto diluído (cura média) (valores adotados)	-	-	0,70	40	-	38,0	NA	25.000
benzeno	71-43-2	1114	0,88	75	500	-11,1	2.000	25.000
benzenotol	108-98-5	2337	1,06	1	-	55,6	NA	25.000
brometo de etila	74-96-4	1891	1,46	375	2.000	-15,6	2.000	5.000
brometo de hidrogênio, anidro	10035-10-6	1048	0,00332	G	30	NA	50	NA
brometo de hidrogênio, anidro	10035-10-6	1048	1,72	GL	30	NA	250	NA
brometo de metila	74-83-9	1062	1,73	GL	250	NA	500	NA
bromo	7726-95-6	1744	3,12	172	3	NA	500	NA
bromoclorometano	74-97-5	1887	1,93	115	2.000	NA	2.000	NA
bromofórmio	75-25-2	2515	2,89	5	850	NA	NA	NA
bromotrifluormetano	75-63-8	1009	0,00619	G	40.000	NA	NA	NA
1,3-butadieno	106-99-0	1010	0,00222	G	10.000	G	NA	500
1,3-butadieno	106-99-0	1010	0,62	GL	10.000	GL	NA	2.500
iso-butano	75-28-5	1011	0,00248	G	-	G	NA	500
n-butano	106-97-8	1011	0,00239	G	-	G	NA	500
n-butano	106-97-8	1011	0,58	GL	-	GL	NA	2.500
n-butanol	71-36-3	1120	0,81	6	1.600	28,9	NA	25.000
sec-butanol	78-92-2	1120	0,81	12	2.000	23,9	5.000	25.000
tert-butanol	75-65-0	1120	0,79	40	1.600	11,1	5.000	25.000
2-butanona	78-93-3	1193	0,81	78	3.000	-8,9	NA	25.000
1-buteno	25167-67-3	1012	0,0023	G	-	G	NA	500
1-buteno	25167-67-3	1012	0,59	GL	-	GL	NA	2.500
n-butil mercaptan	109-79-5	2347	0,83	35	500	1,7	2.000	25.000
p-tert-butil tolueno	98-51-1	2667	0,86	0,7	100	68,3	NA	NA
n-butilamina	109-73-9	1125	0,74	82	300	-12,2	2.000	25.000
2-butoxi etanol	111-76-2	2369	0,90	0,8	700	61,7	NA	NA
carbometeno	463-51-4	-	0,00175	G	5	G	50	500
claneto de hidrogênio	74-90-8	1051	0,00111	G	50	-17,8	50	5.000
claneto de hidrogênio	74-90-8	1051	0,69	GL	50	-17,8	250	5.000

Figura 2-1 – Propriedades e limites de quantidade uso da Amônia de forma segura. (INEA, 2014)

De acordo com o INEA, para o uso de substâncias ultrapassando as quantidades limites determinadas na referida tabela, deve ser elaborado um relatório de segurança contendo a seguinte informação: Descrição da atividade; Identificação dos sistemas; Substâncias tóxicas, combustíveis de classe II ou inflamáveis armazenadas e/ou manipuladas na atividade em questão; Descrição dos sistemas de controle; Descrição dos sistemas de segurança e de combate à emergência; Normas aplicáveis à atividade; Características da região; Avaliação/Conclusão; Sugestões.

Todas as informações citadas acima fazem parte do estudo de análise de risco que é integrado ao licenciamento ambiental, quando uma instalação ultrapassa os limites máximos estabelecidos pela tabela do INEA denominada Identificação e Gerenciamento de Atividades de Risco Menor.

AQRs auxiliam a exemplificar o risco que uma instalação industrial pode causar e ajuda o empreendedor a tomar decisões que diminuam o risco para os níveis de tolerabilidade (VROM, 2005).

Segundo documento elaborado para o Ministério do Meio Ambiente (DINIZ, F.; OLIVEIRA, L. F.; BARDY, M.; VISCO, N., 2006), para realizar uma análise quantitativa de riscos é necessário primeiro definir um sistema e mapear a abrangência do estudo. Em seguida é feita uma avaliação das consequências, frequências e riscos. Caso os riscos sejam aceitáveis, deve ser realizado um plano de gerenciamento de risco e um plano de ação de emergência, para os cenários esperados relativos a ocorrências de acidentes. Abaixo encontra-se um fluxograma ilustrativo de uma estrutura de AQR:

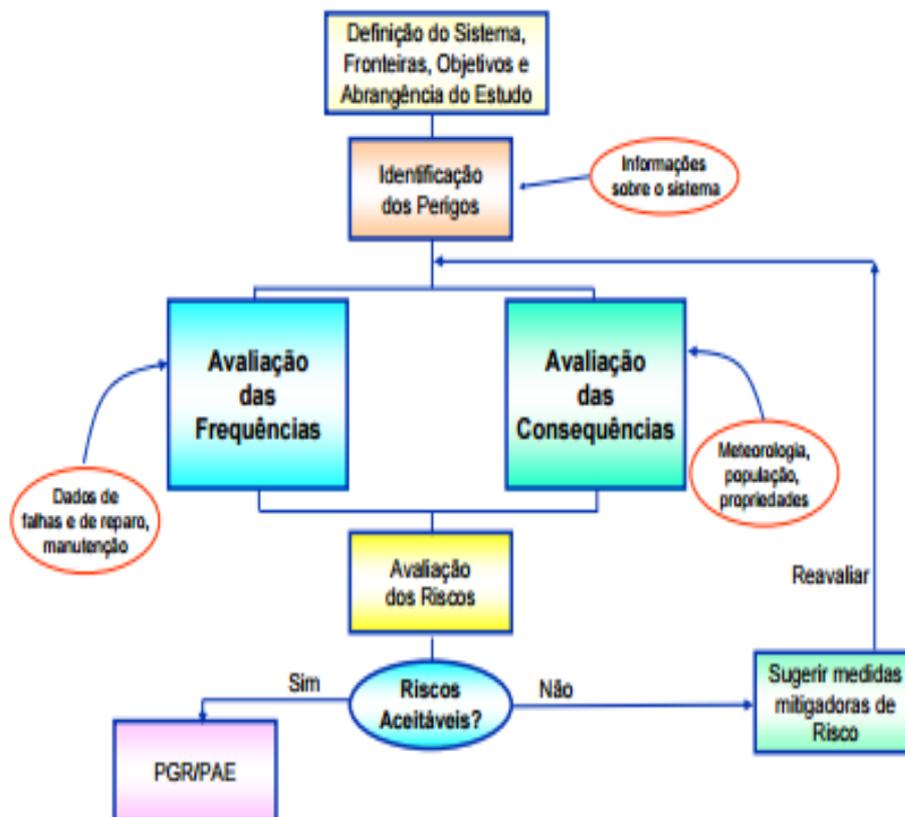


Figura 2-2 – Estrutura de uma AQR (Fonte: DINIZ, F.; OLIVEIRA, L. F.; BARDY, M.; VISCO, N. 2006)

Confirmando a relevância dos riscos encontrados, no estudo de caso em questão, com base nos dados fornecidos pelo INEA, Nardocci (1999) afirma que a identificação de perigo consiste basicamente no levantamento de todas as informações possíveis sobre o agente, suas propriedades físico-químicas, toxicológicas e outras que o tornam preocupante do ponto de vista da saúde humana. As informações podem ser colhidas diretamente de estudos clínicos ou epidemiológicos, ou indiretamente através de bioensaios. No caso de agentes químicos, é possível inferir suas propriedades químicas e toxicológicas, baseando-se na sua estrutura química (NARDOCCI, 1999).

Antes de passar para a etapa de Identificação de Perigos, a CETESB (2003) afirma que é necessário que seja feita uma descrição da instalação, região e identificação de todos os fatores que podem intervir na instalação.

Para a Identificação de Perigos podem ser utilizados diversos métodos. Os métodos mais utilizados são: Análise de Preliminar de Perigos (APP) e Análise de

Perigos e Operabilidade (Hazard and Operability Analysis - HAZOP). Outros métodos também são utilizados:

- ✓ Listas de verificação (check list)
- ✓ Análise "E Se?"
- ✓ Análise de Modos de Falhas e Efeitos (Failure Modes and Effects Analysis - FMEA)

Como prever os perigos e os riscos de uma instalação industrial é a chave para o Gerenciamento de Riscos. Segundo Less (1996), a identificação dos perigos é importante e representa apenas metade do caminho a ser percorrido para a prevenção de acidentes.

Antes de avançar para a avaliação das consequências, é necessário escolher quais hipóteses acidentais são relevantes para serem avaliadas na AQR. A relevância dependerá das severidades que as hipóteses acidentais podem implicar.

A estimativa de consequências é realizada para as hipóteses que foram escolhidas para serem investigadas. A análise de consequência investiga quatro principais fatores de acordo com Arendt e Lorenzo (2000):

- a) Caracterizar a fonte de vazamento de produto ou de energia associada aos perigos a serem analisados;
- b) Mensurar, por meio de experimentos, ou estimar, por meio de modelos e correlações o transporte de material e/ou a propagação de energia no ambiente de interesse;
- c) Identificar os efeitos da propagação de material e/ou energia no ambiente de interesse;
- d) Quantificar os impactos econômicos, à saúde, à segurança ou ao meio ambiente.

Para facilitar a estimativa de consequências, Eisenberg (1975) criou a equação de Probit, para que os efeitos das curvas de dose e de resposta de químicos pudessem ser utilizados em função de probabilidades de morte. Nesta dissertação, a equação auxilia a encontrar a concentração de Amônia que atingirá os pontos de IDLH (*Immediately Dangerous to Life or Health*), para 1% e 50% de mortes.

Os modelos matemáticos utilizados na avaliação de frequência são: árvore de eventos e árvore de falhas. As árvores de eventos representam sequencialmente o que pode ocorrer e o que pode causar. Ela é ramificada toda vez que ocorre uma falha ou sucesso de um evento mencionado. De acordo com Wiley e Sons, 2003, também é possível incluir dados como direção do vento, detonação, probabilidade de ignição e período do dia.

No que tange às questões meteorológicas, havendo possibilidade de elaborar um estudo meteorológico personalizado para o local do empreendimento, com base em dados registrados por possíveis estações meteorológicas instaladas nas proximidades do empreendimento em estudo, é possível alcançar valores mais realistas na avaliação das consequências. Por exemplo, se os ventos predominantes para o local estudado se concentram de forma relevante em uma determinada direção, na maior parte do ano, a região em direção a qual os ventos sopram de forma relevante estarão mais propensas a serem atingidas em caso de acidentes, com maior concentração da substância dispersa em relação às áreas situadas na direção oposta.

A árvore de eventos consiste em uma técnica utilizada para analisar consequências de um evento indesejado, através da descrição da seqüência temporal dos fatos. As árvores de eventos são normalmente utilizadas nos estudos de análise e avaliação de riscos para quantificar as frequências de ocorrências de diferentes cenários possíveis de ocorrer, a partir de eventos iniciais considerados como sendo mais significativos. Para determinar da frequência de ocorrência de um evento final se faz necessário realizar o produto de todas as probabilidades dos ramos anteriormente percorridos.

Já as árvores de falhas, por sua vez, representam um encadeamento de falhas que podem ocorrer durante a atuação de medidas mitigadoras, por exemplo: A árvore de falhas começa com um evento topo, evento esse que poderia causar uma falha particular. Esse evento ramifica-se através de níveis mais baixos de ocorrência de eventos, até atingir as causas básicas de falha. A ramificação de uma árvore de falhas ocorre por meio de portões lógicos (portões “E” ou “OU”) situados nas interseções da árvore. Estes portões definem a relação causal entre os eventos (NUREG, 1981).

Por fim, a avaliação de riscos calcula e verifica se os riscos encontrados estão dentro dos limites de tolerabilidade do risco individual e do risco social.

2.2.1 Risco Social

O risco social é uma medida do risco para o grupo constituído por toda a comunidade exposta aos efeitos do acidente. Relaciona os danos que podem ser causados sobre a comunidade exposta ao efeito e as frequências esperadas dos respectivos eventos (CCPS, 1989).

Para se obter o cálculo do Risco Social Médio, é necessário realizar o somatório das frequências e consequências de cada cenário diferente:

$$\text{Risco Social Médio} = \sum_i \sum_s f_{is} C_{is} \quad (1)$$

Onde:

f_{is} = frequência anual esperada de ocorrência do s-ésima sequência do i-ésimo evento iniciador de acidente.

C_{is} = consequências esperadas do cenário de acidente definido pela s-ésima sequência do i-ésimo evento iniciador de acidente.

A representação do risco social é feita pelas curvas F-N, sendo F a frequência e N número de fatalidades. As curvas F-N geradas representam a frequência esperada de acidentes e uma estimativa do número de vítimas correspondentes a um dado valor de frequência.

Os cálculos realizados neste trabalho para obtermos os valores do risco social e do risco individual que envolvem o uso da Amônia foram desenvolvidos através do uso do programa PHAST 7.01 da DNV e de de planilhas de Excel.

O programa PHAST 7.01 da DNV é um software dos mais completos existentes no mercado utilizados em análise de processos industriais perigosos, no âmbito internacional. Essa ferramenta pode ser utilizada para todos os estágios de design e operação e permite uma avaliação detalhada dos perigosos que uma instalação pode representar para seu entorno, sendo também uma ferramenta útil na redução de risco ou na elaboração de projetos técnicos dessas instalações. O software PHAST examina o progresso de um potencial acidente desde o início, até sua dispersão máxima, incluindo o espalhamento do produto, sua evaporação, sua

flamabilidade e seus efeitos tóxicos. O programa é utilizado por cerca de 800 organizações por todo o mundo. Empresas e governos do mundo inteiro têm aceitado o PHAST como o software mais usado em sua categoria no mundo. A utilização desta ferramenta traz confiança tanto para a alta administração da indústria, encarregada de tomar as decisões de riscos, assim como para as agências governamentais que revisam estes estudos.

Para o uso programa PHAST é necessário descrever de forma minuciosa o layout da instalação estudada, incluindo o isométrico, os dispositivos de segurança e a arquitetura das edificações, também é necessário definir uma malha de cálculo para área da instalação. Outro dado importante para viabilizar o uso do software é a caracterização detalhada do entorno do empreendimento, incluindo demografia, tipos de habitação e ocupações sensíveis, rugosidade do terreno e dados meteorológicos. O software calcula as consequências para cada malha de cálculo que corresponde a uma região da instalação, sendo de extrema relevância as malhas de distribuição populacional e de distribuição espacial dos possíveis pontos de ignição que são mapeados pelo usuário ao analisar a vizinhança e a instalação. Os cálculos fornecem um levantamento das consequências para os cenários gerados para cada acidente distinto.

Após a utilização do programa PHAST para a obtenção dos alcances e das consequências para os eventos estimados, utiliza-se a ferramenta da árvore de eventos para obtenção das frequências relacionadas aos cenários previstos e considerados. De posse dos valores dos alcances, das respectivas consequências e frequências, utiliza-se as planilhas de Excel para o cálculo do Risco Social e do Risco Individual.

A construção das curvas F-N, relacionada ao Risco Social, é feita estabelecendo-se níveis de fatalidade de interesse, por exemplo 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50 fatalidades, e em seguida compilando-se os cenários que levam a um número de vítimas fatais maior ou igual a cada um dos valores determinados. Para cada nível de fatalidades, somam-se as frequências dos cenários que igualam ou ultrapassam aquele nível, obtendo-se pares ordenados de frequências versus fatalidades (F x N). Traçando esses pares de valores num gráfico, e unindo-se os pontos, obtém-se a chamada "Curva F N" da unidade em análise.

Através do gráfico traçado pelo software, é possível verificar se o risco social está dentro dos padrões estabelecidos pelos órgãos ambientais e demais normativas, e com esta análise, propor medidas de mitigação para reduzir os riscos.

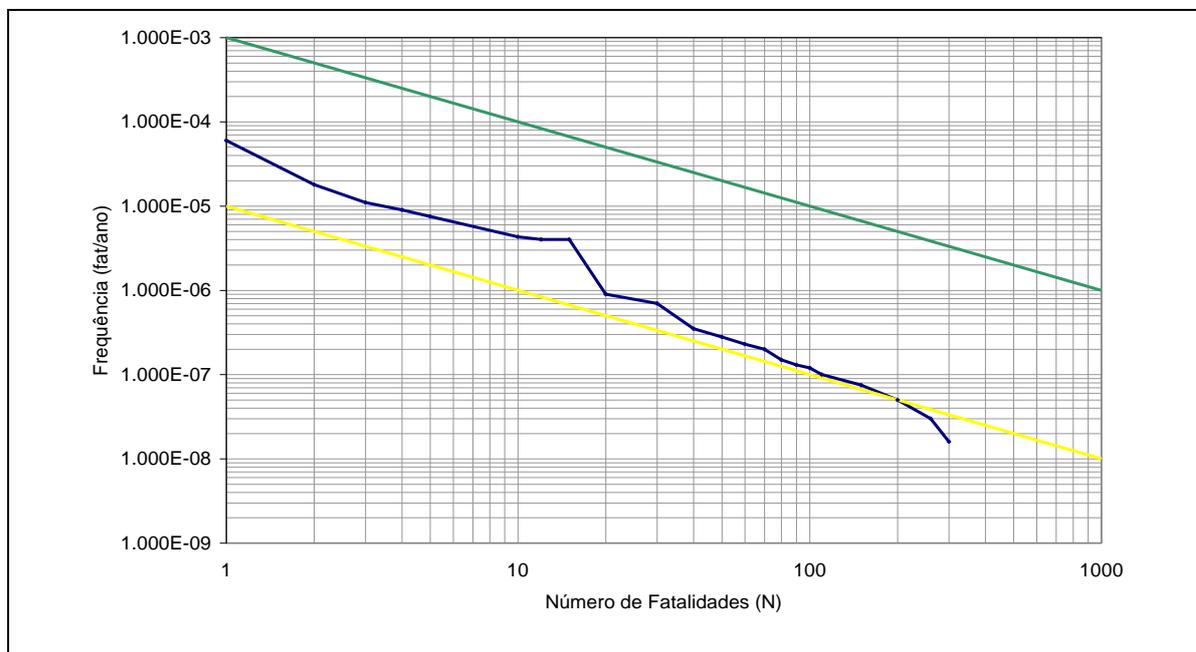


Figura 2-3: Ilustração de uma curva FN

Analisando o gráfico gerado pelo uso das planilhas de Excel, para um determinado empreendimento, é possível verificar se a curva F-N referente a esse empreendimento se encontra numa região irrelevante. Isto é, se está posicionada abaixo da linha amarela no gráfico, se foi encontrada na região tolerável, entre a linha amarela e a linha verde, ou ainda se está situada na região intolerável, acima da linha verde.

Caso a curva F-N de um determinado empreendimento esteja situada acima da linha inferior, será necessário adotar medidas para prevenção e redução de riscos, segundo os parâmetros adotados pelo INEA. Ressalta-se que os limites de riscos relacionados às curvas F-N são estabelecidos com base nas legislações ambientais aplicáveis, podendo esses limites apresentar variações dependendo do órgão ambiental responsável pela análise do processo de licenciamento ambiental. Por exemplo, a FEPAM, órgão ambiental do estado Rio Grande do Sul, pode adotar como aceitável os riscos contidos no intervalo situado entre os limites superiores e inferiores do gráfico das curvas F-N, dependendo de certas condicionantes, desde

que a instalação seja antiga e que seja inviável a redução dos riscos inerentes ao empreendimento.

2.2.2 Risco Individual

O risco individual reflete a probabilidade anual de morte de um indivíduo situado na área de influência dos efeitos dos cenários acidentais postuladas. A sua representação é feita pelas linhas de iso-risco como na figura abaixo:

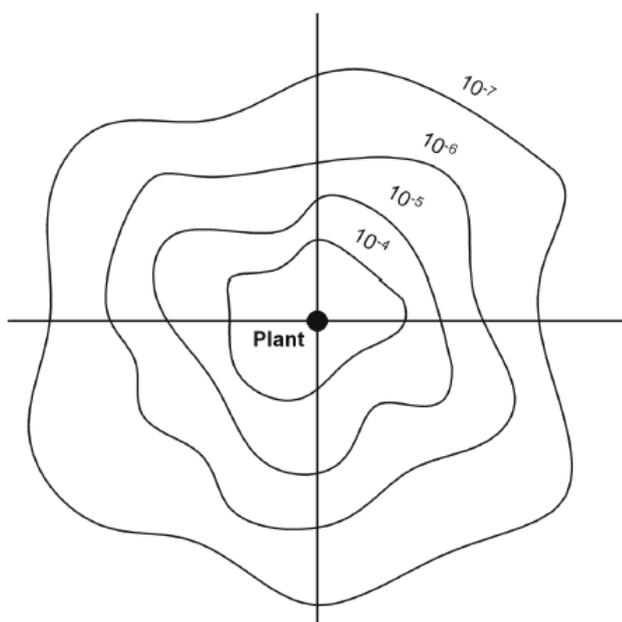


Figura 2-4: Ilustração das linhas de iso-risco

A observação dos contornos de iso-risco indica que o nível de risco individual de 10^{-6} /ano, considerado pelo INEA como limite de aceitabilidade para instalações novas, atinge ocupações sensíveis no entorno da instalação. Ou seja, caso exista qualquer ocupação sensível dentro do contorno de iso-risco de 10^{-6} /ano, o risco será considerado inaceitável pelo INEA, sendo necessária a realização de medidas para diminuição do risco.

As linhas de iso-risco dependem da localização das áreas residenciais, e, em casos extremos, quando não existe área residencial alguma localizada perto da instalação, não há necessidade de se fazer o cálculo das linhas de iso-risco (VROM, 2005).

3 METODOLOGIA

O objetivo principal deste capítulo é abordar os parâmetros que serão utilizados na comparação entre as três tecnologias mencionadas anteriormente, sendo elas as instalações que utilizam Amônia, HCFC e CO₂.

No que tange ao uso da Amônia, serão abordadas a análise de risco individual e a análise de risco ambiental. A análise de risco ambiental é estabelecida através da literatura, e suas principais características serão abordadas na própria metodologia. O EAR é utilizado nesta dissertação como ferramenta para fazer o comparativo de riscos da Amônia, já que o INEA solicitou o estudo à empresa.

É extremamente necessário ressaltar neste capítulo que o EAR referente ao caso em estudo somente foi elaborado após o início da construção das novas câmaras frigoríficas, desprezando assim, a importância do design na redução dos riscos.

O ODP e o GWP serão utilizados para comparar o risco ambiental inerente ao uso de cada gás, sendo este o “*Global Warming Potential*” e aquele “*Ozone Depletion Potential*”. O ODP representa o índice de dano que uma substância pode causar à camada de ozônio. Seu índice varia de 0 a 1, sendo 0 a ausência de impacto. O GWP representa o quanto uma substância contribui para o efeito estufa e para o aquecimento global. O gás de referência para o cálculo é o CO₂, sendo que o seu efeito representa o número 1 no padrão. Quanto maior o GWP, maior o impacto sobre o aquecimento global.

3.1 Instalação com gás refrigerante Amônia

Nesta seção apresenta uma descrição da instalação e equipamentos que a instalação do estudo de caso utiliza, e o custo de instalação aproximado. Por fim, uma descrição do risco ambiental que a Amônia possui.

3.1.1 Descrição da instalação de refrigeração de gás Amônia

De acordo com a Empreiteira, prestadora de serviços de elaboração de projetos e de construção de instalações frigoríficas, o sistema de refrigeração em análise possui 18 câmaras frigoríficas:

- ✓ 9 câmaras responsáveis somente por isolamento térmico, sendo que as dimensões internas dessas câmaras podem variar entre: 10.44 x 5.90 x 14.10 metros até 37.39 x 11.02 x 6.50 metros. Os pisos podem ser isentos de sistema de isolamento ou podem possuir isolamento com 100 mm ou até 200 mm de espessura. Os tetos das 9 câmaras são confeccionados com materiais isolantes térmicos e com espessura variando entre 100 mm a 200 mm.
- ✓ 1 câmara de climatização com temperatura ambiente de 10 °C e de tamanho 17.10 x 10.65 x 14.10 metros. Teto e piso são compostos por materiais isolantes com espessura de 200 mm.
- ✓ 2 câmaras de resfriamento/desumidificação com temperatura de 0 °C e -2 °C. Possuem dimensões de 16.85 x 7.86 x 14.10 metros e 16.92 x 13.99 x 14.10 metros. Ambas possuem piso e teto compostos por materiais termo isolantes, possuindo espessura de 200 mm.
- ✓ 4 câmaras de congelados/resfriados com temperatura ambiente entre 0 °C e -25 °C, com dimensões variando entre 30.66 x 16.85 x 14.10 metros e 17.10 x 12.64 x 14.10 metros, com pisos e tetos compostos de materiais termo isolantes, possuindo 200 mm de espessura.
- ✓ 2 câmaras para estocagem com dimensões variando entre 17.10 x 15.03 x 14.10 metros e 23.50 x 17.10 x 14.10 metros, ambas com temperatura ambiente de -25 °C. Tetos e pisos são compostos por materiais termo isolantes possuindo 200 mm de espessura.

Para a instalação das câmaras será necessário o uso de equipamentos industriais listados em tabela abaixo:

Tabela 3-1 – Equipamentos adquiridos e utilizados na nova instalação frigorífica

Nome	Quantidade	Descrição
Compressores alternativos	4	Compressores de marca MYCOM modelos N6m e N8m
Painel de controle micro processado	1	Painel de controle e monitoramento completo da unidade compressora. Display em cristal líquido e teclado de policarbonato para leitura de

		parâmetros necessários.
Condensador evaporativo	1	Marca ENGEFRIL modelo ECE 1600-14-F (http://www.engefril.com.br/produtos/condensador/)
Evaporador em Inox/Alumínio	1	(http://www.engefril.com.br/produtos/evaporadores/)
Área de separação	2	Modelo EETPA 141/05
Câmaras	24	Medelos: EETPA 183/08, EETPI 73.33/05, EETPI 244/12, EETPI 183/12. EETPI 141/12, EETPI 211/12
Separador líquido	2	Modelo SLC 1225
Resfriador intermediário	1	Resfriador intermediário vertical com volume de 1000 litros.
Tanque acumulador de óleo	1	Volume de 157 Litros e dimensões 300x800 mm
Reservatório de Amônia	1	Marca ENGEFRIL modelo RAR 1450 com volume de 7.700 litros.
Bombas de Amônia	4	Bombas responsável pela circulação do líquido refrigerante. Modelo ZM-2
Bomba de água	1	Moto bomba com motor de alto rendimento para degelo das câmaras.
Tubulação para Amônia	N/A	Conjunto de tubos para Amônia classe SCHEDULE 40 S/COSTURA.
Materiais para isolamento dos vasos e das tubulações	N/A	Isolamento das linhas e vasos frios em funilaria de chapa colorbond, com injeção de poliuretano de 35 a 40kg/m ³ nas espessuras adequadas.
Quadro elétrico	1	Controle e proteção dos motores elétricos da

		instalação e dos circuitos de iluminação.
Cabos de alimentação elétrica dos motores/sensores/transmissã o	N/A	Uma rede de eletro calhas, eletrodutos e condutores elétrico dimensionados de acordo com a NBR 5410.
Instalação elétrica de iluminação em LED	N/A	Instalação elétrica de iluminação em LED para todas as câmaras e áreas descritas no projeto.
Sistema de automação tipo CPC da marca Emerson	N/A	Sistema composto por transdutores de temperatura pré-programados para realizar as operações do processo.
Painel termo isolantes de duas faces	N/A	12.170,00m ² de painel termo isolante de 200mm de espessura e 1.650,00m ² de espessura igual a 100mm.
Placas de isolamento térmico	N/A	594m ² de 50mm de espessura e 5.268 ² de placa 100mm. Ambas de marca Isofril.
Portas: seccionais e frigoríficas automáticas	15	(http://www.engefril.com.br/produtos/)
Portais de selamento	15	Estrutura em perfil de alumínio, sendo parte da estrutura fixa ao prédio e parte sustentada por braços articulados.
Registro de operação e válvulas de controle	N/A	Válvula de serviço ou manuais para Amônia: Valvugás. Válvula de controle e instrumentos: Hansen ou Danfoss. Válvula de controle e instrumentos para água: Danfoss.

Além de fornecer os equipamentos, a Empreiteira será responsável pela montagem das instalações, incluindo: Montagem dos equipamentos frigoríficos; Montagem do sistema de iluminação; Montagem das estruturas de isolamento

térmico; Montagem do sistema elétrico e do sistema de automação micro processada. O preço global do orçamento é de R\$ 6.750.000,00 (seis milhões e setecentos e cinquenta mil reais). Além dos gastos com a aquisição de materiais de diversos e equipamentos, foi informado que o empreendedor, que irá operar a referida câmara frigorífica, ainda deve arcar com o custo adicional de R\$ 9.250.000,00 (nove milhões e duzentos e cinquenta mil reais), para elaboração de projetos e execução de obras de fundação, estrutura metálica e construção civil, incluindo aquisição de materiais de construção civil, pagamento de taxas e de serviços de assessoria e de consultoria em engenharia.

Observa-se que a empresa empreendedora optou pelo anonimato, ao ser consultada sobre a utilização dos dados do seu empreendimento nesta dissertação e por este motivo estará sendo denominada de Refrigeração Ltda.

A Refrigeração Ltda. também deverá arcar com os custos de licenciamento ambiental, ressaltando que devido às alterações relevantes ocorridas no empreendimento, seu enquadramento para fins de renovação da licença ambiental existente do tipo LAS implicará necessidade da emissão de uma LIO. Em decorrência do cenário em questão, as alterações ocorridas no empreendimento irão requerer a elaboração e a apresentação de um estudo de análise de risco ao INEA, sendo que a aprovação desse estudo é um dos pré-requisitos para a aprovação do referido processo de renovação da licença ambiental. O orçamento estimado para os gastos da Refrigeração Ltda. com a contratação de uma empresa de consultoria ambiental e com o pagamento das taxas de licenciamento ambiental junto ao INEA é de R\$ 120.000,00 (cento e vinte mil reais).

3.1.2 Análise de Risco Ambiental

De acordo com documento disponibilizado pelo site do INEA, a Amônia se qualifica em quase todos os conceitos de um bom gás refrigerante apesar de ser tóxica. Os principais conceitos que tornam um gás um bom refrigerante são:

- ✓ Ser volátil;
- ✓ Calor latente de evaporação alto;
- ✓ Possui mínimo de potência para sua compressão à pressão de condensação;

- ✓ Apresentar temperatura crítica bem acima da temperatura de condensação;
- ✓ Produzir relevante refrigeração para um dado volume de vapor;
- ✓ Ter um custo razoável;
- ✓ Existir em abundância para seu emprego comercial;
- ✓ Possibilitar que vazamentos sejam detectáveis;

Segundo o INEA, um dos quesitos que tornariam a Amônia indesejável para uso na refrigeração é o fato que concentrações entre 15% até 28% no volume podem causar explosão. Por outro lado, a Amônia não apresenta nenhum dano a camada de ozônio e não intensifica o efeito estufa.

De fato, a Amônia não é considerada um produto inflamável, apesar de ser considerada um combustível no ar entre 15% e 28% de concentração em volume. Quando estão presentes também óleos e outros materiais combustíveis o perigo de explosão e fogo é aumentado por causa da presença da Amônia.

Quanto à toxicidade da Amônia, o órgão regulador discorre que a Amônia é uma base que possui muita afinidade por água, o que pode causar efeitos irritantes nos olhos, pele, trato respiratório e membranas mucosas das fossas nasais, via aéreas e pulmões. Por outro lado, a Amônia apresenta um odor característico muito forte o que a torna fácil de reconhecer quando respirada pelo ser humano. Para uma pessoa com um olfato saudável, a partir de 10 ppm a Amônia já passa a ser perceptível. A Amônia nas faixas dentre 150 e 400 ppm já causa irritação e desconforto nas mucosas nasais. A Amônia é muito tóxica em concentrações a cima de 1500 ppm, podendo destruir tecidos das vias aéreas e fossas nasais.

Segundo a FISPQ elaborado pela empresa Ultrafertil S.A, a Amônia pode causar contaminação de cursos de águas, tornando-os impróprios para uso em qualquer finalidade e pode ocasionar morte de animais do ambiente contaminado.

As maiores preocupações que as empresas que utilizam a Amônia como agente refrigerante devem ter estão relacionadas a vazamentos com formação de nuvem tóxica e explosões. Segundo o INEA, as causas mais comuns de acidentes são falhas no projeto do sistema de refrigeração e danos aos equipamentos provocados pelo calor, corrosão e/ou vibração, assim como devido à manutenção inadequada ou ausência de manutenção de seus componentes, como: válvula de alívio de pressão,

compressores, condensadores, vasos de pressão, equipamentos de purga, evaporadores, tubulações, bombas e instrumentos em geral. O INEA lista algumas das causas que costumam gerar vazamentos de Amônia:

- ✓ Abastecimento inadequado dos vasos;
- ✓ Falhas nas válvulas de alívio;
- ✓ Danos a equipamentos ou acessórios dos mesmos, provocados por impacto externo por equipamentos móveis, como empilhadeiras;
- ✓ Corrosão externa, mais rápida em condições de grande calor e umidade, especialmente nas porções de baixa pressão do sistema;
- ✓ Rachaduras internas nos vasos, que tendem a ocorrer nos pontos de solda ou nas proximidades destes;
- ✓ Aprisionamento de líquido nas tubulações, entre válvulas de fechamento;
- ✓ Excesso de líquido no compressor;
- ✓ Excesso de vibração no sistema, que pode levar a sua falência prematura;

O INEA cita alguns elementos para a gestão de segurança desse tipo de instalação:

- ✓ Informação de segurança do processo;
- ✓ Análises dos riscos existentes;
- ✓ Procedimentos operacionais e de emergência;
- ✓ Capacitação de trabalhadores;
- ✓ Esquemas de manutenção preventiva;
- ✓ Mecanismos de gestão de mudanças e subcontratação;
- ✓ Auditorias periódicas;
- ✓ Investigação de incidentes;

A Amônia apresenta um ODP e GWP correspondentes a zero, o que não significa dano algum para a camada de ozônio ou contribuição para o aquecimento global. Portanto, considerando apenas os quesitos de risco ambiental, a Amônia é um gás ideal para ser utilizado em sistemas de refrigeração.

3.2 Instalação com Gás Refrigerante HCFC

Esta seção traz consigo uma análise de eficiência da Amônia perante o gás HCFC demonstrando as diferenças da instalação. Ao fim, é feita uma análise de risco ambiental do gás HCFC.

3.2.1 Análise de eficiência

Foi determinado que a Empreiteira que está implantando o novo sistema de refrigeração é a referência no que tange às diferenças econômicas existentes entre o gás freon e a Amônia. A Empreiteira elaborou um pequeno relatório, com base na sua experiência de cerca de seus quase 50 anos de atuação no mercado, comercializando, elaborando projetos e executando instalações de câmaras frigoríficas e demais sistemas de refrigeração, apontando os diferentes consumos de cada tecnologia. A Tabela 3-2 exprime a diferença de consumo em *Horse Power* de cada gás.

Tabela 3-2 – Potência consumida pelos compressores comparando condensação a freon com a Amônia.

Amônia	350	HP
HCFC	437	HP

Fica constatado que o consumo do freon em relação a Amônia é aproximadamente 25% maior.

Tabela 3-3 – Potência consumida pelos condensadores comparando condensação a freon com Amônia.

Condensador evaporativo Amônia – ECE 940 – 14F	4,0	HP	3	Ventiladores
	6,0	HP	1	Bombas
	1,5	HP	1	Bombas cabeçotes

Condensador a ar	21,60	KW.PO.TOTAL	4	Ventiladores
HCFC	-			
VCC810AC4	-			
760.000 KCAL/H				

Para os condensadores, foi constatado que o gás freon possui um consumo de aproximadamente 33% a mais do que o gás Amônia.

Tabela 3-4 – Bombas d'água e Amônia.

Bombas de Amônia	4,0	HP	1	Ventiladores
HCFC	Não possui			

No que se refere às bombas d'água da instalação, a Amônia necessita de um ventilador, enquanto o gás HCFC não necessita, fazendo com que neste quesito o gás HCFC seja mais vantajoso. As bombas de glicol da instalação são iguais para os dois sistemas, portanto, ambos gases possuem o mesmo consumo no que se refere as bombas. Assim como o glicol, os evaporadores e forçadores de ar possuem o mesmo consumo, pois são iguais para ambos gases.

Tabela 3-5 – Consumo do degelo.

Amônia	É utilizado o próprio gás quente de energia do reservatório		
HCFC	64,20	KW	Congelados
	7,98	KW	Antecâmaras
	19,26	KW	Cong. Placas

Tabela 3-6 – Resumo total do consumo de ambos os gases.

Amônia	373,50	HP
HCFC	466,19	HP

Através do estudo fornecido pela empresa prestadora de serviço, foi possível verificar que a Amônia é 25% mais eficiente do que o gás HCFC, em termos de potência, o que conseqüentemente gera uma economia financeira relacionada à conta de luz, sendo essa economia proporcional à eficiência dos referidos sistemas.

3.2.2 Análise de Risco Ambiental

O gás HCFC, também conhecido por seus nomes industriais: Gás Refrigerante R22, Halon 121 e Halocarbono 22, é um gás liquefeito sob pressão. Os perigos mais importantes a serem considerados são:

- ✓ Sufocamento rápido;
- ✓ Pode causar congelamento;
- ✓ Pode causar vertigem e sonolência;
- ✓ Equipamento autônomo de respiração pode ser requerido para a equipe de salvamento;

De acordo com o parecer técnico da empresa Frigelar Comércio e Indústria Ltda, nas condições ambientais, o R22 é incolor e quase não possui odor, o que pode fazer com que seu vazamento seja difícil de ser identificado. O R22 é um gás asfixiante e pode causar dor de cabeça, náusea, desorientação e narcose. O efeito asfixiante é causado por causa da falta de oxigênio no corpo humano e pode levar o indivíduo à morte.

Se um indivíduo tiver uma superexposição ao HCFC, pode apresentar arritmias cardíacas ou parada dos batimentos, devido a sensibilização à liberação em excesso da adrenalina e da noradrenalina. Caso seja exposto ao calor, o R22 sofre decomposição e ao ser inalado pode causar: calafrios, febre, fraqueza, dores musculares, dor de cabeça, desconforto no peito, dor de garganta e tosse seca.

De acordo com a *Environmental Agency Protection* (EPA), o HCFC possui um ODP de 0.055 estabelecido no Protocolo de Montreal (1987), já o *Scientific*

Assessment of Ozone Depletion em 2010, calculou um valor aproximado em 0.04 para o ODP do R-22. Quanto ao seu GWP, a *IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007* estabelece seu valor em 1810, entretanto, em estudo mais recente feito pela *IPCC Fifth Assessment Report* em 2014, calcula um valor de 1760 para o GWP.

3.3 Instalação com gás Dióxido de Carbono

3.3.1 Risco Ambiental

A ficha FISPQ feita pela empresa Frigelar Comércio e Indústria Ltda do Dióxido de Carbono alerta para os seguintes perigos:

- ✓ Pode causar sufocamento rápido;
- ✓ Pode aumentar a taxa de respiração e do batimento cardíaco;
- ✓ Pode causar danos ao sistema nervoso central;
- ✓ Pode causar ulceração;
- ✓ Vertigem e sonolência;

O Dióxido de Carbono não apresenta efeito algum adverso quando em contato com a pele humana, nem com os olhos e sua ingestão é muito pouco provável devido a sua alta pressão, não representando perigo à saúde humana. Se inalado, em concentrações de 2 a 3% ocorrem sintomas de asfixia, sonolência e vertigem. Para concentrações de 3 a 5% causa respiração acelerada, dor de cabeça e ardência do nariz e garganta. Com 15% de concentração em relação ao ar causa dor de cabeça, excitação, excesso de salivação, náuseas, vômito e perda da consciência. Em concentrações mais altas, causa rápida insuficiência circulatória, podendo levar ao coma e à morte.

O dióxido de carbono possui um GWP de valor 1 por padrão, o que comparado a outros gases é um valor baixo. O seu valor de ODP é 0, o que significa que não causa dano algum à camada de ozônio.

O gráfico abaixo mostra a diferença da massa específica versus temperatura para cada gás.

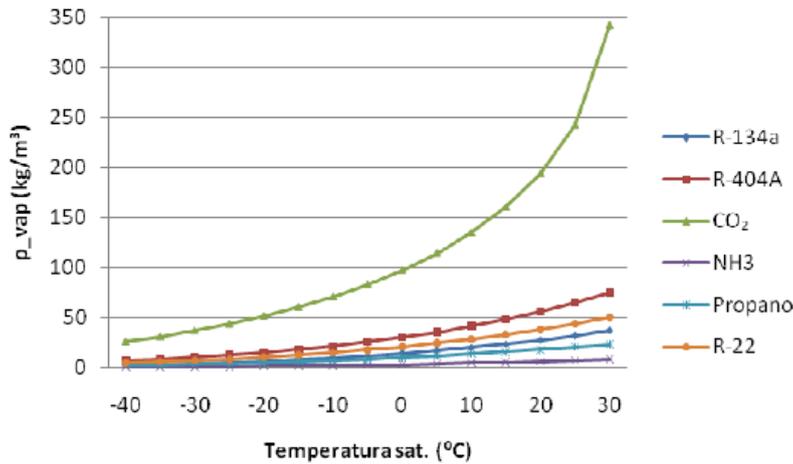


Figura 3-1: Massa específica do vapor versus temperatura (PEREIRA,2010)

Na figura 3-2 é possível verificar que os gases em geral possuem uma entalpia de vaporização relativamente baixo, com exceção da Amônia.

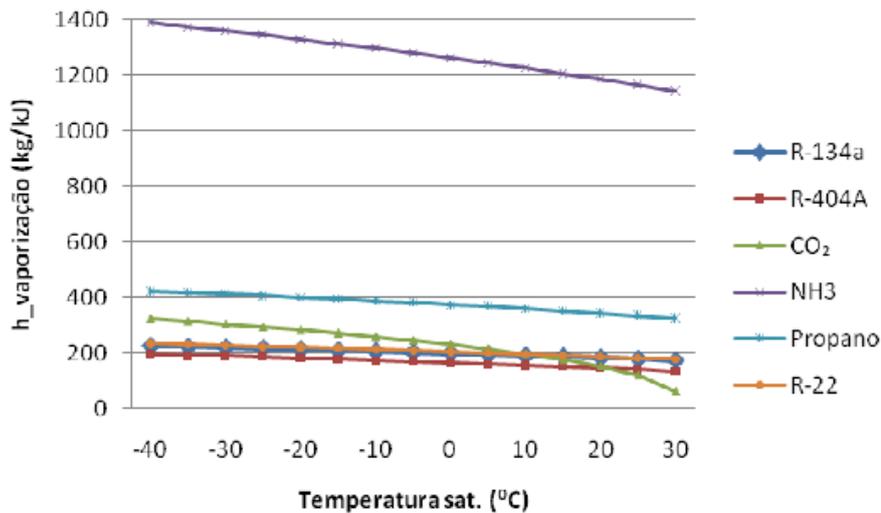


Figura 3-2: Entalpia de vaporização versus temperatura (PEREIRA,2010)

Na figura 3-3 é possível visualizar que a elevada massa específica do CO₂ significa que é necessária uma pequena quantidade de vapor para uma alta capacidade de refrigeração. Podendo afirmar que levando em consideração o efeito volumétrico, o CO₂ é o gás mais eficiente.

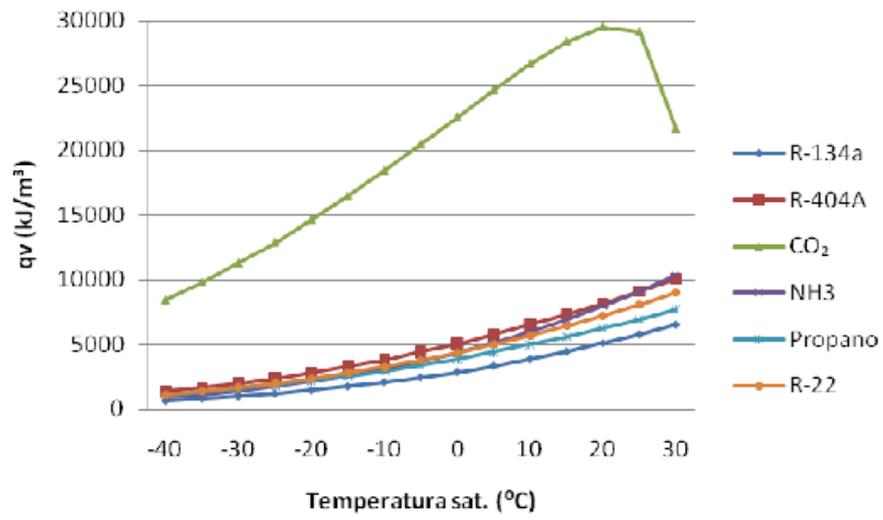


Figura 3-3: Efeito volumétrico de refrigeração (PEREIRA,2010)

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Localização da instalação e sua refrigeração

O sistema de refrigeração a base de Amônia em estudo foi instalado em um empreendimento localizado no estado do Rio de Janeiro.

No entorno da área desse empreendimento observa-se a presença de residências e de pequenos estabelecimentos comerciais. Para estimativa do número de pessoas presentes nessas instalações, considera-se a presença de 3,24 habitantes por residência no município em estudo (IBGE, 2010).

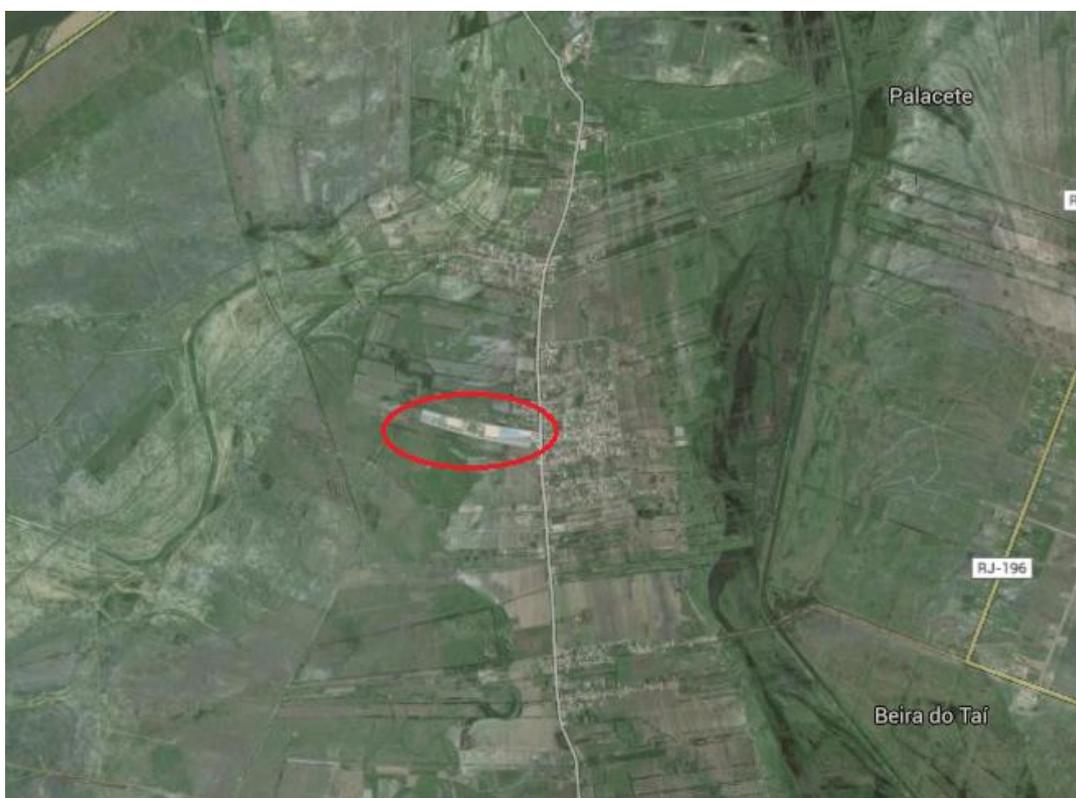


Figura 4-1: Região onde fica localizada a sede da empresa.

Nota-se que na região Noroeste, Oeste (à esquerda) e Sudoeste do empreendimento ocorre pouca ou nenhuma incidência de população.



Figura 4-2: Imagem da sede da empresa.

A foto acima deixa claro que região Leste (à direita) é a direção na qual está situada a maior quantidade de edificações, implicando maior Risco Social. Na figura abaixo, o círculo amarelo indica o local aonde está situada a instalação de Amônia.



Figura 4-3: Ocupações a Leste da instalação.

Devido ao crescimento da demanda de estocagem de alimentos, a atual câmara frigorífica tornou-se pequena. Constantemente, caminhões contendo cargas de frios que chegam até a matriz precisam esperar os colaboradores responsáveis pelo almoxarifado reorganizar o estoque para conseguirem mais espaço para as novas mercadorias.

As câmaras frigoríficas destinadas para o armazenamento de produtos resfriados e congelados serão atendidas por um sistema de refrigeração com Amônia. Do reservatório principal que possuirá capacidade para armazenar até 7.700 litros, a Amônia líquida alimentará o vaso separador de líquido contendo Amônia a -10°C e o resfriador intermediário, que por sua vez alimentará o vaso separador de líquido contendo Amônia a -35°C . Dos vasos separadores, a Amônia líquida será bombeada para as câmaras e antecâmaras de produtos refrigerados, à temperatura de -10°C , e de produtos congelados, à temperatura de -35°C . Após receber calor nas câmaras, a Amônia retornará para os vasos separadores, de onde será feita a sucção para o sistema de compressão, composto por 2 compressores para o sistema -10°C e 2 para o sistema -35°C . Dos compressores a Amônia será enviada para o sistema de condensação, formado por 1 condensador. Finalmente, dos condensadores a Amônia líquida seguirá para a torre de arrefecimento, para em seguida retornar para o reservatório principal. Todo o sistema de refrigeração será controlado por painéis de controle microprocessador.

4.2 Dados meteorológicos da região

As Figuras abaixo apresentam as normais climatológicas de pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa para a estação meteorológica relacionada à localização do empreendimento em estudo.

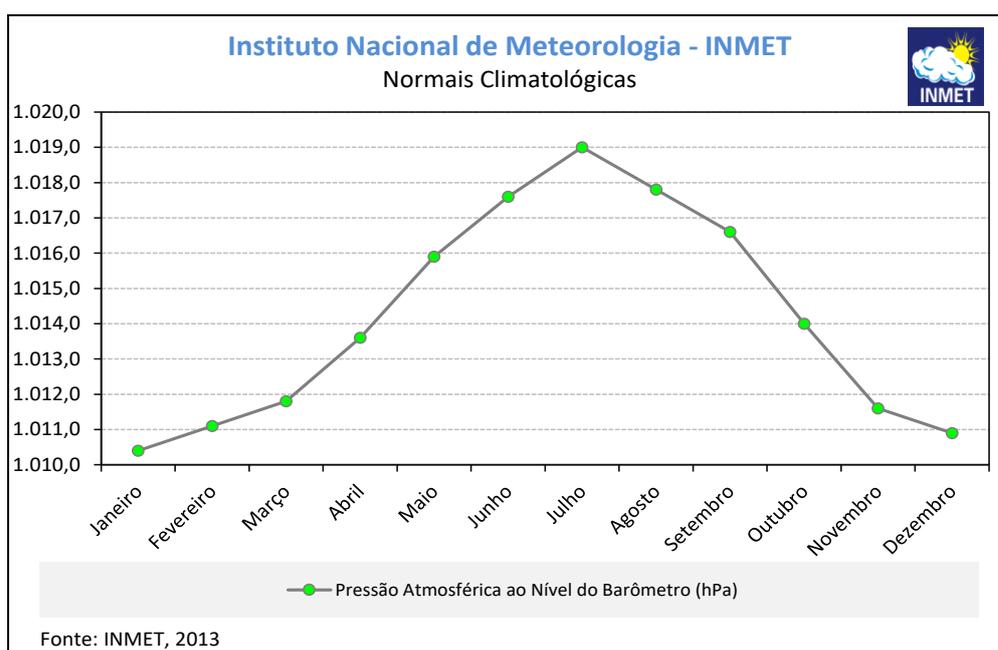


Figura 4-4: Normal climatológica de pressão atmosférica do município em estudo, 1961-1990

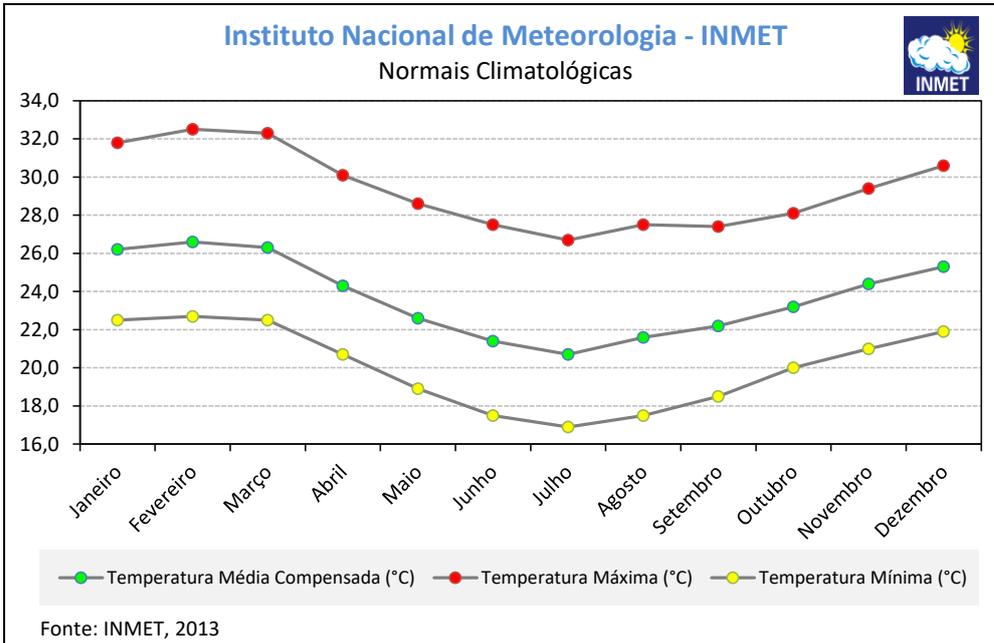


Figura 4-5: Normais climatológicas de temperatura média, máxima e mínima, do município em estudo, 1961-1990

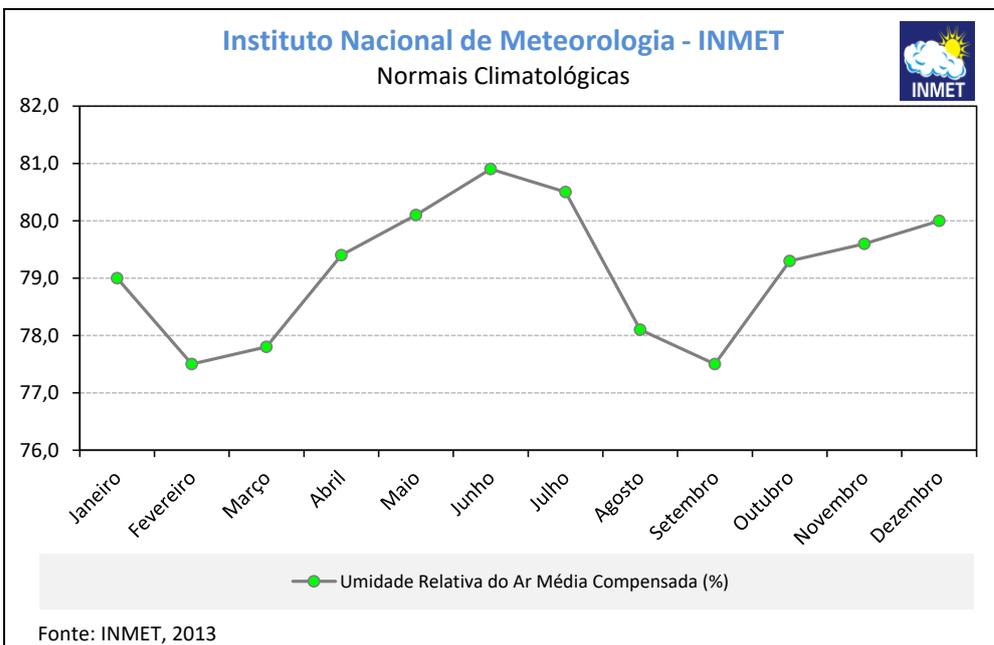


Figura 4-6: Normal climatológica de umidade relativa, do município em estudo, 1961-1990

As Tabelas abaixo apresentam dados de intensidade do vento e da direção predominante do vento na região da estação meteorológica relacionada à localização do empreendimento.

Tabela 4-1: Intensidade do vento, Campos, 1961-1990 (INMET,2010)

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Intensidade do vento (m/s)	2,3	2,5	1,9	1,3	1,1	1,3	1,5	2,2	2,7	2,4	2,3	2,2

Tabela 4-2: Direção predominante do vento, Campos, 1961-1990 (INMET, 2010)

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Direção predominante do vento	NE	NE	Calmo	Calmo	Calmo	Calmo	Calmo	Calmo	NE	NE	NE	Calmo

4.3 Análise de vulnerabilidade e cálculo do alcance dos efeitos físicos danosos

Este subcapítulo tem como objetivo calcular a extensão das áreas vulneráveis aos efeitos físicos danosos resultantes dos cenários acidentais identificados na APP com potencial de alcançar pessoas extramuros. O cenário acidental associado a esse evento é a formação de nuvem tóxica devido a liberação de Amônia.

O cenário analisado está indicado na tabela com a respectiva referência na APP.

Tabela 4-3: Cenário acidental selecionado para estimativa dos efeitos físicos

Nº	Cenário acidental	Ref. na APP
1	Liberação de Amônia no trecho entre o condensador e o reservatório principal devido a furo ou ruptura de linha	1
2	Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do reservatório principal	3
3	Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do vaso separador contendo Amônia a -10°C ou do vaso resfriador intermediário	7
4	Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do vaso separador contendo Amônia a -35°C	7
5	Liberação de Amônia no trecho entre o reservatório principal e os vasos separadores devido a furo ou ruptura de linha	5

N°	Cenário acidental	Ref. na APP
6	Liberação de Amônia no trecho entre o vaso separador contendo Amônia a -10°C e as câmaras frigoríficas, devido a furo ou a ruptura de linha	9
7	Liberação de Amônia no trecho entre o vaso separador contendo Amônia a -35°C e as câmaras frigoríficas devido a furo ou ruptura de linha	9

O cálculo do alcance dos efeitos físicos foi feito por meio de modelagem matemática, com o emprego do Programa PHAST (*Process Hazard Analysis Software Tools*) Professional, Versão 7.01, da DNV Technica.

Tendo em vista que o programa PHAST é relativamente caro, podendo custar cerca R\$ 150.000,00, referente à versão que abrange somente os cálculos das consequências dos cenários acidentais, e aproximadamente R\$ 300.000,00, para a versão PHAST RISC, que inclui os cálculos das probabilidades desses cenários, e considerando que poucas empresas dispõem dessa ferramenta, buscou-se a colaboração da empresa ALC Soluções em Segurança de Processos Ltda. – ME, inscrita no CNPJ: 22.885.923/0001-00, para processar os dados que representam os cenários a serem avaliados, através do uso do software PHAST, gerando os respectivos relatórios. Além disso, a empresa ALC Soluções em Segurança de Processos também disponibilizou um conjunto de planilhas Excel para a realização dos cálculos das frequências relacionadas aos cenários acidentais considerados relevantes.

As condições meteorológicas para a modelagem foram definidas com base nos valores médios aproximados dos dados apresentados para a região:

- ✓ Temperatura do ar: 23,7°C
- ✓ Pressão atmosférica: 1 atm
- ✓ Umidade relativa do ar: 79,1%
- ✓ Velocidade do vento: 2,0 m/s

Foi considerada a classe de estabilidade atmosférica D (neutra).

A Tabela 4-4 apresenta o tipo e os níveis de efeitos físicos pesquisados na modelagem para estimativa das áreas vulneráveis, de acordo com o cenário acidental considerado.

Tabela 4-4: Efeitos físicos pesquisados para estimativa das áreas vulneráveis

Cenário	Efeito físico	Níveis pesquisados
Formação de nuvem tóxica	Concentração tóxica de Amônia	- 300 ppm, correspondente ao IDLH - 2.435 ppm, correspondente à probabilidade de 1% de morte para o tempo de exposição de 10 minutos - 7.807 ppm, correspondente à probabilidade de 50% de morte para o tempo de exposição de 10 minutos

O primeiro nível corresponde à concentração considerada imediatamente perigosa à vida ou à saúde (IDLH). Essa concentração é de 300 ppm, de acordo com NIOSH (2005). Os outros dois níveis correspondem a concentrações referentes às probabilidades de 1% e 50% de morte da população exposta.

A Tabela 4-15 apresenta os níveis de concentração de Amônia correspondentes às probabilidades de morte de 1% e 50% da população exposta pela empresa ALC, considerando um tempo de exposição de 30 minutos.

Tabela 4-5: Níveis de concentração de Amônia

Probabilidade de morte	Concentração de Amônia	
	mg/m³	Ppm
1%	1.693	2.435
50%	5.428	7.807

4.4 Caracterização dos cenários acidentais

Com base nas premissas discutidas anteriormente, foram feitas as caracterizações dos cenários acidentais para a modelagem e cálculo dos alcances dos efeitos físicos danosos. Essa caracterização está apresentada nas seguintes tabelas:

Tabela 4-6: Caracterização do evento acidental 1: Liberação de Amônia no trecho entre o condensador e o reservatório principal devido a furo ou ruptura de linha.

Parâmetro	Valor	Referência / Justificativa
Substância	Amônia	---
Estado físico da substância	Líquido saturado	---
Pressão manométrica (kg/cm²)	18	---
Altura do vazamento (m)	3	---
Diâmetro da linha	5"	---
Quantidade de Amônia liberada (kg)	215	Diâmetro da linha = 5" Comprimento da linha = 30 m Volume: 0,38

Tabela 4-7: Caracterização do evento acidental 2: Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do reservatório principal.

Parâmetro	Valor	Referência / Justificativa
Substância	Amônia	---
Estado físico da substância	Líquido saturado	---
Pressão manométrica (kg/cm²)	18	---
Altura do vazamento (m)	1	---
Quantidade de Amônia liberada (kg)	2.185	Volume: 3,86 m ³ (*) Liberação instantânea devido a ruptura do vaso.

(*) Premissa: Capacidade operacional do vaso é igual a metade da capacidade total do vaso.

Tabela 4-8: Caracterização do evento acidental 3: Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do vaso separador contendo Amônia a -10°C ou do vaso resfriador intermediário.

Parâmetro	Valor	Referência / Justificativa
Substância	Amônia	---
Estado físico da substância	Líquido sub resfriado	---
Pressão manométrica (kg/cm²)	15,69	---
Temperatura (°C)	-10°C	
Altura do vazamento (m)	1	---
Quantidade de Amônia liberada (kg)	2.185	Volume: 3,86 m ³ (*)

(*) Volume do reservatório principal

Tabela 4-9: Caracterização do evento acidental 5: Liberação de Amônia no trecho entre o reservatório principal e os vasos separadores devido a furo ou ruptura de linha.

Parâmetro	Valor	Referência / Justificativa
Substância	Amônia	---
Estado físico da substância	Líquido saturado	---
Pressão manométrica (kg/cm²)	18	---
Altura do vazamento (m)	3	---
Diâmetro da linha	1 ½"	---
Quantidade de Amônia liberada (kg)	2.185	Volume: 3,86 m ³ (*)

(*) Volume do reservatório principal

Tabela 4-10: Caracterização do evento acidental 6: Liberação de Amônia no trecho entre o vaso separador contendo Amônia a -10°C e as câmaras frigoríficas devido a furo ou ruptura de linha.

Parâmetro	Valor	Referência / Justificativa
Substância	Amônia	---
Estado físico da substância	Líquido sub resfriado	---
Pressão manométrica (kg/cm²)	18	---
Temperatura (°C)	- 10°C	---
Altura do vazamento (m)	3	---
Diâmetro da linha	2 ½"	---
Quantidade de Amônia liberada (kg)	2.185	Volume: 1,4 m ³ (*)

(*) Volume do vaso separador

Tabela 4-11: Caracterização do evento acidental 7: Liberação de Amônia no trecho entre o vaso separador contendo Amônia a -35°C e as câmaras frigoríficas devido a furo ou ruptura de linha.

Parâmetro	Valor	Referência / Justificativa
Substância	Amônia	---
Estado físico da substância	Líquido sub resfriado	---
Pressão manométrica (kg/cm²)	18	---
Temperatura (°C)	- 35°C	---

Altura do vazamento (m)	3	---
Diâmetro da linha	2"	---
Quantidade de Amônia liberada (kg)	2.185	Volume: 1,4 m ³ (*)

(*) Volume do vaso separador

A Tabela 4-12 abaixo apresenta as distâncias alcançadas pelos níveis de efeitos físicos pesquisados para os cenários acidentais postulados.

Tabela 4-12: Distância alcançada pelos níveis de concentração de Amônia (NH₃)

Nº	Evento acidental	Distância (m) até:		
		300 ppm	2.435 ppm	7.807 ppm
1	Liberação de Amônia no trecho entre o condensador e o reservatório principal devido a furo ou ruptura de linha	440	292	241
2	Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do reservatório principal	643	299	174
3	Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do vaso separador contendo Amônia a -10°C	674	321	219
4	Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do vaso separador contendo Amônia a -35°C	772	195	137
5	Liberação de Amônia no trecho entre o reservatório principal e os vasos separadores devido a furo ou ruptura de linha	845	534	400
6	Liberação de Amônia no trecho entre o vaso separador contendo Amônia a -10°C e as câmaras frigoríficas devido a furo ou ruptura de linha	2.677	665	428
7	Liberação de Amônia no trecho entre o vaso separador contendo Amônia a -35°C e as câmaras frigoríficas devido a furo ou ruptura de linha	2.034	518	302

Da análise dos resultados verifica-se que o maior alcance de concentrações letais está relacionado à ocorrência de liberação de NH_3 (l) no trecho entre o vaso separador contendo Amônia líquida a -10°C e as câmaras frigoríficas devido a furo ou ruptura de linha. Nesse caso, o nível de concentração de Amônia correspondente à probabilidade de 1% de fatalidade da população exposta alcança a distância de 665 metros e de 50% de fatalidade alcança a distância de 428 metros.

Verifica-se a presença de ocupações sensíveis no interior dos raios de alcance dos níveis de concentração de Amônia.

5 CÁLCULO DE RISCO

5.1 Risco individual

O risco individual reflete a probabilidade anual de morte de um indivíduo situado na área de influência dos efeitos dos cenários acidentais postuladas. O cálculo da contribuição de cada cenário acidental para o risco individual total, relacionado a liberação de Amônia foi feito com base nos resultados obtidos anteriormente para a sua frequência de ocorrência e para os alcances dos níveis de efeitos físicos correspondentes às diferentes probabilidades de morte das pessoas expostas.

A Tabela 5-1 abaixo apresenta as distâncias calculadas pela empresa ALC, elas correspondem aos níveis de risco individual com variação de uma ordem de magnitude. O perfil do risco individual está apresentado na Figura 5-1 também apresentada abaixo. Os respectivos contornos de iso-risco estão ilustrados na figura abaixo. Nessa figura, a projeção dos contornos de iso-risco foi elaborada a partir da casa de máquinas, visto ser essa a área associada aos cenários acidentais mais críticos.

A observação dos contornos de iso-risco indica que o nível de risco individual de 10^{-6} /ano, considerado pelo INEA como limite de aceitabilidade para instalações novas, atinge ocupações sensíveis no entorno da instalação.

Tabela 5-1: Distâncias correspondentes aos níveis de risco individual.

Risco individual (/ano)	Distância (m)
1,00 E-05	479
1,00 E-06	644
1,00 E-07	667

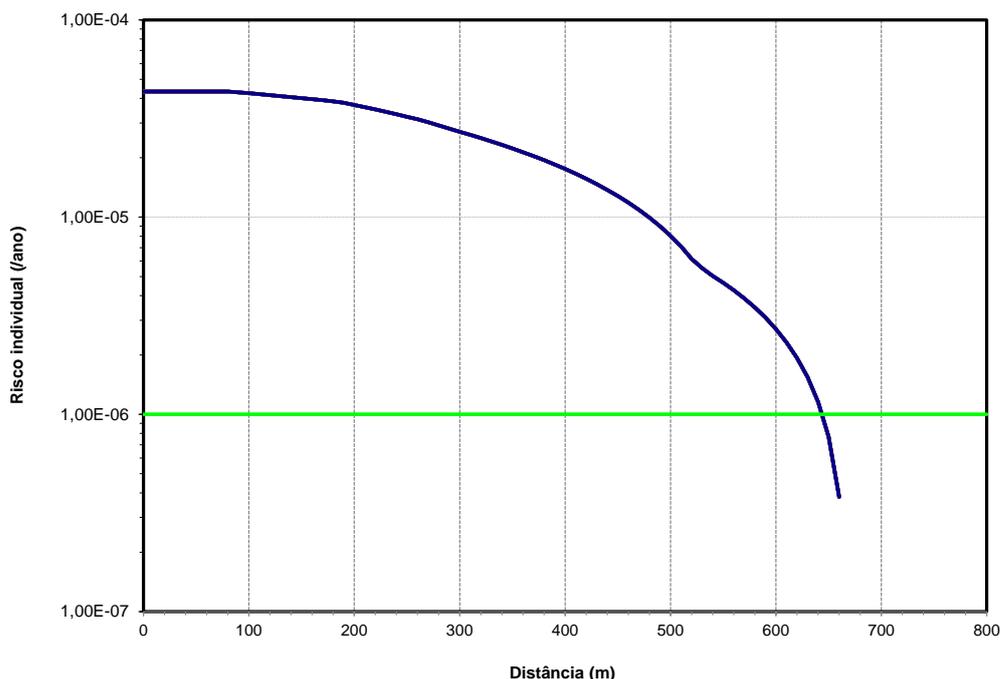


Figura 5-1: Perfil do risco individual – Sistema de Amônia

5.2 Risco social

O cálculo do risco social é feito a partir da frequência de ocorrência de cada cenário acidental e da estimativa do número de mortes entre a população exposta. Os resultados são apresentados em um gráfico F-N, que fornece a frequência acumulada de ocorrência de acidentes com N ou mais fatalidades.

A frequência de ocorrência de cada cenário acidental foi calculada no Capítulo 6. A estimativa do número de mortes entre a população exposta aos efeitos desses cenários foi elaborada a partir da estimativa do número de pessoas presentes no entorno da instalação.

A estimativa do número de mortes foi obtida considerando as seguintes probabilidades:

- ✓ Probabilidade de 75% de morte para as pessoas situadas na área correspondente ao anel de círculo, relativo a cada direção considerada, delimitado pelo alcance da concentração referente à probabilidade de morte de 50% da população exposta;

✓ Probabilidade de 25% de morte para as pessoas situadas na área correspondente ao anel de círculo, relativo a cada direção considerada, delimitado pelo alcance das concentrações referentes às probabilidades de morte de 50% e 1% da população exposta.

A Figura 5-2 apresenta o respectivo gráfico F-N. A observação do gráfico mostra que a curva representativa do risco social está situada acima do limite de aceitabilidade para instalações novas, segundo o critério adotado pelo INEA.

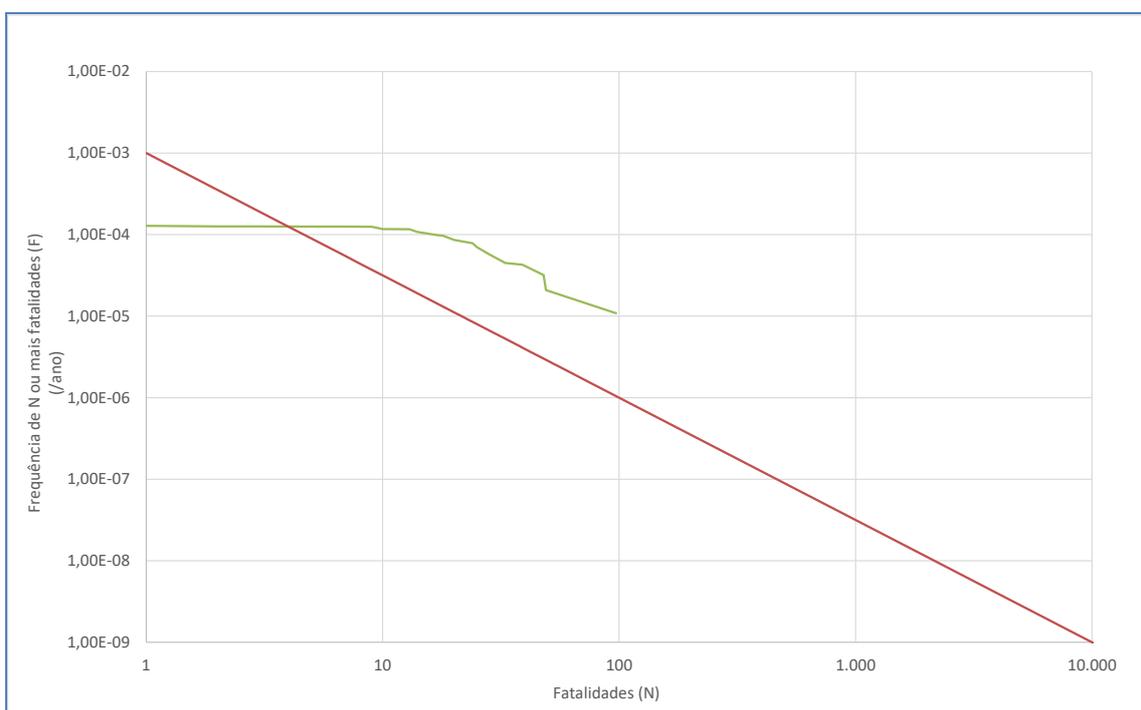


Figura 5-2: Gráfico FxN

5.3 Tolerabilidade dos Riscos

O cálculo do risco individual indicou que o nível de 10^{-6} /ano, considerado pelo INEA como limite de aceitabilidade para instalações novas, alcança áreas com presença de ocupações sensíveis. O cálculo do risco social indicou que é ultrapassado o limite de aceitabilidade considerado pelo INEA para instalações novas. Abaixo encontra-se uma figura ilustrando o raio de 10^{-6} /ano feita no Google Earth:



Figura 5-3: Curva de iso-risco (644m)

Devido aos resultados dos riscos individual e social será necessário reavaliar os riscos após a implantação de medidas preventivas e mitigadoras.

6 REAVALIAÇÃO DOS RISCOS COM A APLICAÇÃO DA MEDIDA PREVENTIVA E MITIGADORA 1

Este capítulo tem como objetivo calcular a extensão das áreas vulneráveis aos efeitos físicos danosos resultantes dos cenários acidentais. Nesta seção serão remodelados os cenários acidentais considerando a implantação da Medida Mitigadora 1 (MM1) que representa a implementação de válvulas de contenção de vazamento.

6.1 Caracterização dos cenários acidentais com implantação da MM1

A caracterização dos cenários acidentais com a implantação da MM1 está apresentada nas tabelas abaixo:

Tabela 6-1: Caracterização do evento acidental 1: Liberação de Amônia no trecho entre o condensador e o reservatório principal devido a furo ou ruptura de linha

Parâmetro	Valor	Referência / Justificativa
Substância	Amônia	---
Estado físico da substância	Líquido saturado	---
Pressão manométrica inicial (kg/cm ²)	18	---
Pressão de liberação (kgf/cm ²)	1	Considerando desligamento dos compressores e das bombas
Diâmetro da linha	5"	---
Quantidade de Amônia liberada (kg)	215	Diâmetro da linha = 5" Comprimento da linha = 30 m Volume: 0,38

Tabela 6-2: Caracterização do evento acidental 2: Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do reservatório principal

Parâmetro	Valor	Referência / Justificativa
Substância	Amônia	---
Estado físico da substância	Líquido saturado	---
Pressão manométrica (kg/cm ²)	18	---
Quantidade disponível para liberação (kg)	3.700	Massa total do sistema de Amônia.
Quantidade de Amônia liberada (kg)	2.185	Volume: 3,86 m ³ (*) Liberação instantânea devido a ruptura do vaso.

(*) Premissa: Capacidade operacional do vaso é igual a metade da capacidade total do vaso.

Tabela 6-3: Caracterização do evento acidental 3: Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do vaso separador -10°C ou do vaso resfriador intermediário.

Parâmetro	Valor	Referência / Justificativa
Substância	Amônia	---
Estado físico da substância	Líquido sub resfriado	---
Pressão manométrica (kg/cm²)	15,69	---
Temperatura (°C)	-10°C	
Quantidade disponível para liberação (kg)	3.700	Massa total do sistema de Amônia.
Quantidade de Amônia liberada (kg)	910	Volume: 1,4 m ³ (*) Liberação instantânea devido a ruptura do vaso.

(*) Premissa: Capacidade operacional do vaso é igual a metade da capacidade total do vaso.

Tabela 6-4: Caracterização do evento acidental 4: Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do vaso separador -35°C

Parâmetro	Valor	Referência / Justificativa
Substância	Amônia	---
Estado físico da substância	Líquido sub resfriado	---
Pressão manométrica (kg/cm²)	15,69	---
Temperatura (°C)	- 35°C	
Quantidade disponível para liberação (kg)	3.700	Massa total do sistema de Amônia.
Quantidade de Amônia liberada (kg)	954	Volume: 1,4 m ³ (*) Liberação instantânea devido a ruptura do vaso.

(*) Premissa: Capacidade operacional do vaso é igual a metade da capacidade total do vaso.

Tabela 6-5: Caracterização do evento acidental 5: Liberação de Amônia no trecho entre o reservatório principal e os vasos separadores devido a furo ou ruptura de linha.

Parâmetro	Valor	Referência / Justificativa
Substância	Amônia	---
Estado físico da substância	Líquido saturado	---
Pressão manométrica inicial (kg/cm²)	18	---
Pressão de liberação (kgf/cm²)	1	Considerando desligamento dos compressores e das bombas
Diâmetro da linha	1 ½"	---
Quantidade disponível para liberação (kg)	3.700	Massa total do sistema de Amônia.
Quantidade de Amônia liberada (kg)	64,5	Diâmetro da linha = 1 ½" Comprimento da linha = 100 m Volume: 0,114 m ³

(*) Volume do reservatório principal

Tabela 6-6: Caracterização do evento acidental 6: Liberação de Amônia no trecho entre o vaso separador a -10°C e as câmaras frigoríficas devido a furo ou ruptura de linha

Parâmetro	Valor	Referência / Justificativa
Substância	Amônia	---
Estado físico da substância	Líquido sub resfriado	---
Pressão manométrica inicial (kg/cm²)	18	---
Pressão de liberação (kgf/cm²)	1	Considerando desligamento dos compressores e das bombas
Temperatura (°C)	- 10°C	---
Diâmetro da linha	2 ½"	---
Quantidade disponível para liberação (kg)	3.700	Massa total do sistema de Amônia.
Quantidade de Amônia liberada (kg)	1.023	Diâmetro da linha = 2 ½" Comprimento da linha = 500 m Volume: 1,57 m ³

Tabela 6-7: Caracterização do evento acidental 7: Liberação de Amônia no trecho entre o vaso separador a -35°C e as câmaras frigoríficas devido a furo ou ruptura de linha

Parâmetro	Valor	Referência / Justificativa
------------------	--------------	-----------------------------------

Substância	Amônia	---
Estado físico da substância	Líquido sub resfriado	---
Pressão manométrica inicial (kg/cm²)	18	---
Pressão de liberação (kgf/cm²)	1	Considerando desligamento dos compressores e das bombas
Temperatura (°C)	- 35°C	---
Diâmetro da linha	2"	---
Quantidade disponível para liberação (kg)	3.700	Massa total do sistema de Amônia.
Quantidade de Amônia liberada (kg)	684	Diâmetro da linha = 2" Comprimento da linha = 500 m Volume: 1,00 m ³

6.2 Resultados

As tabelas abaixo apresentam as distâncias alcançadas pelos níveis de efeitos físicos pesquisados para os cenários acidentais postulados considerando falha e sucesso da MM1, respectivamente.

Tabela 6-8: Distância alcançada pelos níveis de concentração de Amônia (NH₃) considerando falha da MM1.

Nº	Evento acidental	Distância (m) até:		
		300 ppm	2.435 ppm	7.807 ppm
1.1	Liberação de Amônia no trecho entre o condensador e o reservatório principal devido a furo ou ruptura de linha	440	292	241
2.1	Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do reservatório principal	643	299	174
3.1	Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do vaso separador -10°C	674	321	219
4.1	Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do vaso separador -35°C	772	195	137
5.1	Liberação de Amônia no trecho entre o reservatório principal e os vasos separadores devido a furo ou ruptura de linha	845	534	400

6.1	Liberação de Amônia no trecho entre o vaso separador a -10°C e as câmaras frigoríficas devido a furo ou ruptura de linha	2.677	665	428
7.1	Liberação de Amônia no trecho entre o vaso separador a -35°C e as câmaras frigoríficas devido a furo ou ruptura de linha	2.034	518	302

Tabela 6-9: Distância alcançada pelos níveis de concentração de Amônia (NH3) considerando sucesso da MM1.

Nº	Evento acidental	Distância (m) até:		
		300 ppm	2.435 ppm	7.807 ppm
1.2	Liberação de Amônia no trecho entre o condensador e o reservatório principal devido a furo ou ruptura de linha	440	292	241
2.2	Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do reservatório principal	545	229	136
3.2	Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do vaso separador -10°C	407	188	130
4.2	Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do vaso separador -35°C	34	20	16
5.2	Liberação de Amônia no trecho entre o reservatório principal e os vasos separadores devido a furo ou ruptura de linha	290	193	154
6.2	Liberação de Amônia no trecho entre o vaso separador a -10°C e as câmaras frigoríficas devido a furo ou ruptura de linha	1.474	395	255
7.2	Liberação de Amônia no trecho entre o vaso separador a -35°C e as câmaras frigoríficas devido a furo ou ruptura de linha	237	77	35

Da análise dos resultados verifica-se que o maior alcance de concentrações letais após a MM1 está relacionado à ocorrência de liberação de NH₃ (l) no trecho entre o vaso separador a -10°C e as câmaras frigoríficas devido a furo ou ruptura de linha. Nesse caso, o nível de concentração de Amônia correspondente à probabilidade de 1% de fatalidade da população exposta alcança a distância de 395 metros e de 50% de fatalidade alcança a distância de 255 metros.

Verifica-se a presença de ocupações sensíveis no interior dos raios de alcance dos níveis de concentração de Amônia após a implantação da MM1.

6.3 Reavaliação dos riscos

Os riscos individual e social serão reavaliados considerando a aplicação da medida preventiva e mitigadora 1, denominada MM1.

A Tabela 6-10 apresenta as distâncias correspondentes aos níveis de risco individual com variação de uma ordem de magnitude. O perfil do risco individual está apresentado na Figura 6-2, comparado com o critério de tolerabilidade adotado pelo INEA.

Tabela 6-10: Distâncias correspondentes aos níveis de risco individual após a MM1.

Risco individual (ano)	Distância (m)
1,00 E-05	251
1,00 E-06	382
1,00 E-07	396
1,00 E-08	479

Tabela 6-11: Percentual de mitigação dos níveis de risco individual

Risco individual (ano)	Distância (m)
1,00 E-05	48%
1,00 E-06	41%
1,00 E-07	41%

A observação dos contornos de iso-risco indica que o nível de risco individual de 10^{-6} /ano, considerado pelo INEA como limite de aceitabilidade para instalações novas, atinge ocupações sensíveis no entorno da instalação.

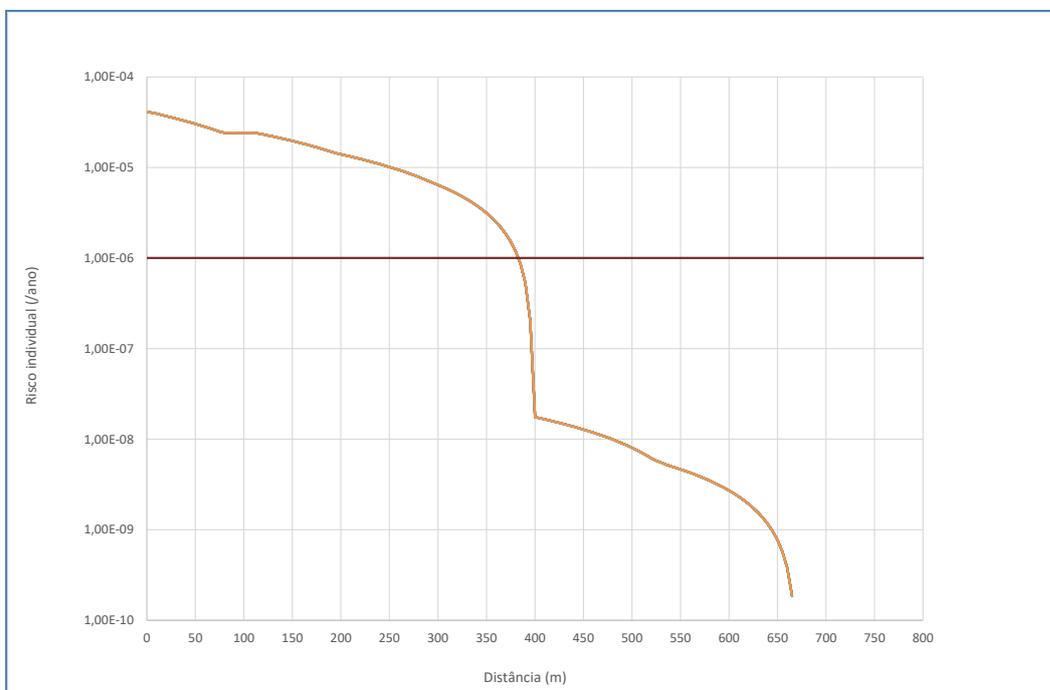


Figura 6-2: Perfil de risco individual após a MM 1

Uma nova modelagem para o risco social foi feita. As novas frequências de ocorrência dos cenários acidentais foram calculadas na seção 6.4. A estimativa do número de mortes foi elaborada a partir da estimativa do número de pessoas presentes nos raios de alcance dos cenários acidentais (seção 6), considerando as seguintes probabilidades:

- ✓ Probabilidade de 75% de morte para as pessoas situadas na área correspondente ao anel de círculo, relativo a cada direção considerada, delimitado pelo alcance da concentração referente à probabilidade de morte de 50% da população exposta;
- ✓ Probabilidade de 25% de morte para as pessoas situadas na área correspondente ao anel de círculo, relativo a cada direção considerada, delimitado pelo alcance das concentrações referentes às probabilidades de morte de 50% e 1% da população exposta.

A Figura 6-13 apresenta os respectivos gráficos F-N. A observação dos gráficos mostra que a curva representativa do risco social está situada abaixo do limite de aceitabilidade para instalações novas, segundo o critério adotado pelo INEA.

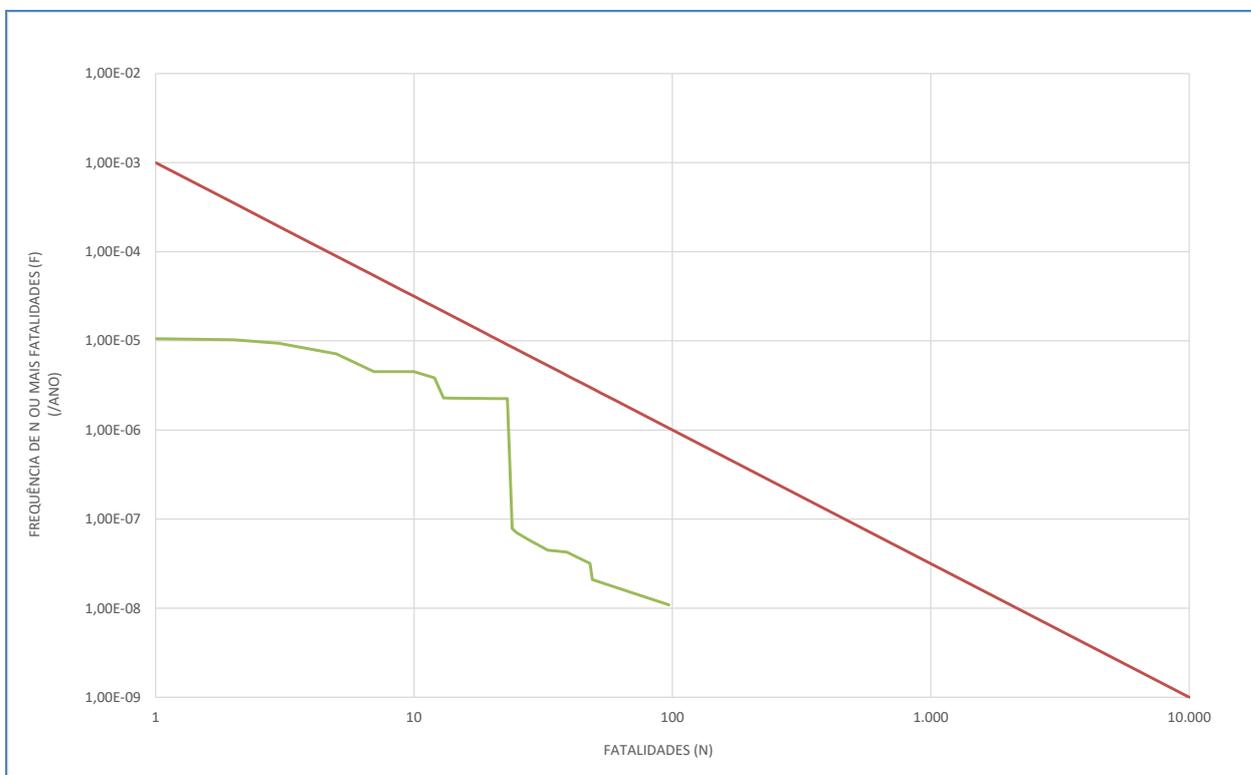


Figura 6-3: Gráfico FxN após MM1.

Abaixo encontra-se uma tabela representando o percentual de mitigação do risco individual pela MM1.

O cálculo do risco individual após a MM1 indicou que o nível de 10^{-6} /ano, considerado pelo INEA como limite de aceitabilidade para instalações novas, alcança áreas com presença de ocupações sensíveis. O cálculo do risco social após a MM1 indicou que não é ultrapassado o limite de aceitabilidade considerado pelo INEA para instalações novas.

7 REAVALIAÇÃO DOS RISCOS COM A APLICAÇÃO DA MEDIDA PREVENTIVA E MITIGADORA 2

Este capítulo tem como objetivo calcular a extensão das áreas vulneráveis aos efeitos físicos danosos resultantes dos cenários acidentais. Nesta seção serão remodelados os cenários acidentais considerando a implantação da Medida Mitigadora 2 (MM2) que consiste no enclausuramento da instalação com a utilização de um sistema de abatimento de gases.

7.1 Caracterização dos cenários acidentais com implantação da MM2

A caracterização dos cenários acidentais com a implantação da MM2 está apresentada nas Tabelas abaixo:

Premissas:

- ✓ Dimensões do galpão: 30x20x15 = 9.000 m³.
- ✓ Exaustão: 3.000 m³/h.
- ✓ Diâmetro do exaustor 12”.
- ✓ Exaustão para Torre de absorção para abatimento.
- ✓ A liberação de Amônia somente ocorrerá caso ocorra a falha do sistema de abatimento.

Tabela 7-1: Caracterização do evento acidental 1: Liberação de Amônia no trecho entre o condensador e o reservatório principal devido a furo ou ruptura de linha, ocorrendo falha do sistema de abatimento.

Parâmetro	Valor	Referência / Justificativa
Substância	Amônia	---
Estado físico da substância	Líquido saturado	---
Pressão manométrica (kg/cm ²)	18	---
Diâmetro da linha	5”	---
Quantidade disponível para liberação (kg)	3.700	Massa total do sistema de Amônia.
Quantidade de Amônia liberada (kg)	215	Diâmetro da linha = 5” Comprimento da linha = 30 m Volume: 0,38

Tabela 7-2: Caracterização do evento acidental 2: Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do reservatório principal, ocorrendo falha do sistema de abatimento.

Parâmetro	Valor	Referência / Justificativa
Substância	Amônia	---
Estado físico da substância	Líquido saturado	---
Pressão manométrica (kg/cm ²)	18	---
Quantidade disponível para liberação (kg)	3.700	Massa total do sistema de Amônia.
Quantidade de Amônia liberada (kg)	3.700	Liberação instantânea devido a ruptura do vaso.

Tabela 7-3: Caracterização do evento acidental 3: Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do vaso separador -10°C ou do vaso resfriador intermediário, ocorrendo falha do sistema de abatimento

Parâmetro	Valor	Referência / Justificativa
Substância	Amônia	---
Estado físico da substância	Líquido sub resfriado	---
Pressão manométrica (kg/cm ²)	15,69	---
Temperatura (°C)	-10°C	
Quantidade disponível para liberação (kg)	3.700	Massa total do sistema de Amônia.
Quantidade de Amônia liberada (kg)	3.700	Massa total do sistema de Amônia.

Tabela 7-4: Caracterização do evento acidental 4: Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do vaso separador -35°C, ocorrendo falha do sistema de abatimento.

Parâmetro	Valor	Referência / Justificativa
Substância	Amônia	---
Estado físico da substância	Líquido sub resfriado	---
Pressão manométrica (kg/cm ²)	15,69	---
Temperatura (°C)	- 35°C	
Quantidade disponível para liberação (kg)	3.700	Massa total do sistema de Amônia.
Quantidade de Amônia liberada (kg)	3.700	Massa total do sistema de Amônia.

Tabela 7-5: Caracterização do evento acidental 5: Liberação de Amônia no trecho entre o reservatório principal e os vasos separadores devido a furo ou ruptura de linha, ocorrendo falha do sistema de abatimento.

Parâmetro	Valor	Referência / Justificativa
Substância	Amônia	---
Estado físico da substância	Líquido saturado	---
Pressão manométrica (kg/cm ²)	18	---
Diâmetro da linha	1 ½"	---

Parâmetro	Valor	Referência / Justificativa
Quantidade disponível para liberação (kg)	3.700	Massa total do sistema de Amônia.
Quantidade de Amônia liberada (kg)	3.700	Massa total do sistema de Amônia.

Tabela 7-6: Caracterização do evento acidental 6: Liberação de Amônia no trecho entre o vaso separador a -10°C e as câmaras frigoríficas devido a furo ou ruptura de linha, ocorrendo falha do sistema de abatimento.

Parâmetro	Valor	Referência / Justificativa
Substância	Amônia	---
Estado físico da substância	Líquido sub resfriado	---
Pressão manométrica (kg/cm ²)	18	---
Temperatura (°C)	- 10°C	---
Diâmetro da linha	2 ½"	---
Quantidade disponível para liberação (kg)	3.700	Massa total do sistema de Amônia.
Quantidade de Amônia liberada (kg)	3.700	Massa total do sistema de Amônia.

Tabela 7-7: Caracterização do evento acidental 7: Liberação de Amônia no trecho entre o vaso separador a -35°C e as câmaras frigoríficas devido a furo ou ruptura de linha, ocorrendo falha do sistema de abatimento.

Parâmetro	Valor	Referência / Justificativa
Substância	Amônia	---
Estado físico da substância	Líquido sub resfriado	---
Pressão manométrica (kg/cm ²)	18	---
Temperatura (°C)	- 35°C	---
Diâmetro da linha	2"	---
Quantidade disponível para liberação (kg)	3.700	Massa total do sistema de Amônia.
Quantidade de Amônia liberada (kg)	3.700	Massa total do sistema de Amônia.

7.2 Resultados

A Tabela 7-8 apresenta as distâncias alcançadas pelos níveis de efeitos físicos pesquisados para os cenários acidentais postulados considerando falha do sistema de abatimento.

Tabela 7-8: Distância alcançada pelos níveis de concentração de Amônia (NH₃) considerando falha do sistema de abatimento.

Nº	Evento acidental	Distância (m) até:		
		300 ppm	2.435 ppm	7.807 ppm
1	Liberação de Amônia no trecho entre o condensador e o reservatório principal devido a furo ou ruptura de linha	17	---	---
2	Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do reservatório principal	155	48	27
3	Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do vaso separador -10°C	149	46	28
4	Liberação de Amônia devido a furo ou ruptura do vaso separador -35°C	147	45	28
5	Liberação de Amônia no trecho entre o reservatório principal e os vasos separadores devido a furo ou ruptura de linha	139	41	26
6	Liberação de Amônia no trecho entre o vaso separador a -10°C e as câmaras frigoríficas devido a furo ou ruptura de linha	137	40	26
7	Liberação de Amônia no trecho entre o vaso separador a -35°C e as câmaras frigoríficas devido a furo ou ruptura de linha	136	40	26

Da análise dos resultados verifica-se que o maior alcance do nível de concentração de Amônia correspondente à probabilidade de 1% de fatalidade da população exposta alcança a distância de 48 metros e de 50% de fatalidade alcança a distância de 28 metros.

Não se verifica a presença de ocupações sensíveis no interior dos raios de alcance dos níveis de concentração de Amônia.

7.3 Reavaliação dos riscos

Os riscos individual e social serão reavaliados considerando a aplicação da medida preventiva e mitigadora 2.

A Tabela 7-9 abaixo apresenta as distâncias correspondentes aos níveis de risco individual com variação de uma ordem de magnitude. O perfil do risco individual está apresentado na Figura 7-3, comparado com o critério de tolerabilidade adotado pelo INEA.

Tabela 7-9: Distâncias correspondentes aos níveis de risco individual após a MM 2

Risco individual (/ano)	Distância (m)
1,00 E-09	32
1,00 E-10	39
1,00 E-11	44
1,00 E-12	47

A observação dos contornos de iso-risco indica que o nível de risco individual de 10^{-6} /ano, considerado pelo INEA como limite de aceitabilidade para instalações novas não é alcançado.

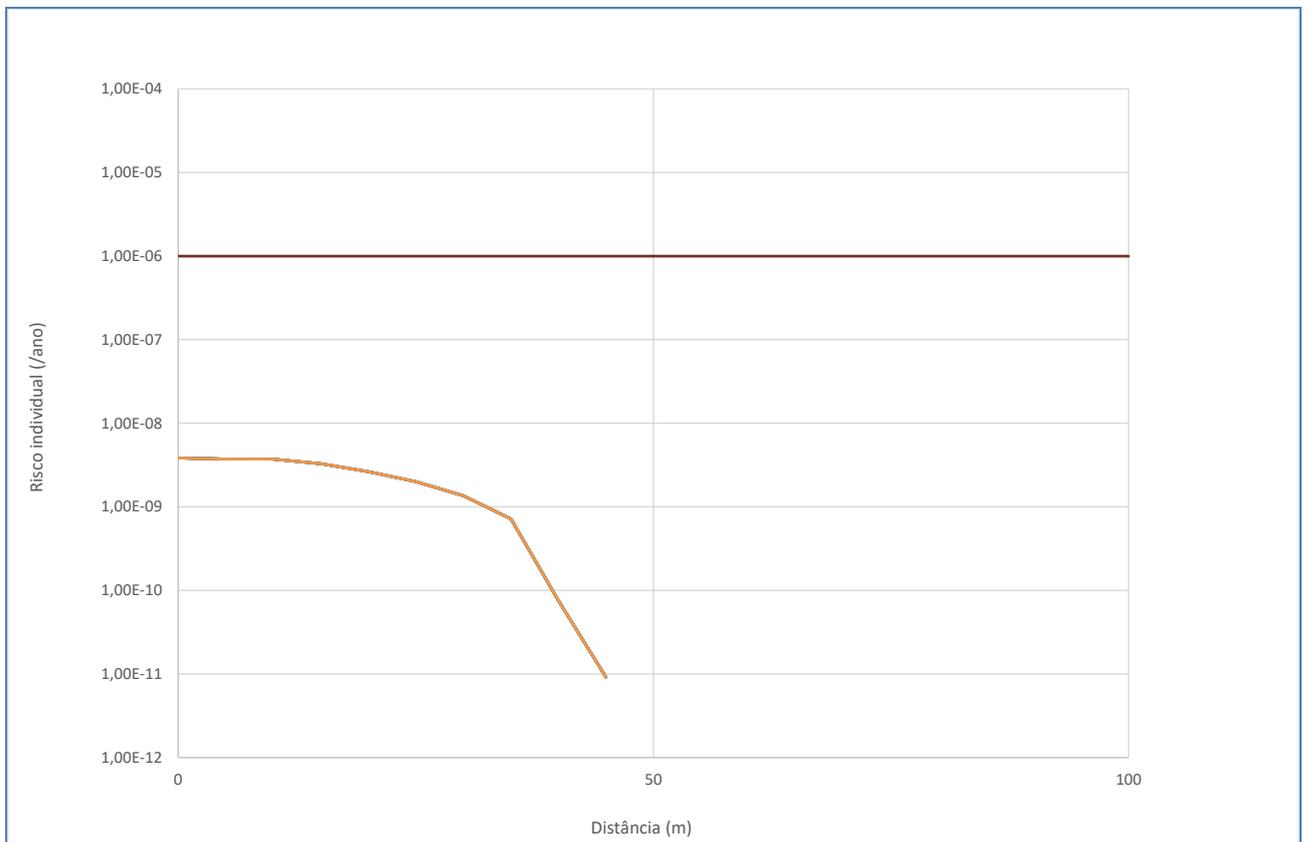


Figura 7-3: Perfil de risco individual após a MM 2

O risco social não será calculado devido a inexistência de ocupações sensíveis no interior dos raios de alcance dos efeitos físicos letais pesquisados. Abaixo a Tabela exprime o percentual de mitigação que a MM2 teve sobre a instalação:

Tabela 7-10: Percentual de mitigação dos níveis de risco individual

Risco individual (/ano)	Distância (m)
1,00 E-05	100%
1,00 E-06	100%
1,00 E-07	100%

O cálculo do risco individual após a MM2 indicou que o nível de 10^{-6} /ano, considerado pelo INEA como limite de aceitabilidade para instalações novas, não é alcançado. O risco social após a MM2 não foi calculado devido a inexistência de ocupações sensíveis no interior dos raios de alcance dos efeitos físicos letais pesquisados.

8 CONCLUSÃO

Este estudo teve como principal objetivo avaliar as diferenças entre o gás HCFC, Amônia e Dióxido de Carbono considerando parâmetros de risco ambiental e de segurança do trabalho. Para a análise de risco ambiental foram utilizados parâmetros bibliográficos e para a análise de segurança do trabalho utilizou-se o estudo de análise de risco como ferramenta principal de verificação da Amônia devido a sua alta toxicidade.

O Tratado de Montreal estabelece que até 2030 todos os gases da família CFCs devem ser banidos do mercado. Devido a esse tratado, pode-se inferir que o empreendedor atuou de maneira prudente optando por elidir o gás freon do seu sistema de refrigeração. Entretanto, a escolha do gás Amônia pode não ter sido a melhor decisão devido as suas propriedades toxicológicas citadas nesta dissertação.

O gás HCFC não necessita de estudo de análise de risco para a sua implementação, além de não apresentar registros de acidentes graves na literatura.

Por esses motivos, ficou constatado que o gás HCFC não representa perigos à população situada ao redor da instalação.

Assim como o freon, o Dióxido de Carbono não necessita de estudo de análise de risco e não apresentar um caráter tóxico para saúde. A tabela 8-1 compara os três gases em questão apontando os seus prós e contras, a terceira coluna representa o impacto ambiental que cada tecnologia pode causar, e os parâmetros de comparação são seus índices ODP e GWP. A quarta coluna é composta pelo risco a segurança dos trabalhadores e a saúde humana.

Tabela 8-1: Comparativo entre Amônia, HCFC e CO₂

Opção	Características	Impacto Ambiental	Risco de Segurança	Prós	Contras
Amônia	<ul style="list-style-type: none"> -Ponto de ebulição: -33 °F -Peso molecular: 17,03g -Calor latente de vaporização: 1371.2 J -Ponto de fusão: -77,7 °C 	<ul style="list-style-type: none"> -ODP: 0 -GWP: 0 	<ul style="list-style-type: none"> -Letal a seres humanos -Irritação e desconforto aos olhos a 150ppm -Destruição das vias nasais 1500ppm 	<ul style="list-style-type: none"> -Nenhum dano ambiental -Eficiência energética de 25% em relação ao HCFC nesta planta 	<ul style="list-style-type: none"> -Alta toxicidade para população vulnerável -Requer MM para licenciamento ambiental -Inflamável a certas concentrações
HCFC	<ul style="list-style-type: none"> -Ponto de fusão: -175.42 °C -Ponto de ebulição: -40.7 C -Peso molecular: 86.47g -Densidade: 3.66 kg/m³ 	<ul style="list-style-type: none"> -ODP: 0,55 -GWP: 1760 	<ul style="list-style-type: none"> -Sufocamente em altas concentrações -Vertigem, sonolência, dor de cabeça e náusea 	<ul style="list-style-type: none"> -Não há casos de acidente -Não é inflamável 	<ul style="list-style-type: none"> -Alto potencia de destruição da camada de ozônio -Alto potencial de intensificar aquecimento global -Necessidade de substituição da tecnologia nos conformes do Protocolo de Montreal
CO₂	<ul style="list-style-type: none"> - Peso molecular: 44.010g - Ponto de fusão: -56,57°C - Ponto de ebulição: -489°C 	<ul style="list-style-type: none"> -ODP: 0 -GWP: 1 	<ul style="list-style-type: none"> - Sufocamento e perda de consciência a 50.000ppm no ar -Danos a sistema nervoso 	<ul style="list-style-type: none"> -Nenhum dano a camada de ozônio -Não é inflamável -Maior eficiência (efeito volumétrico) 	<ul style="list-style-type: none"> -Altas pressões de funcionamento

Levando em consideração os quesitos de impacto ambiental, a Amônia seria o gás ideal para ser utilizado no sistema de refrigeração. O gás não gera nenhum dano a camada de ozônio e não contribui para a intensificação do aquecimento global. Não se pode afirmar o mesmo para o HCFC, que é o gás que mais destrói a camada de ozônio e contribui para o aquecimento global, sendo este a pior opção para aspectos ambientais. O CO₂ não gera nenhum dano a camada de ozônio, e pode-se afirmar que é irrelevante para a intensificação do aquecimento global por possuir GWP igual a 1, visto que existem gases que possuem GWP de 20.000 para um horizonte de tempo de 100 anos como o hexafluoro sulfurico (SF₆). Escala-se então HCFC, Dióxido de carbono e Amônia, em ordem de degradação ambiental.

Devido a toxicidade da Amônia, verificou-se que o empreendedor ignorou os princípios de segurança inerente, e fez uma substituição de uma tecnologia pouco perigosa por uma muito perigosa. A Amônia é indubitavelmente a pior opção para os quesitos de segurança do trabalho, vide sua inviabilidade de funcionamento pelo risco social e individual. Os riscos que o Dióxido de carbono possui são muito similares ao do HCFC, ambos não são inflamáveis e seus riscos a saúde humana são devido a diminuição de oxigênio quando estão presentes.

De acordo com o estudo de eficiência efetuada pela empresa REFRIGERAÇÃO LTD, a Amônia na instalação atual possui um rendimento 25% maior do que o HCFC, entretanto, considerando o gráfico de efeitos volumétricos que foi apresentado na dissertação, o CO₂ possui um rendimento ligeiramente maior do que Amônia e o HCFC, em ordem de rendimento respectivamente.

Pode-se concluir que a respeito da escolha do gás refrigerante, o Dióxido de carbono seria a melhor opção, mas necessitando de materiais resistentes para seus compressores, vasos e evaporadores, pois devido a sua alta pressão estes podem se romper com frequência. Importante ressaltar que independente da escolha do gás refrigerante, seria necessário seguir os princípios de segurança inerente.

Avaliando o cenário real de substituição, infere-se que escolha do empreendedor acabou acarretando algumas consequências para empresa. Inclusive, no que se refere à falta de análises preliminares de viabilidade técnica e econômica, cabe ressaltar que se a referida câmara frigorífica fosse construída nos fundos do terreno do empreendedor, aonde há uma área não edificada suficiente para construir essa câmara frigorífica, não seria necessário submeter ao INEA um estudo de análise de

riscos ambientais, pois as edificações sensíveis do entorno do empreendimento estariam a no mínimo 700 metros de distância da casa de máquinas, isto é, estariam fora das áreas consideradas pelo INEA como sendo de áreas de riscos inadmissíveis.

Através do estudo de análise de risco, verificou-se que o risco que a instalação irá representar está fora dos limites de tolerabilidade de INEA. Por este motivo, foram criadas duas medidas mitigadoras de risco para tornar o funcionamento da instalação viável. Como apresentado, a colocação de válvulas de contenção de vazamento (MM1) conseguiu controlar o risco individual enquadrando dentro dos limites de tolerância, porém, o risco social ainda permanecia fora do limite de tolerabilidade.

Considerando o enclausuramento da instalação de Amônia e implementação de sistema de abatimento de gases (MM2), o sistema de refrigeração com Amônia atende aos limites de tolerabilidade para risco individual e social do INEA. Mesmo com o risco controlado, o empreendedor poderá optar por realizar ambas medidas mitigadoras para reduzir o risco ao mínimo possível e levando em consideração a segurança dos cerca de 300 profissionais que trabalham intramuros do empreendimento. Desta forma, o empreendedor terá mais segurança para seus próprios trabalhadores, visto que o INEA não possui limites de tolerabilidade de riscos internos. Com as duas medidas, a integridade da empresa ficará mais protegida, e mesmo ocorrendo uma falha no sistema de abatimento de gases, o sistema estará protegido pelas válvulas de contenção de vazamento.

Outro item importante que já foi destacado, é o fato de que o estudo de análise de risco só foi realizado quando foi solicitado pelo INEA para regulamentação da licença ambiental. Como a obra da instalação já estava quase finalizada, não foi possível realizar medidas antecipadas que tornassem viável a instalação como a construção do sistema de refrigeração afastado das zonas vulneráveis por mais de 700 metros. O ideal seria que o estudo tivesse sido realizado quando do início da idealização do projeto, isto é, o mais antecipadamente possível, viabilizando a adoção de medidas de prevenção ainda na fase de elaboração dos projetos.

Para linhas de pesquisa que complementem essa dissertação recomenda-se dois tópicos:

- ✓ Realizar um estudo de gerenciamento de risco para a aplicação do CO₂ na refrigeração industrial;
- ✓ Realizar um levantamento financeiro para quantificar o quanto a Amônia pode representar em economia em relação ao uso do gás HCFC em instalações industriais de refrigeração, levando em conta os custos de: projetos e da construção das instalações; operação e manutenção preventiva e corretiva das instalações; implantação de programas de segurança do trabalho; consultoria para licenciamento ambiental, incluindo as taxas pertinentes; apólice de seguros; risco para a imagem e para a saúde financeira da empresa, em caso de acidentes; outros custos pertinentes.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (2005). **NBR 15331 - Turismo de Aventura — Sistema de Gestão da Segurança — Requisitos**. 2005.
- APOSTOLAKIS, G. E. **How Useful Is Quantitative Risk Assessment?** Risk Analysis, v. 24, n. 3, p. 515–520, 2004.
- ARENDT, J. S.; LORENZO, D. K. (2000) **Evaluating Process Safety in the Chemical Industry - A user guide to quantitative risk analysis**. American Chemistry Council and center for Chemical Process Safety.
- BERNECHEA, E. J.; ARNALDOS, J. **Optimizing the design of storage facilities through the application of ISD and QRA**. Process Safety and Environmental Protection, v. 92, n. 6, p. 598–615, 2013.
- BOSCH, C.; HABER, F. **A Síntese da Amônia: alguns aspectos históricos**. Aécio Pereira Chagas. v. 30, n. 1, p. 240–247, 2007.
- BRITO, R. M. L. D. (2013). **Responsabilidade Ambiental – Metodologia de Análise de Risco Ambiental**. p. 1–148, 2013.
- CAMARGO, A. M. **Inventário do ciclo de vida do metanol para as condições brasileiras**. Dissertação de Mestrado, p. 132, 2007.
- CATARINA, A. S. **Análise de Riscos em Projetos de Infra-estrutura : modelando a interface entre o gerenciamento de riscos de investidores e gestores em dois projetos do setor**. Universidade Federal de Santa Catarina - Programa de Pós-Graduação Engenharia de Produção. 2008.
- CETESB (2003). **Norma CETESB P4.261 - 2003 - Manual de Orientação para a elaboração de Estudos de Análise de Riscos**. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2003.
- CNMA (1986). **Resolução CONAMA n 1, de 23 de janeiro de 1986**. Publicada no DOU, 17 de fevereiro de 1986, Seção 1, páginas 2548-2549.
- CCPS (1989). **Guidelines for Process Equipment Reliability Data**. Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, New York.
- DEMAJOROVIC, J. **Geração e Distribuição de Riscos: Acesso a informações e**

a questão da vulnerabilidade dos países em desenvolvimento. 2006.

DINIZ, F.; OLIVEIRA, L. F.; BARDY, M.; VISCO, N. (2006). **Apostila do Curso sobre Estudo de Análise de Riscos e Programa de Gerenciamento de Riscos.** 2006.

EISENBERG N. A. (1975). **Vulnerability model. A Simulation System for Assessing Damage Resulting from Marine Spills.** U.S. Department of Commerce, 1975.

FERNANDO, L.; CALIL, P. **Metodologia para Gerenciamento de Risco : Foco na Segurança e na Continuidade.** 2009.

FORTES, F. S. D. (2011). **Influência do gerenciamento de riscos no processo decisório: análise de casos.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2011

FREITAS, C. M.; PORTE, M. F. S.; GOMEZ, C. M. **Acidentes químicos ampliados: um desafio para a saúde pública,** Centro de Estudo da Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana, Escola Nacional de Saúde Pública (Fiocruz), Rio de Janeiro, Brasil, 1995.

FISPQ (2015). **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos: R-22** Frigelar.

GENTILE, M. (2004). **Development of a hierarchical fuzzy model for the evaluation of inherent safety.** Texas A&M University, College Station. 2004

HEIKKILA, A. (1999). **Inherent safety in process plant design.** Technical research centre of Finland p. 1–132, 1999.

INEA (2014), **Identificação e gerenciamento de atividades de risco menor.**

INMET (2013). Portal eletrônico disponível em www.inmet.gov.br.

IPCC, 2007: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

IPCC, 2013: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

KIM, M. H.; PETTERSON, J.; BULLARD, C. W. (2003). **Fundamental process and system design issues in CO₂ vapor compression systems**, *Process in Energy and Combustion Science* vol. 30, p. 119-174, 2003.

KLETZ, T. A.; AMYOTTE, P. **Process Plants: A Handbook for Inherently Safer Design, Second Edition**, 2010.

LAWRENCE, D. (1996). **Quantifying Inherent Safety of Chemical Process Routes**. Loughborough University Institutional Respository. p. 248, 1996.

LESS, F. P. (1996). **Loss Prevention in the Process Industries – Hazard Identification, Assessment and Control**. Butterworths Heinemann.

LEVINE, A. C. **Saving Lives**. *Ymem*, v. 56, n. october, p. 69–70, 2010.

LIMA, M. L. M. **Licenciamento ambiental e gestão de riscos: o caso da usina hidrelétrica de Barra grande (RS)**. 2-6. 207p. Dissertação. Mestrado em Direito. Universidade de Santa catarina, Florianópolis.

LUTZ, W.; SANDERSON, W.; SCHERBOV, S. (1997). **Doubling of world population unlikely**. *Nature*, v. 387, n. 6635, p. 803–805, 1997.

MANSFIELD, D. P. (1994). **Inherently Safer Approaches to Plant Design**. London: AEA Technology. 1994

MAYELL, H. (2004). **As Consumerism Spreads , Earth Suffers , Study Says**. *National Geographic News*. p. 24–26, 2004.

MOHSHIM, D. F. B. H. **Application of Inherent Safety in Improving the Hazardous Area Classification Framework of Process Plant**. *Universiti teknologi petronas*. n. January, p. 3–4, 2012.

NARDOCCI, A. C., (1999). **Risco como instrumento de gestão ambiental**. Tese de doutorado D.Sc, Departamento de Saúde Ambiental, Universidade de São Paulo, SP, Brasil.

NEW HAMPSHIRE DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SERVICES (2010). Environmental Fact Sheet - **Chlorofluorocarbons (CFCs): Health Information Summary**. p. 2, 2010.

NUREG (1981). **Fault Tree Handbook**. U. S. Nuclear Regulatory Commission, 1981.

PAULO, S. **Influência do Gerenciamento de Riscos no Processo Decisório : Análise de Casos Decisório** . 2011.

PEREIRA, G. S. (2010). **Análise de sistemas de refrigeração a CO2 em supermercados**. Universidade Federal de Pernambuco. Curso de pós-graduação em engenharia mecânica

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (2004). **Um Guia do Conjunto de Conhecimento em Gerenciamento de Projetos**. Terceira edição. 2004

REYES, G. Z. (2008). **Layer of Protection Analysis Applied to Ammonia Refrigeration Systems**. Texas A&M University, College Station.

SANTOS, F. M.; MARANDOLA, E. **Risco ambiental e vulnerabilidade do lugar : um estudo sobre o entorno do Tebar em São Sebastião , litoral de São Paulo**. 2012.

SERPA, R. R. (1989). **Gerenciamento de riscos ambientais**. Desenvolvimento e Meio Ambiente, n. 5, 101-107. jan/jun. 2002. Editora UFPR.

SLAM (2009). **Decreto nº. 42159 de 02 de dezembro de 2009**.

SOLA, A. V. H. (2011). **Modelo de decisão multicritério para substituição de tecnologias em sistemas industriais aplicado ao uso eficiente de energia**. Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, v. 9, p. 98, 2011.

STOLARSKI, S.; CICERONE, J. **Stratospheric Chlorine: a Possible Sink for Ozone**. p. 1–6, 1974.

TRBOJEVIC, V. M. **Risk criteria in EU**. 1992.

VÍLCHEZ, J. A.; CASAL, J. (2010) **El riesgo químico y el territorio**. Revista Catalana de Seguridad Pública, v. Noviembre , 2010.

VROM (2005). **Methods for the Calculation of Physical Effects (Yellow Book), Publication Series on Dangerous Substances (PGS 2)**. Second edition, The State Secretary of Housing Spatial Planning and the Environment, The Netherlands, 2005.

VROM (2005). **Guidelines for quantitative risk assessment (Purple Book), Publication Series on Dangerous Substances (PGS 3)**. Third edition, The State Secretary of Housing Spatial Planning and the Environment, The Netherlands, 2005.

VROM (2005). **Methods for Determining and Processing Probabilities (Red Book), Publication Series on Dangerous Substances (PGS 4)**. Second edition, The State Secretary of Housing Spatial Planning and the Environment, The Netherlands, 2005.

JOHN WILEY & SONS (2003). **Foundations of Risk Analysis: A Knowledge and Decision Oriented Perspective**. University of Stavanger, Noruega.

WMO (World Meteorological Organization), 2011: **Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010. Global Ozone Research and Monitoring Project—Report No. 52**, Geneva, Switzerland, 516 pp.

ZWETSLOOT, G. I. J. M.; ASKOUNES ASHFORD, N. **The feasibility of encouraging inherently safer production in industrial firms**. Safety Science, v. 41, n. 2-3, p. 219–240, 2003.