

EVERARDO JOSÉ DAS NEVES

ANÁLISE DE RISCO DE UMA CHAMINÉ  
NA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA

São Paulo  
2013

EVERARDO JOSÉ DAS NEVES

ANÁLISE DE RISCO DE UMA CHAMINÉ  
NA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA

Monografia apresentada à Escola Politécnica  
da Universidade de São Paulo, para obtenção  
do título de Engenheiro de Segurança do  
Trabalho.

São Paulo  
2013

## FICHA CATALOGRÁFICA

**Neves, Everardo José das**

**Análise de risco de uma chaminé na indústria petroquímica  
/ E.J. das Neves. -- São Paulo, 2013.**

**71 p.**

**Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança  
do Trabalho) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.  
Programa de Educação Continuada em Engenharia.**

**1.Chaminés 2.Análise de risco 3.Indústria petroquímica  
4.Segurança do trabalho I. Universidade de São Paulo. Escola  
Politécnica. Programa de Educação Continuada em Engenharia  
II.t.**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pois sem ele eu não teria forças para essa longa jornada e também a minha família que me suportou nesta caminhada.

Aos professores do curso de pós-graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho da Universidade de São Paulo pela dedicação na construção do conhecimento.

## RESUMO

Apresenta-se neste trabalho um estudo de caso sobre o risco envolvido em um cenário que forma uma mistura explosiva em uma chaminé que descarrega gases a alta pressão em um processo petroquímico em uma instalação industrial designada neste estudo como empresa X. A chaminé é um importante equipamento de segurança que queima todos os gases gerado no processo, além de permitir também o alívio de sobre pressão gerada dentro dos equipamentos. Manutenção em tubulações através de montagem e desmontagem, baixa vazão de gases e a própria ação do vento pode permitir a entrada de oxigênio o que transforma a sua atmosfera interna em condições de risco uma vez que pode acontecer um retorno de chama do queimador da chaminé. Para que ocorra este evento é necessário 1% de oxigênio do volume total de ar na chaminé o que pode ocasionar uma explosão. O objetivo deste trabalho é de propor melhorias para eliminar cenário de alto risco durante a realização de um estudo de perigos e operabilidade na Empresa X, através da instalação de um sistema para injetar nitrogênio no processo quando do retorno de chama o que torna mais segura as instalações, meio ambiente e a segurança das pessoas.

Palavras-chaves: Riscos. Chaminé. Oxigênio. Perigo e Operabilidade. Cenários.

## ABSTRACT

This work presents a study of the risk involved in a scenario that forms an explosive mixture in a stack discharge of gases at high pressure in a petrochemical in an industrial facility designated in this study as company X. The stack is important safety equipment, which captures all the gases generated in the process, and allows also relief of pressure generated within the equipment. Maintenance in pipelines through assembly and disassembly, low gas flow and wind action itself can allow the entry of oxygen which makes its internal atmosphere in conditions of risk since it can happen a return of the burner flame of the stack. For this event to occur is necessary 1% oxygen the total volume of air in the stack which can cause an explosion. The objective of this work is to propose improvements to eliminate high-risk scenarios during a study of hazards and operability at Company X, through the installation of a system to inject nitrogen into the process when of the flame return which makes it safer installations, environment and safety people.

Keywords: Risk. Stack. Oxygen. Hazard and Operability. Scenarios.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Cadeia petroquímica.....	11
Figura 2 - Tipos de chaminé.....	16
Figura 3 - Componentes de uma chaminé.....	17
Figura 4 - Limites de flamabilidade.....	22
Figura 5 - Explosão em fábrica.....	27
Figura 6 - Fábrica petroquímica.....	38
Figura 7 - Fluxograma básico do controle para queima do flare.....	52
Figura 8 - Diagrama de processo e instrumentação.....	54
Figura 9 - Detalhe ponto A queimador.....	55
Figura 10 - Detalhe do ponto C injeção de nitrogênio.....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classe de líquidos inflamáveis.....	19
Tabela 2 - Classe de líquidos combustível.....	20
Tabela 3 - Propriedades dos gases.....	21
Tabela 4 - Acidentes em processo.....	25
Tabela 5 - Acidentes por efeitos.....	25
Tabela 6 - Níveis de efeitos utilizados nas simulações.....	32
Tabela 7 - Planilha de perigos e operabilidade.....	41
Tabela 8 - Matriz de classificação de riscos.....	47
Tabela 9 - Classificação da frequência dos riscos.....	49
Tabela 10 - Classificação da severidade dos riscos.....	50
Tabela 11 - Estudo de perigo e operabilidade nó 10.....	58
Tabela 12 – Matriz de riscos.....	59
Tabela 13 - Medição dos gases na chaminé.....	60
Tabela 14 - Comparativo de limites de oxigênio.....	61
Tabela 15 - Flamabilidade dos produtos.....	61
Tabela 16 - NÓ 1.....	65
Tabela 17 - NÓ 1.1.....	66
Tabela 18 - NÓ 2.....	67
Tabela 19 - NO 2.1.....	68
Tabela 20 - NÓ 2.2.....	69
Tabela 21 - NÓ 2.3.....	70
Tabela 22 - NÓ 5.....	71

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
1.1 OBJETIVO.....	13
1.2 JUSTIFICATIVA.....	13
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>14</b>
2.1 INTRODUÇÃO.....	14
2.2 DESCRIÇÃO E TIPOS DE CHAMINÉ.....	15
2.3 DETALHES DE UMA CHAMINÉ.....	16
2.4 MATÉRIA PRIMA NO PROCESSO.....	18
2.5 CLASSIFICAÇÃO DE LÍQUIDOS INFLAMÁVEIS E COMBUSTÍVEIS.....	19
2.6 PROPRIEDADE DOS GASES.....	20
<b>2.6.1 Ponto de fulgor.....</b>	<b>20</b>
<b>2.6.2 Temperatura de ignição.....</b>	<b>21</b>
<b>2.6.3 Limite de flamabilidade de um gás.....</b>	<b>21</b>
2.7 HISTÓRICO DE ACIDENTE.....	22
<b>2.7.1 Evolução dos acidentes.....</b>	<b>23</b>
<b>2.7.2 Acidente com inflamáveis.....</b>	<b>23</b>
2.8 ACIDENTE COM CHAMINÉ.....	26
2.9 EFEITOS FÍSICO DE PRODUTOS PERIGOSOS NO PROCESSO.....	27
2.10 EFEITOS DE UMA EXPLOSÃO PARA ANÁLISE DE RISCO.....	31
2.11 METODOLOGIA DE ANÁLISE DE RISCO.....	34
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>38</b>
3.1 TREINAMENTO E CAPACITAÇÃO.....	39
3.2 METODOLOGIA DA ANÁLISE.....	40
3.3 INDICADORES DE RISCO.....	46
3.4 PROCESSO EM ESTUDO.....	51
3.5 PROJETO DE PROTEÇÃO DA CHAMINÉ.....	52
<b>4. RESULTADO E DISCUSSÃO.....</b>	<b>57</b>
4.1 ANÁLISE DE RISCO DA CHAMINÉ.....	58
4.2 AMOSTRAGEM DOS GASES.....	59

<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>62</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>65</b>

# 1. INTRODUÇÃO

A indústria petroquímica no Brasil começa no início dos anos 50, quando um novo produto passou a ter uma demanda intensiva no Brasil: o plástico. Em meio ao clima desenvolvimentista e modernizador do período, o consumo crescia rapidamente, sinalizando a necessidade de estabelecer uma indústria nacional capaz de atendê-lo. Até então, o país supria suas necessidades com importações.

A cadeia petroquímica figura 1 é organizada em produtores de primeira, de segunda e de terceira geração com base na fase de transformação de várias matérias-primas ou insumos petroquímicos. Representa a transformação de subprodutos do refino do petróleo bruto, principalmente nafta ou gás natural, em bens de consumo.

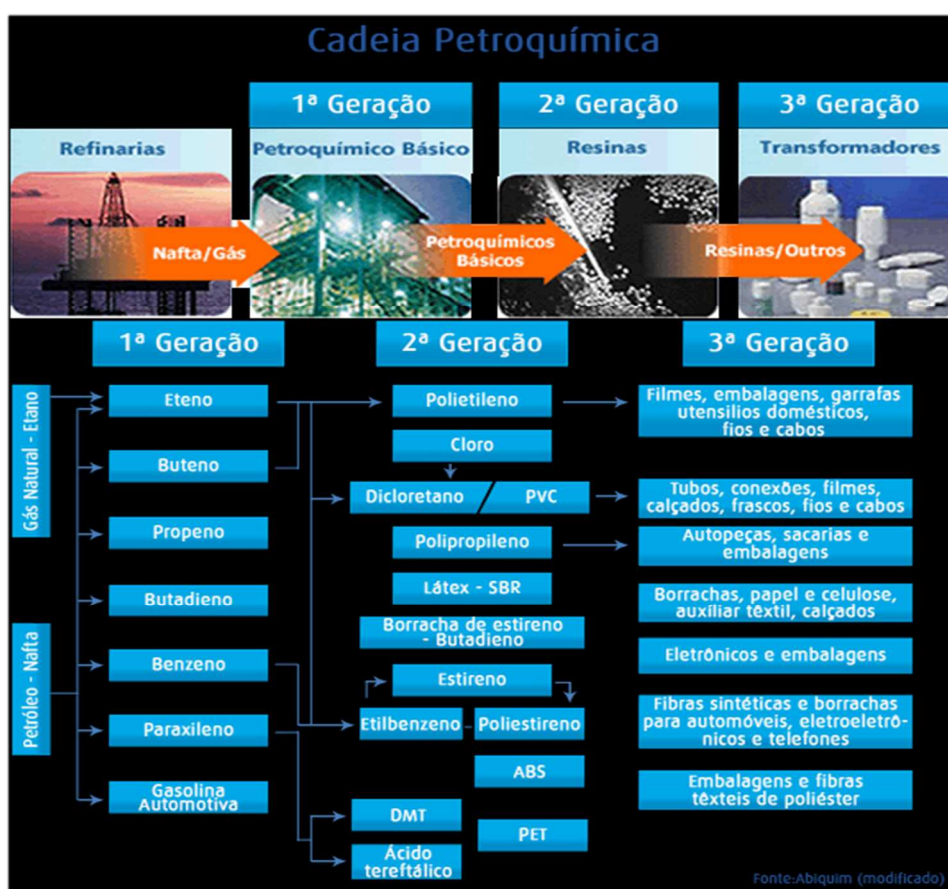


Figura 1 - Cadeia petroquímica  
Fonte: ABIQUIM

No Brasil, a nafta é a principal matéria-prima da cadeia petroquímica, seguida do gás natural. A Petrobras é praticamente a única produtora de nafta e gás natural no Brasil, atendendo parte da demanda nacional com produção própria e com importações. Seu monopólio foi quebrado em 2002 e desde então, as centrais petroquímicas começaram a importar por conta própria, para complementar suas necessidades.

O Petróleo, do latim *petra* = rocha e *oleum* = óleo é o nome dado as misturas naturais de hidrocarbonetos que podem ser encontradas no estado sólido, líquido ou gasoso, a depender das condições de pressão e temperatura a que estejam submetidos. O petróleo tanto pode aparecer em uma única fase como pode se apresentar em mais de uma fase em equilíbrio.

A nafta e ou gás passam inicialmente por um processo chamado “craqueamento”, que resulta nos petroquímicos básicos, tais como eteno, propeno e aromáticos e que a Empresa X converte em resinas. O tipo de matéria-prima empregado tem rendimentos variados e determina um mix diferenciado de produtos.

Sob o nome hidrocarbonetos existe uma grande variedades de compostos de carbono e hidrogênio que quimicamente, de acordo com certas características, são agrupados em séries. Mais de quinze séries de hidrocarbonetos já foram identificadas, sendo que umas são encontradas com maior frequência que outras. As mais comumente encontradas são as parafinas, as oleofinas e os hidrocarbonetos aromáticos. Dentro de uma mesma série podem ser encontrados desde compostos muito leves e quimicamente simples, como o metano da série das parafinas, a compostos bem mais pesados e quimicamente complexos.

Na série das parafinas encontram-se os hidrocarbonetos parafínicos normais ou alcanos, assim, a série dos alcanos é constituída do metano ( $\text{CH}_4$ ), etano ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), propano ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ), Butano ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ).

Na série das olefinas, os hidrocarbonetos mais comuns são os alcenos, e que dentre eles o eteno ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ) e o propeno ( $\text{C}_3\text{H}_6$ ) e dentre os hidrocarbonetos aromáticos o benzeno ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ), o tolueno ( $\text{C}_7\text{H}_8$ ) e o naftaleno ( $\text{C}_{10}\text{H}_8$ ).

Agregados a mistura de hidrocarbonetos vem sempre certa quantidade de impurezas, sendo os mais comuns o dióxido de carbono, o oxigênio, o nitrogênio, o gás sulfídrico e alguns outros compostos de carbono. A infinita variedade de composições das misturas de hidrocarbonetos, aliada à variação de tipos de teores de impureza, faz com que praticamente todas as misturas tenham características diferentes na cor, viscosidade, massa específica e etc.

### **1.1 Objetivo**

Propor melhorias para eliminar o cenário de alto risco na formação de mistura explosiva na chaminé de descarga de hidrocarbonetos a alta pressão na unidade industrial da Empresa X em um complexo petroquímico, identificado durante realização de um estudo de Perigos e operabilidade.

### **1.2 Justificativa**

A chaminé é um importante equipamento de segurança para o qual é direcionado todos os hidrocarbonetos de alívio do processo, além de permitir aliviar a sobre pressão gerada dentro dos equipamentos.

A entrada de 1% de oxigênio do volume total da chaminé seja por manutenção em tubulações através da montagem ou desmontagem, por baixa vazão na queima dos gases ou pela movimentação do ar gera uma atmosfera explosiva na chaminé.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Várias publicações foram analisadas durante a revisão da literatura que inclui livros relacionados a processos petroquímicos entre outros como *The John Zink Combustion HandBook*, NFPA - *National Fire Protection Association*, AIChE - *American Institute Chemical Engineer*, API - *American Petroleum Institute*, Reatividade química, informações de processo da Empresa petroquímica X, assim como vários sites de associações de Engenheiros além da metodologia de análise de perigos e operabilidade.

### 2.1 Introdução

Durante a operação de muitas fábricas de produção de hidrocarbonetos, existe a necessidade de controlar as condições do processo de alívio dos gases e ou líquidos. Em situações de emergências, válvula de alívio age automaticamente para limitar a sobre pressão dentro dos equipamentos e por muitas décadas no século passado, o alívio de pressão era lançado individualmente ou coletivamente, para a atmosfera sem ser queimados (CCPS, 1995)

Essa situação começou a mudar, quando das preocupações de lançamentos de gases no meio ambiente e na segurança no processo, assim os gases começaram ser direcionados para queimadores continuamente em todo o ciclo de vida do processo.

Na década de 1950 John Steele Zink e Robert Reed inventou com sucesso a primeira chaminé para queima dos hidrocarbonetos. O sistema de chaminé deve ser visto como sistema de segurança final nas unidades industriais, evitando que, devido a situações de anormalidades como pressão no interior das linhas e equipamentos ultrapassem os valores máximo admissível de operação e que lance o gás sem se queimar.

A operação consiste conduzir gás por uma tubulação vertical, na qual na ponta se queima o gás, formando uma chama oscilante de grande intensidade de calor.

## 2.2 Descrição e tipos de chaminé

A chaminé figura 2 em uma fábrica é um equipamento pouco divulgado mais de fundamental importância para segurança das instalações e o meio ambiente, na qual em seu projeto inicial é levado em consideração uma série de fatores como sua localização, área disponível, velocidade do vento, nível de ruído posição, radiação térmica entre outros. Assim, cada chaminé tem seu projeto próprio, adaptado às condições a que deverá atender focando sempre a segurança do processo, o meio ambiente e as pessoas.

A chaminé proporciona um meio seguro de eliminação segura dos fluxos de gases sob condição controladas de tal forma que equipamentos adjacentes ou pessoas não são expostos a riscos e, ao mesmo tempo, obedecendo a regulamentações ambientais e controle da produção.

O processo químico utilizado para a queima é uma reação de oxidação a alta temperatura para queimar os componentes combustíveis, principalmente os hidrocarbonetos. Na combustão, o hidrocarboneto gasoso (gás natural, propano, etileno, propileno, butadieno, o butano e etc) reage com o oxigênio atmosférico para formar o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e água. A eficiência do sistema é de aproximadamente 99%.

Tipos de chaminé

**Self Supported:** é normalmente mais utilizado. No entanto, custa mais, uma vez que precisam de mais material para assegurar a sua integridade mecânica para auto sustentação.

**Guy-wire supported:** é menos caro, mas requer uma área maior para fixação através de cabos.

***Derrick supported:*** somente utilizado quando se tem e a indisponibilidade de terreno.

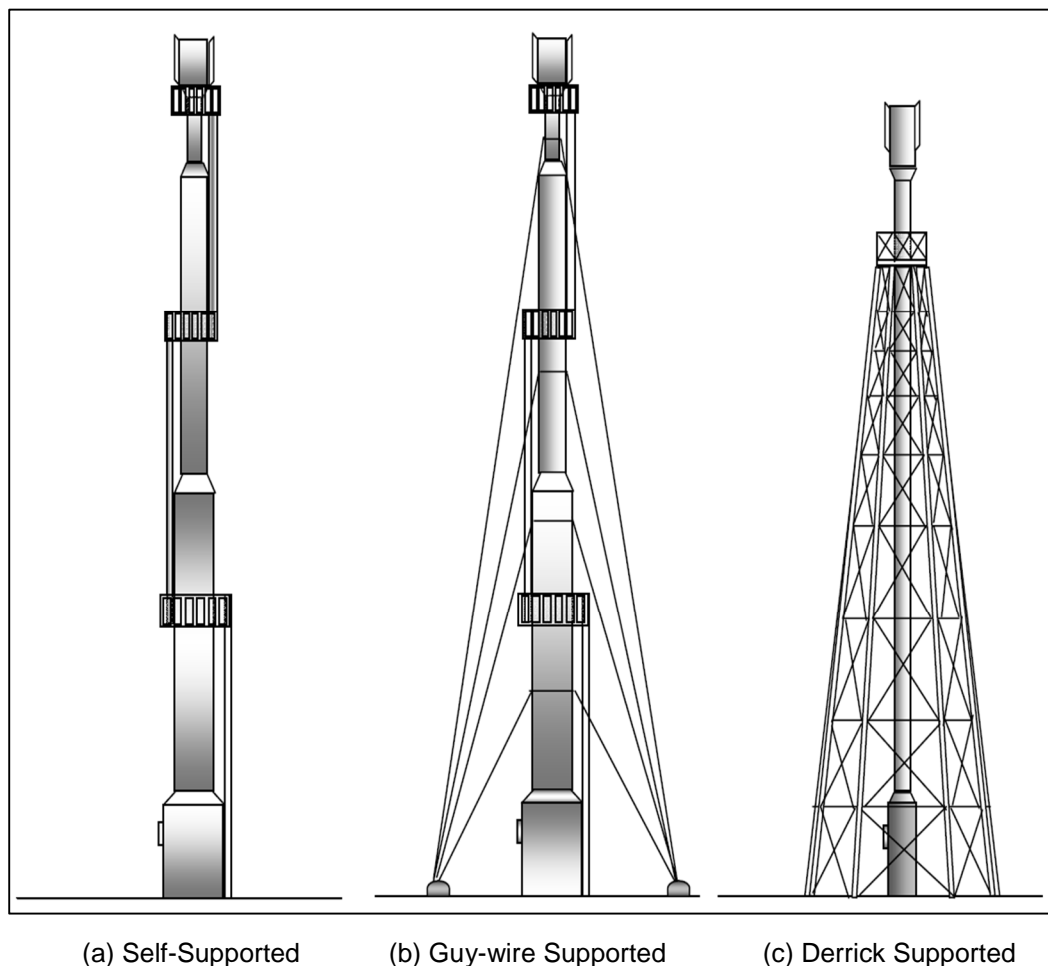


Figura 2 - Tipos de chaminé  
Fonte: API 537, 2013

### 2.3 Detalhes de uma chaminé

A chaminé figura 3 normalmente é formada por três componentes: chaminé, selo e queimador (*Stack, Seal, Tip*). O sistema contém outro elemento adicional, normalmente um vaso de separação de líquido (*knock-out drum*), completa com alguns outros componentes auxiliares como pilotos, ignitores, instrumentação de controle, proteção incluindo as válvulas de segurança e a rede de alívio de pressão existente nas unidades industriais.

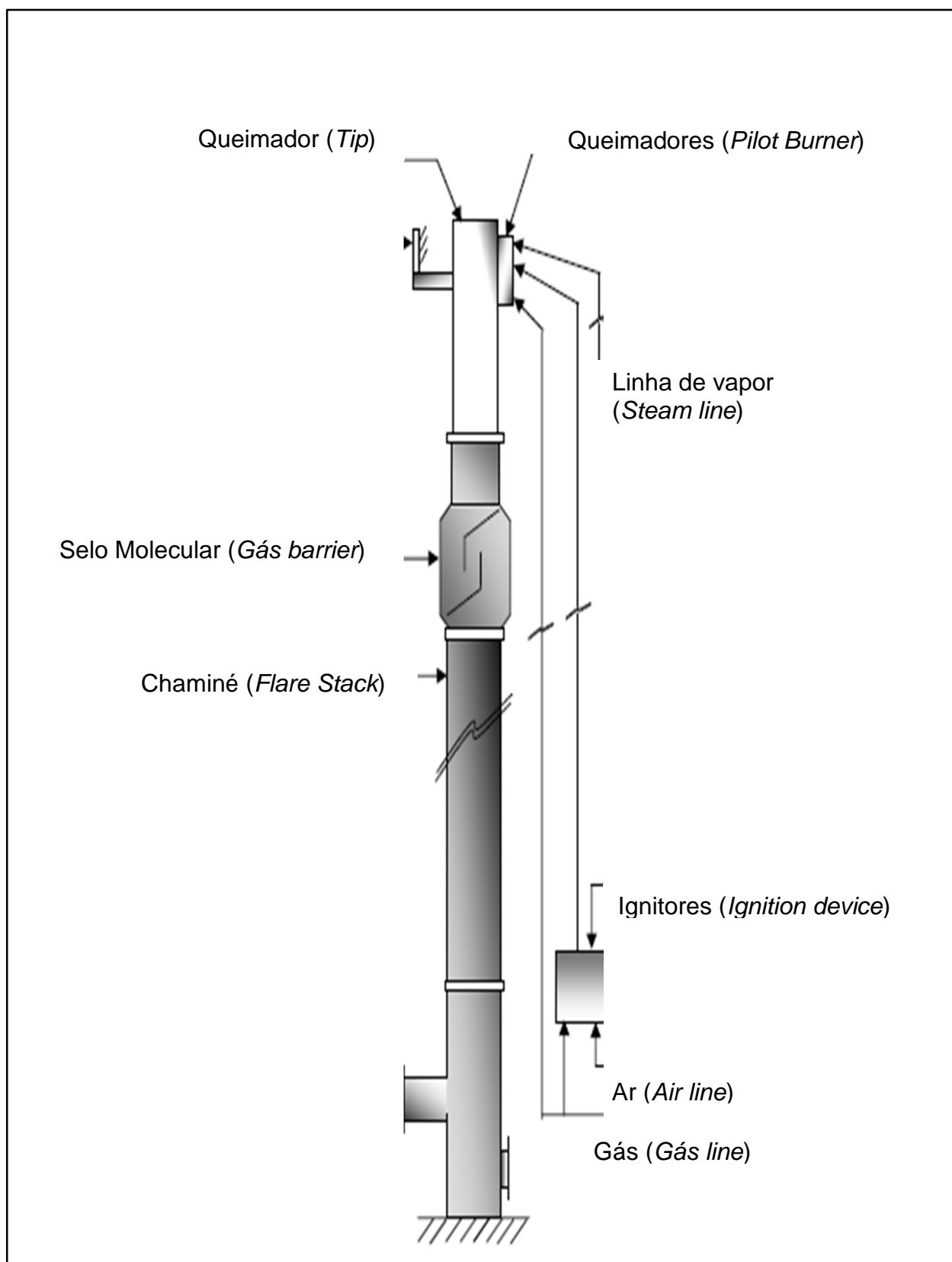


Figura 3 - Componentes de uma chaminé  
Fonte: KR Engenharia, 2013

## 2.4 Matéria prima no processo

O gás natural é uma mistura que ocorre naturalmente de hidrocarbonetos leves, acompanhados por vários outros compostos. Os constituintes não hidrocarbonados em gás natural varia consideravelmente de um campo de gás para outro. Alguns destes compostos são ácidos fracos, tais como sulfeto de hidrogénio e dióxido de carbono e etc.

Hidrocarbonetos de elevado peso molecular presentes em gases combustíveis naturais são importantes como por exemplo o etano que pode ser separado para ser utilizado como matéria-prima para o craqueamento a vapor para a produção de etileno. Propano e butano são recuperados a partir de gás natural e vendido como o gás liquefeito de petróleo (GLP).

O principal produto utilizado no processo da Empresa X e que passa pela descarga da chaminé e etano, propano e seus derivados. Abaixo uma descrição do petroquímico de primeira geração.

### Etano

O etano, cuja fórmula química é  $C_2H_6$ , é um hidrocarboneto gasoso alifático saturado, inflamável, incolor e inodoro. É o segundo membro da série dos hidrocarbonetos alcanos (parafinas). Encontra-se no petróleo, no gás natural. Apresenta-se comercialmente na forma gasosa.

### Propano

O propano consiste num hidrocarboneto alifático saturado, de fórmula  $C_3H_8$ . É um gás incolor e inodoro, terceiro membro da série dos alcanos, que se obtém como subproduto na produção do coque e nas refinarias de petróleo. Apresenta-se comercialmente na forma líquida.

Os produtores de petroquímicos de terceira geração processam as resinas comprada das unidades de craqueamento de gás, produzindo petroquímicos intermediários que incluem:

- Polietileno, poliestireno (produzidos a partir do eteno);
- Polipropileno e acrilonitrila (produzidos a partir do propeno).

## 2.5 Classificação de líquidos inflamáveis e combustíveis

Os Gases e Líquidos Inflamáveis são substâncias que misturadas ao ar e recebendo calor adequado entram em combustão e para que ocorra a combustão de um gás se faz necessário três condições:

- A presença de gás em quantidade suficiente;
- A presença de ar em quantidade suficiente;
- A presença de uma fonte de ignição.

De acordo com as padrões (NFPA 325, 2002) classifica os líquidos inflamáveis tabela 1 e combustíveis tabela 2 em três classes: Classe I, Classe II e Classe III e essas classes referem-se à classe de inflamabilidade de um produto.

### Líquido inflamável

Classe	Ponto de fulgor	Exemplo
I	Abaixo de - 4°C	Eter
II	Entre 4°C e 21 °C	Álcool etílico
III	Entre 21°C e 93,3°C	Querosene

Tabela 1 – Classe de líquidos inflamáveis

## Líquido combustível

Classe	Ponto de fulgor	Exemplo
II	Entre 37,7°C e 60 °C	Ácido acético
III	Entre 60°C e 93,3°C	Nitrobenzeno

Tabela 2 - Classe de líquidos combustível

Líquidos de classe I (NFPA 49, 2002) , quando liberados para a atmosfera em grandes quantidades pode produzir grandes volumes de gases, especialmente quando os tipos mais voláteis (tais como a gasolina, propano, propeno, o etano, o etileno, o butano, etc). Estes tipos de substâncias inflamáveis devem ser tratados de forma muito conservadora, uma vez que podem cobrir grandes áreas antes de atingir concentrações seguras.

Líquidos de classe II, quando liberados para a atmosfera produz vapores perto de seu ponto de lançamento quando aquecido acima do seu ponto de inflamabilidade. Querosene e diesel, por exemplo, não gera muito, porque eles produzem pequenas quantidades de vapor quando aquecidos acima dos seus pontos de inflamabilidade.

Líquidos da Classe III não são geralmente considerados para a classificação de área, porque a extensão da área de risco é muito pequena e apenas perto do ponto de lançamento. Quando a concentração de gás ou vapor está dentro de sua faixa de explosividade em proporções com o ar que irá produzir oxidação rápida figura 4. O calor produzido durante a oxidação irá começar na fonte de ignição e espalhar rapidamente para longe a partir desta fonte, camada por camada, sendo cada camada constituída por uma mistura de gás ou vapor.

## 2.6 Propriedade dos gases

### 2.6.1 Ponto de fulgor

Ponto de fulgor ou *flash point* tabela 3 é a menor temperatura na qual líquidos inflamáveis começam a desprender gases e vapores inflamáveis que entram em combustão ao contato com um a fonte de calor, porém, uma vez removida a fonte de

calor, as chamas não se mantêm devido a insuficiência de gases e vapores desprendido

Considerando a temperatura ambiente numa região de 25° C e ocorrendo um vazamento de um produto com ponto de fulgor de 15° C, significa que o produto nessas condições está liberando vapores inflamáveis, bastando apenas uma fonte de ignição para que haja a ocorrência de um incêndio ou de uma explosão. Por outro lado, se o ponto de fulgor do produto for de 30° C, significa que este não estará liberando vapores inflamáveis

### 2.6.2 Temperatura de ignição

Auto Ignição é a temperatura na qual uma concentração de gás inflamável explode sem a presença de uma fonte de ignição figura 3.

Os gases que passam pelo processo apresenta as seguintes características.

Gás	Limite de Flamabilidade (vol.%)	Ponto de fulgor (°C)	Temperatura de autoignição (°C)
Etano	3.0 - 12.5	-135	515
Propano	2.1 - 9.5	-156	468

Tabela 3 - Propriedades dos gases

### 2.6.3 Limite de flamabilidade de um gás

A presença de um gás inflamável ou vapor no ar, não é suficiente para provocar uma explosão (Jonhson, 2003). Uma explosão ocorrerá apenas quando o gás ou vapor é misturado oxigênio numa proporção em que a concentração de gás ou vapor esta dentro de certos limites figura 4.

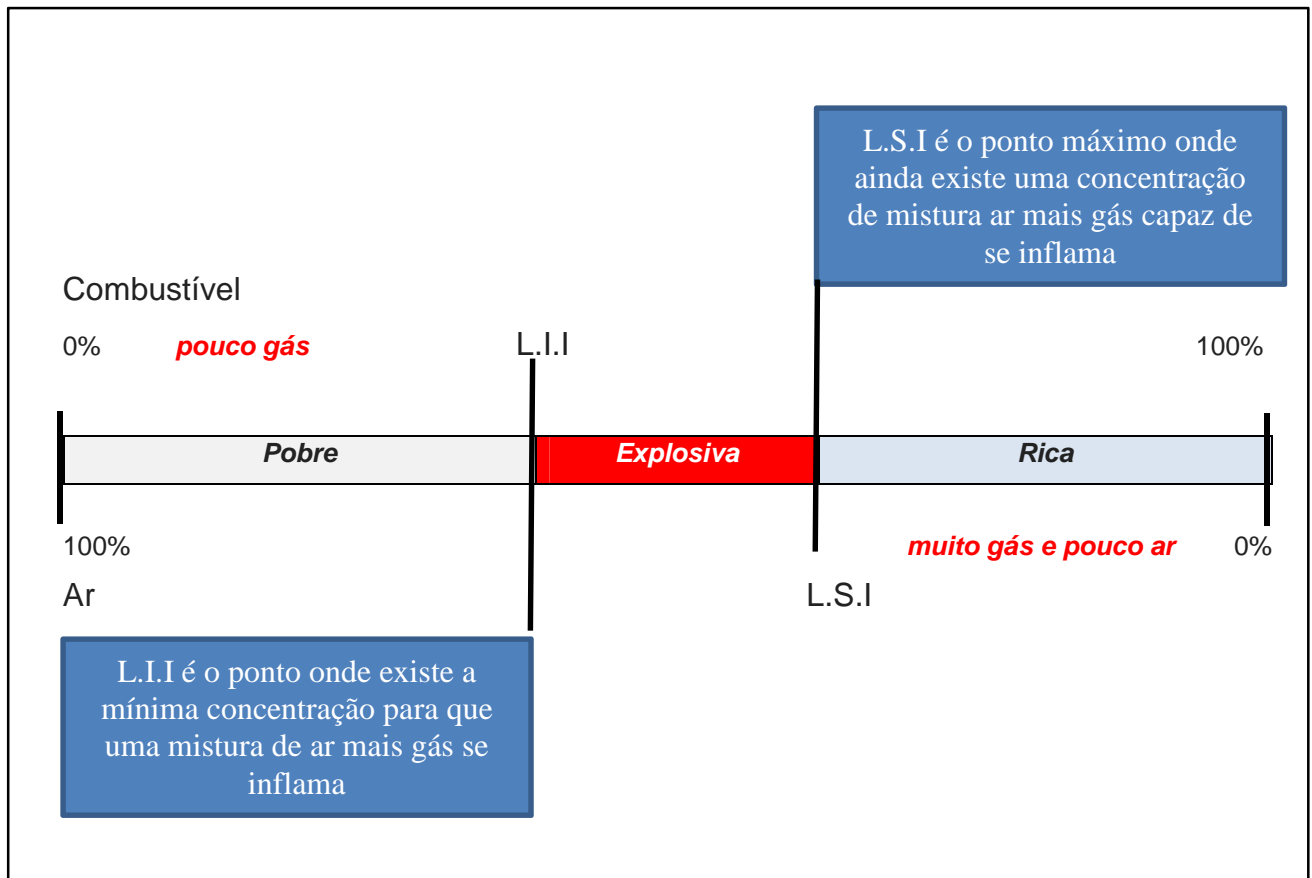


Figura 4 - Limites de inflamabilidade

## 2.7 Histórico de acidentes

A análise histórica de acidentes ocorridos com os produtos etano e propano foi realizada sobre a base de dados MHIDAS - *Major Hazard Incident Data Service*, desenvolvido por AEA Technology/*Major Assessment Unit on the United Kingdom Health and Safety Executive*.

O período considerado para os acidentes da análise histórica foi a partir de 1960, por levar-se em conta que só a partir de então se denotou o desenvolvimento da petroquímica no mundo, acompanhado da intensificação da preocupação com a segurança dos processos e fábricas industriais que vinham sendo instaladas e com o registro dos acidentes ocorridos para posteriores análises.

Ainda segundo o autor citando SIVIERI (1995), a prevenção de acidente é a:

Atitude para o conhecimento, análise e julgamento de potencialidades dos riscos e a disposição para intervir e evitar a ocorrência de possíveis danos aos trabalhadores e ao meio ambiente.

### **2.7.1 Evolução dos acidentes**

Até 1950, verifica-se um baixo número de acidentes, cuja origem reside, principalmente, em problemas na estocagem e/ou transporte, podendo ainda ser observados problemas no processo ou em válvulas de processo. O baixo número de registros pode não ser necessariamente devido à baixa ocorrência de acidentes, mas à não acessibilidade aos registros destes ou, mais provavelmente, à não elaboração dos mesmos.

Após este período, com o gradativo crescimento e evolução da Indústria petroquímica, constata-se uma elevação no número de acidentes reportados, isto devido tanto ao aumento do número de indústrias, como ao início de um controle de acidentes mais rigoroso, o que resultou no maior índice de registros.

### **2.7.2 Acidente com inflamáveis**

Acidentes envolvendo incêndios ocorrem desde que o homem começou a usar inflamáveis líquidos ou gasosos. Síntese desde eventos é registrada por Davenport (1977), Strehlow e Baker (1976), Lees (1980) e Lenoir e Davenport (1993). A presença de gases ou líquidos inflamáveis pode resultar em um *BLEVE* ou incêndio, se o combustível disponível for suficiente para gerar uma nuvem explosiva.

A probabilidade de tais ocorrências pode ser reduzida se o projeto for bem concebido e atender todos os padrões de engenharia e confiabilidade. Estes padrões incluem alívio de pressão, sistema de purga, manutenção, programas de inspeção, gerenciamento de fatores humanos e talvez o mais importante a plena compreensão e apoio dos gestores responsáveis na gestão de risco. No entanto, apesar de todas essas precauções, os acidentes ainda podem ocorrer, às vezes resultando em morte,

ferimentos graves, danos às instalações, perda de produção e danos à reputação da empresa.

Os modelos matemáticos para calcular as consequências de tais eventos devem ser empregados a fim de apoiar os esforços em direção à mitigação de suas consequências. Medidas mitigadoras podem incluir a redução da capacidade de armazenamento, a redução de volumes em processo, modificação de localização da fábrica e layout, incluindo a localização das salas de controle e etc.

Entre os gases envolvidos na Empresa X, tem: etano e propano e seus derivados como eteno, propeno, buteno, butadieno, hidrogênio, nitrogênio e gás natural.

Entre os acidentes ocorridos com gases em geral, foram identificados primeiramente com os eventos de equipamentos de processo tabela 4, ocorridos com gases inflamáveis (etano e propano envolvidos no processo), em seguida, foram levantados os acidentes ocorridos por tipo de explosão, apresentados na tabela 5.

De qualquer forma, cada empresa tem que encontrar um ponto de equilíbrio, peculiar as suas necessidades, atividades e expectativas, que lhe permita continuar com seus negócios envolvendo o comprometimento da administração dos clientes, dos fornecedores, dos parceiros, dos trabalhadores e da sociedade, com produtos de qualidade a custos competitivos, em meio ambiente de trabalho seguro e saudável, em harmonia com o meio ambiente e com uma atuação socialmente responsável. BOMBARDI E MOTTI.

Acidente em processo	Gás	
	Etano	Propano
Vaso atmosférico	2	6
Equipamento processo aquecido (1)	3	
Trocador de calor (2)		2
Tubulação (3)	2	16
Dutos (4)		17
Vasos pressurizados		32
Vaso de processo (5)		3
Bombas (6)		2
Reator		2

Tabela 4 - Acidentes em processo  
Fonte : MHIDAS

Nota da tabela 4

- (1) incluindo fornos, incineradores, chaminés, e outros;
- (2) incluindo casco e tubo, de placas, evaporadores, condensadores;
- (3) linhas de processo para transferência de produtos dentro dos limites da fábrica;
- (4) linhas de transferência de produtos fora dos limites da fábrica;
- (5) incluindo centrífugas, torres, colunas, secadores, destiladores, filtros, ciclones.
- (6) incluindo todo tipo de bombas, compressores, ejetores e ventiladores.

Efeitos de uma explosão	Gás	
	Etano	Propano
BLEVE		6
Jato de fogo		10
Explosão	1	36
Incêndio		52

Tabela 5 - Acidentes por efeitos  
Fonte : MHIDAS

## 2.8 Acidente com chaminé

A maior parte dos materiais manuseados não queima ou explode a menos que misturados com ar na proporção certa figura 4. Portanto, para prevenir fogos e explosões devemos manter os combustíveis dentro do processo e o ar fora do processo. O último é relativamente fácil, posto que a maioria das fábricas trabalha com pressão positiva, mas especificamente no caso de chaminé fica mais difícil.

Para equipamentos que operam a baixas pressões, tais como tanques de estocagem, chaminés, centrífugas e equipamentos despressurizados para manutenção, o nitrogênio é largamente utilizado para inertizar o processo.

Assim, o principal problema ao evitar fogo e explosões é impedir que produtos escapem do processo ou que o oxigênio entre para manter a integridade da fábrica. Da mesma forma no manuseio de produtos corrosivos e tóxicos. Eles são perigosos apenas quando vazam.

A figura 5 exhibe o resultado da explosão em uma grande chaminé em uma petroquímica. Supunha-se ter sido purgada com gás inerte, todavia o fluxo desse gás não era medido e, para economizar nitrogênio, foi restringido a quase zero. Houve entrada de ar pelos flanges parafusadas, cujas faces não eram usinadas. A chaminé tinha estado inativa por algum tempo e explodiu quando reacendida, tão logo um pouco de gás foi admitido na chaminé. A mistura de gás e oxigênio ascendeu pela chaminé até inflamar-se no contato com queimadores figura 3.



Figura 5 - Explosão em fábrica  
Fonte: Petroquímica Z

## 2.9 Efeitos físicos de produtos perigosos no processo

A avaliação dos efeitos físicos decorrentes de vazamentos de produtos perigosos, incêndios e explosões, dependendo do tipo de material e das condições em que este se encontra, pode requerer o uso de modelos matemáticos, os quais possibilitam o modelar de acordo com o tipo de evento abaixo.

- Descarga: Quantidades vazadas ou taxas de descarga de material (líquido, gasoso e bifásico);
- Evaporação súbita de líquidos superaquecidos;
- Espalhamento das poças de líquidos ou gases liquefeitos e evaporação;
- Dispersão de gases (leves ou pesados) na atmosfera;
- Determinação dos efeitos tóxicos e inflamáveis.

## Descarga

O cálculo das descargas devido a liberações acidentais de produtos perigosos é realizado de acordo com os modelos de consequências clássicos encontrados na literatura. O procedimento de cálculo da descarga varia conforme o estado em que o produto é liberado do sistema:

- **Líquido:** o sistema contém líquido e vapor no seu interior com o vazamento ocorrendo abaixo do nível de líquido;
- **Vapor:** o sistema contém líquido e vapor no seu interior com o vazamento ocorrendo acima do nível de líquido;
- **Bifásico:** na liberação de gás liquefeito por pressurização ou líquido superaquecido, a despressurização permite uma evaporação súbita fazendo com que o material seja liberado na forma de uma mistura de líquido e vapor;
- **Gás:** o produto no interior do sistema está todo no estado gasoso.

## Evaporização súbita

No caso de vazamento de um fluido pressurizado com ponto de ebulição abaixo da temperatura de operação em um vaso, a pressão de equilíbrio cai rapidamente à pressão atmosférica. Devido a esta expansão, ocorre evaporação de parte do líquido. Este tipo de evaporação é conhecido como evaporação inicial de “*flash*” ou vazamento do líquido para vapores condensados. O método para calcular a evaporação é baseado na expansão adiabática.

## Espalhamento de Poça

O líquido derramado irá formar uma poça de produto no local do evento. As dimensões reais e a forma desta poça são praticamente impossíveis de serem calculadas com exatidão, devido à complexidade do fenômeno.

Os principais fatores de influência são a topografia da região do vazamento, o tipo de solo, momento do líquido no vazamento e as condições atmosféricas. Todos esses dados podem variar consideravelmente em cada evento, além da dificuldade que existe para o seu tratamento matemático. Desta forma, inexistem um modelo matemático para o cálculo desse fenômeno.

Existem, porém, algumas premissas que permitem estimativas conservadoras do tamanho da poça. Basicamente, são feitas as seguintes considerações:

- A formação da poça se dá em um local plano, sem obstáculos e seu espalhamento é igual em todas as direções. Todas as poças simuladas são circulares.
- São desconsideradas absorções do material pelo solo
- É considerada uma espessura mínima de poça, de acordo com cada tipo de solo existente.

### **Evaporação de Poça**

São considerados basicamente dois tipos de líquidos a serem evaporados:

- **Líquido Não-Criogênico:** produto que é líquido a temperatura ambiente, com sua temperatura de ebulição superior à temperatura ambiente.
- **Líquido Criogênico:** substância que é gás à temperatura ambiente e cuja temperatura de ebulição é inferior à temperatura ambiente.

Para aqueles produtos não-criogênicos, a evaporação é provocada pela diferença na pressão de vapor na superfície do líquido e nos arredores. O método de cálculo é baseado no transporte da massa causado pela difusão e pelo efeito de arraste (provocado pelo vento).

No caso de vazamento de produtos criogênicos, como por exemplo, gases liquefeitos sob pressão, pode haver formação de poça onde se observa o contato de um líquido com temperatura muito baixa com o solo que está normalmente com

temperatura ligeiramente acima da temperatura ambiente. Esta diferença de temperatura faz com que haja uma intensa transferência de calor promovendo a evaporação do gás liquefeita e quanto maior for esta diferença, maior será a taxa de evaporação observada

## **Dispersão**

O Modelo Unificado de Dispersão – *Unified Dispersion Model* (UDM) utilizado no *PHAST* (*Process Hazard Analysis Software Tool*) e a sua modelagem considera as diversas forças que atuam na dispersão da nuvem e as diferentes fases que podem ser observadas durante esta etapa. Os pontos de destaque deste modelo são:

- É válido para qualquer tipo de gás: pesados, neutros e leves, não sendo necessária nenhuma adaptação no modelo;
- O jato de gás inicial é considerado como de elevado *momentum*, com o produto saindo com alta velocidade;
- Modela as alterações na densidade da nuvem ao longo da dispersão, considerando que o material liberado pode variar de gás pesado a gás leve ou neutro, conforme ocorre a entrada de ar na nuvem;
- Considera a altura real onde ocorre a liberação. Esta elevação irá facilitar a dispersão, já que menores valores de concentração de gás serão alcançados ao nível do solo e maiores concentrações para ocorrerão em pontos distantes da fonte.

## **Explosão**

Uma explosão é um processo caracterizado por súbito aumento de volume e grande liberação de energia, geralmente acompanhado por altas temperaturas e produção de gases. Uma explosão provoca ondas de pressão ao redor do local onde ocorre.

Explosões são classificadas de acordo com essas ondas: em caso de ondas subsônicas, tem-se uma deflagração, em caso de ondas supersônicas (ondas de choque), tem-se uma detonação

## 2.10 Efeitos de uma explosão para análise de risco

Para cada tipo de cenário acidental são especificados os níveis de efeitos a serem utilizados para determinação da área vulnerável. Os efeitos físicos normalmente considerados na análises de risco da Empresa X são:

- Incêndio em Nuvem
- Incêndio em poça
- Nuvem Tóxica
- Explosão
- BLEVE

Cada um desses efeitos físicos devem ser avaliado para diferentes níveis de dano, conforme estabelecido na tabela 6 a seguir.

<b>Tipo de Efeito Físico</b>	<b>Nível</b>	<b>Dano</b>
Incêndio em Nuvem	Limite Inferior de Inflamabilidade	100 % de fatalidade
Incêndio em poça Jato de Fogo Bola de Fogo	12 kW/m <sup>2</sup>	Probabilidade significativa de morte em exposição prolongada, queimaduras de primeiro grau em 10 segundos de exposição, queima de materiais, danos a alguns materiais sintéticos após alguns minutos de exposição; 1% de fatalidade em 35 segundos de exposição. Utilizando-se a equação de Probit definida por Einsenberg ( $Pr = -14,9 + 2,56 \ln(I^{4/3} * t * 10^{-4})$ )
	4 kW/m <sup>2</sup>	Dores em 20 segundos de exposição ou quebra de placas de vidro. Equivale a menos de 1% de queimaduras de primeiro grau em 20 segundos de exposição utilizando-se a equação de Probit definida no Green Book ( $Pr = -14,9 + 2,56 \ln(I^{4/3} * t)$ ).

Continua

Continuação		
Nuvem Tóxica	LC <sub>50_10</sub>	Concentração que provoca letalidade em 50 % dos que ficarem expostos por 10 minutos.
	LC <sub>10_30</sub>	Concentração que provoca letalidade em 10 % dos que ficarem expostos por 30 minutos.
	LC <sub>1_30</sub>	Concentração que provoca letalidade em 1 % dos que ficarem expostos por 30 minutos.
Explosão	7 psi (0,492 bar)	75 % de danos estruturais em casas e colapso de <i>pipelack</i> . Equivale a mais de 99% de danos estruturais, utilizando-se a equação de <i>Probit</i> definida por Einsenberg ( $Pr = -23,8 + 2,92 \ln \Delta P$ )
	2 psi (0,14 bar)	Limite inferior de danos estruturais sérios. Dano parcial em paredes de casas. Equivale a cerca de 16% de danos estruturais, utilizando-se a equação de <i>Probit</i> definida por Einsenberg.
	1 psi (0,07 bar)	Danos a estruturas de aço e painéis. Equivale a menos de 1% de danos estruturais, utilizando-se a equação de <i>Probit</i> definida por Einsenberg.
	0,3 psi (0,02 bar)	Distância segura; probabilidade de 95% de não ocorrer danos sérios; 10% de quebra de vidros. Equivale a mais de 3% de quebra de vidro, utilizando-se a equação de <i>Probit</i> definida por Einsenberg ( $Pr = -18,1 + 2,79 \ln \Delta P$ )

Tabela 6 - Níveis de efeitos utilizados nas simulações  
 Fonte: Empresa X, 2013

Os principais mecanismos utilizados para os cálculos dos efeitos físicos relativos à Explosão, Incêndio em Poça, Jato de Fogo, Bola de Fogo e BLEVE estão descritos abaixo.

- **Incêndio em Poça**

A liberação acidental de um líquido inflamável pode ocasionar a formação de poça, que seguida de ignição do material, dá lugar à ocorrência de incêndio em poça, com parte da energia liberada na combustão sendo emitida na forma de radiação térmica.

Para determinação da intensidade de radiação térmica para o meio ambiente a partir de um incêndio em poça, a superfície irradiante (da chama) é tomada como sendo um cilindro vertical reto, com diâmetro e altura definidos.

Calcula-se então a partir desta forma da chama, que é determinada em função do diâmetro da poça de líquido e da taxa de evaporação de produto, o fluxo térmico gerado a cada distância a partir do centro do incêndio

- **Jato de Fogo**

O modelo utilizado neste projeto para avaliação dos efeitos relativos a jato de fogo foi desenvolvido pela *SHELL*. O jato de fogo é modelado como um cone para o qual se considera a existência de uma zona inicial, onde pelo fato do jato estar com uma concentração muito alta do produto inflamável, não há chama.

- ***BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) e bola de fogo***

Quando a ruptura catastrófica de um vaso de pressão, em forma de *BLEVE – Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion*, cujos efeitos são geração de onda de sobre pressão e projeção de fragmentos e, se o fluido for inflamável, Bola de Fogo.

O fenômeno inicia com uma expansão do volume inicial de material liberado que causa uma onda de choque, que viaja mais rapidamente que a velocidade do som. O fluido expande-se esfericamente e inicialmente não se mistura com o ar. O momento deste fluido causa uma expansão até uma pressão abaixo da atmosférica, cujo resultado é uma onda de pressão negativa, em seguida à onda de choque.

Após a interface atingir seu diâmetro máximo, o diferencial de pressão causa uma onda que se movimenta para da superfície para o centro da explosão, que causa uma segunda, e menor, onda de choque. Os mais importantes parâmetros para prever danos estruturais em um determinado ponto são o pico de sobre pressão na primeira, e principal, onda de choque e o impulso para a duração da fase positiva desta onda

A Bola de Fogo é constituída dos vapores inflamáveis que formam um núcleo rico em gases que queima na medida em que há incorporação de ar. A queima ocorre da parte externa para a parte interna da bola de fogo e se caracteriza por emitir fluxos térmicos muito intensos

Com o aquecimento da mistura que constitui a bola de fogo, há uma elevação da mesma acima do nível do solo. As características mais importantes da bola de fogo (como diâmetro, altura máxima atingida e tempo de duração) são estimadas com base em modelos que derivam de observações empíricas e são todos funções da massa inflamável liberada no *BLEVE*.

## **2.11 Metodologia de análise de risco**

*Hazop* enfoca tanto os problemas de segurança, buscando identificar os perigos que pudessem colocar em risco os operadores e os equipamentos da instalação, como também os problemas de operabilidade, que pudessem causar paradas no processo produtivo, danos ao meio ambiente, afetar a qualidade do produto ou a eficiência do processo (Kletz, 1982).

A técnica de *Hazop* é essencialmente um procedimento indutivo qualitativo, no qual uma equipe examina um processo, gerando perguntas sobre o mesmo, de maneira sistemática. As perguntas, embora sejam estimuladas por uma lista de palavras-guia, surgem naturalmente através da interação entre os membros da equipe multidisciplinar (operação, segurança, manutenção, engenharia, automação e etc.). Logo, essa técnica de identificação de perigos consiste, fundamentalmente, numa busca estruturada das causas de possíveis desvios em variáveis de processo, ou seja, na temperatura, pressão, vazão ou composição, em diferentes pontos do sistema

(denominados nós de estudo ou simplesmente nós), durante a operação do mesmo. A busca dos desvios é feita através da aplicação de uma lista de "palavras-guia" para cada nó do sistema. Esta lista foi preparada, de modo a promover um amplo e irrestrito raciocínio lógico, visando detectar todas as anormalidades passíveis de ocorrer no processo (Kletz 1974).

O procedimento para execução do *Hazop* é sintetizado nos seguintes passos:

- Divide-se a instalação em sistemas a fim de facilitar a realização do *Hazop*;
- Escolhe-se um ponto do sistema analisado, denominado de nó;
- Aplicam-se as palavras-guia associadas aos parâmetros de processo gerando os desvios de processo possíveis de ocorrer em cada nó;
- Levantam-se as causas prováveis que pudessem provocar tais desvios de processo;
- Procura-se avaliar quais são os efeitos dos desvios;
- Verifica-se a possibilidade de eliminar as causas dos desvios ou pelo menos minimizar ou mitigar os seus efeitos;
- Estabelecem-se recomendações para eliminar as causas dos desvios ou para minimizar/mitigar os seus efeitos;
- Escolhe-se o próximo nó, uma vez que já tenham sido utilizadas todas as palavras-guia e os parâmetros de processo, previamente escolhidos;
- Reinicia-se o processo até que todos os sistemas tenham sido analisados pelo estudo.

Alguns outros aspectos influenciam no resultado. Os principais estão relacionados com a definição do sistema a ser analisado e ao mecanismo de busca de causas e consequências. Em relação a estes aspectos, os principais cuidados são:

- Estude a fábrica aos poucos, isto é, divida as seções maiores em segmentos relativamente simples. Sistemas muito complexos dificultam a seleção dos nós e demandam um número muito grande de reuniões até a sua conclusão. Um limite máximo de 30 nós deve ser respeitado.

- Mantenha as causas dos desvios dentro da seção em estudo, mas siga as consequências dos desvios o mais profundamente possível. A busca de causas em pontos muito distantes do nó que está sendo analisado indica que os nós estão muito espaçados ou a posição do nó que está sendo analisado está inadequada. A inexistência de novas causas em relação ao nó anterior indica que os dois nós estão muito próximos ou um deles é desnecessário

### **Definição de Nós**

Uma etapa fundamental no processo de realização de um *Hazop* é a seleção dos pontos do processo onde os desvios serão analisados. Estes pontos, também, conhecidos como nós do *Hazop*, determinarão o nível de abrangência do estudo. Uma boa escolha dos nós permitirá a realização de um estudo completo, mas com a otimização dos recursos.

Alguns critérios básicos norteiam a definição dos nós. Estes critérios estão listados a seguir:

- Quando ocorre uma mudança de estado ou composição relevante;
- Grandes equipamentos separados, com parâmetros de processo distintos (pressão, temperatura, fluxo, viscosidade, composição, etc);
- Interfaces com outros sistemas que possam interferir ou sofrer interferências do sistema em estudo.

Para atender a estes critérios, os nós devem estar localizados em

- Linhas e equipamentos relacionados aos maiores inventários de produtos perigosos;
- Entradas e saídas de reatores de processo;
- Entradas e saídas de colunas de separação;
- Entrada, saída ou interior de caldeiras ou fornos;
- Equipamentos sujeitos a pressurização excessiva;

- Interfaces com sistemas de chama e de abatimento de gases tóxicos.

Existe outra metodologia de análise de risco que trabalha na frequência do cenário chamada de Análise de proteção de camada (LOPA *layer of protection analysis*). LOPA é tipicamente aplicado após uma avaliação do perigo qualitativa (como *HazOp*) usando os cenários identificados pela equipe de avaliação de risco.

LOPA também pode ser utilizado para analisar os cenários que se originam a partir de qualquer fonte, incluindo investigações de incidentes. LOPA também pode ser aplicado pelo time ou por uma empresa contratada para estudar o caso quando

- acredita que o cenário é complexo demais para a equipe para fazer um razoável julgamento risco usando julgamento puramente qualitativa;
- as conseqüências são muito graves para confiar apenas no julgamento de risco qualitativa;
- Não entende bem o evento;
- Não entende a bem a sequência de eventos.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo de caso foi realizado na Empresa X figura 6 que fica instalada no Brasil e o empreendimento tem capacidade de produção anual de 700.000 toneladas de eteno a partir de etano e de 500.000 toneladas ano de propeno a partir do propano que é fornecido pela Petrobras. O produto final da empresa é o polietileno e polipropileno que destina a produção de sacolas plástica, peças para automóveis e etc.

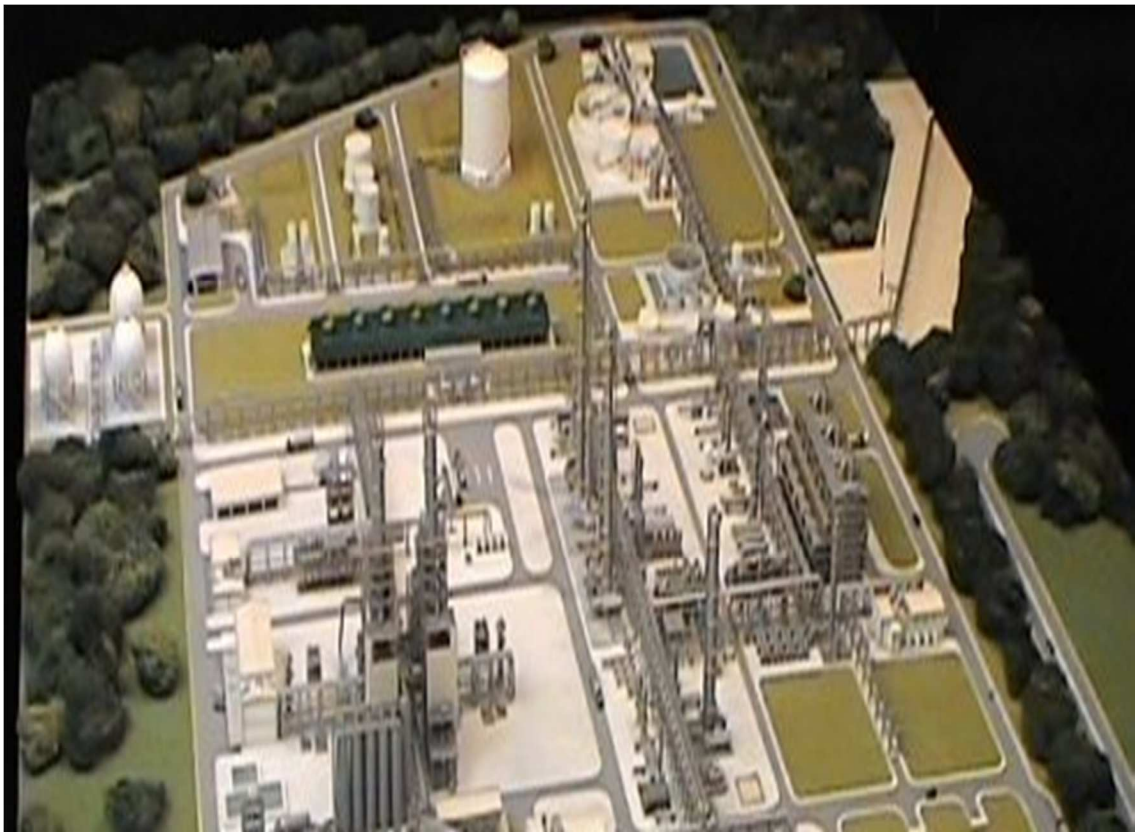


Figura 6 - Fabrica petroquímica  
Fonte : Empresa X, 2013

A disponibilidade de matéria-prima, próximo a Petrobras, determinou sua localização, o que não só favorece a redução de custos, como de segurança, pela menor distância a ser percorrida no transporte de matéria-prima por tubovias ou outros meios.

Quanto à modalidade de pesquisa adotada para a elaboração deste trabalho foi à pesquisa de campo, sendo as fontes de evidência utilizada:

- A coleta dos gases para análise de laboratório;
- Diagrama de Processo e instrumentação;
- Plano de treinamento;
- Ferramentas para análise de risco de processo.;
- Folha de especificação de equipamentos.

Utilizou-se para a realização deste trabalho o método do tipo levantamento, pois se procede análise de risco e classificação do mesmo, e ainda pela amostragem dos gases na descarga da chaminé.

A análise dos dados referentes à primeira parte do instrumento da coleta dos gases foi realizada na fábrica da Empresa X e referências bibliográficas.

Primeiramente os dados foram disponibilizados no formato de texto transcrito e organizado no formato de arquivos de texto, em planilhas eletrônicas e diagramas de processo e instrumentação.

### **3.1 Treinamento e capacitação**

Um dos focos da segurança seja do trabalho ou no processo começa no treinamento e conscientização do colaborador.

Aqueles que fazem manutenção e operaram a fábrica recebem treinamento suficiente em prevenção de acidentes. Na Empresa X todos os engenheiros, mecânicos, instrumentista, operadores, eletricitas e etc. passam por treinamento em segurança e prevenção acidentes como por exemplo APP – Análise preliminar de perigo, *Hazop* – perigos e operabilidade, análise de segurança da tarefa, DDS - diálogos de segurança, sinalização de placas informativas, matriz de classificação de

risco e além disto o procedimento interno da Empresa X solicita que seja feito no mínimo quatro simulados de emergência por ano e em vários turnos, dessa forma os trabalhadores são treinados para uma eventual emergência.

Os treinamentos de segurança para as operações no processo obedecerão aos critérios estabelecidos nos procedimentos internos e neles serão abordados riscos identificados como potenciais geradores de acidentes.

A grade mínima de treinamentos e a periodicidade serão definidas de acordo com a necessidade e serão revisadas anualmente pelo sistema de gestão.

### **3.2 Metodologia da análise**

A análise de riscos é uma metodologia para identificação dos perigos inerentes a uma instalação, avaliação de probabilidades de ocorrência dos cenários acidentais identificados, de suas consequências e danos para os trabalhadores, comunidade vizinha, meio ambiente e patrimônio da empresa.

A metodologia empregada segue os padrões internacionais para este tipo de análise, empregando os mesmos métodos de análise e modelos de cálculos adotados por várias instituições internacionais, como a da SRD (*Safety and Reliability Direct*) e o HSE (*Health and Safety Executive*), entre outros, além da experiência prévia da equipe.

Utiliza-se da técnica denominada *Hazop* - Estudo de perigos e operabilidade tabela 7 associada a Matriz de classificação de riscos tabela 8 que visa identificar os perigos e os problemas de operabilidade de uma instalação. Essa metodologia é baseada em um procedimento que gera perguntas de maneira estruturada e sistemática através do uso apropriado de um conjunto de palavras-guia.

O principal objetivo de um Estudo de Perigos e Operabilidade (*Hazop*) é investigar de forma minuciosa e metódica cada segmento de um processo, visando

descobrir todos os possíveis desvios das condições normais de operação, identificando as causas responsáveis por tais desvios e as respectivas consequências. Uma vez verificadas as causas e as consequências de cada tipo de desvio, a metodologia procura propor medidas para eliminar ou controlar o perigo ou para sanar o problema de operabilidade da instalação.

### Planilha para realização de *HazOp*

Para a realização do *Hazop*, será utilizada a planilha apresentada na tabela 7. O cabeçalho desta planilha identifica a instalação e subsistema que estão sendo analisados e o nó escolhido. Esta planilha contém 12 colunas, as quais são preenchidas conforme os passos abaixo

Estudo de Perigos e Operabilidade ( <i>Hazop</i> )											
Empresa:		Sistema:					Data:				
Elaborado por:											
Desvio	Causas	Fatores relevantes	Efeitos	Cat Freq	Cat Sev	Cat Risco	Recomendações	Cat Freq	Cat Sev	Cat Risco	#

Tabela 7 - Planilha de perigos e operabilidade  
Fonte: Empresa X, 2013

### 1ª Coluna: Desvios

- **Fluxo:** Fluxo maior; fluxo menor; nenhum fluxo; fluxo reverso;
- **Pressão:** Maior pressão; menor pressão
- **Temperatura:** Temperatura alta; temperatura baixa
- **Nível:** Mais nível; menos nível
- **Reação:** Mais reação; menos reação
- **Composição:** Composição Mais (Contaminação ou aumento de presença de um componente na mistura); Composição Menos (ausência ou redução da presença de um componente na mistura) – parte de; Composição outro que (substituição por outra substância)

### 2ª Coluna: Exemplos de tipos de Causas

- Alinhamento indevido, bloqueio, entupimento;
- Válvula check dando passagem;
- Abertura de vent de emergência;
- Aumento na capacidade da bomba;
- Conexão com outros sistemas;
- Restrição em linhas, filtros bloqueado;
- Drenagem indevida;
- Conexão (alinhamento) indevida com sistema de alta pressão;
- Falha de válvulas de alívio de pressão;
- Condições de vácuo, drenagem aberta, vazamentos;
- Condensação, bloqueio de válvulas;
- Falha em trocadores de calor;
- Reação fora de controle (exotérmica);
- Condições ambientais, redução de pressão;
- Composição ou uso de material inadequado;
- Concentração de sólidos;
- Evaporação de solvente;

- Mudança de fase.

### **3ª Coluna: Fatores relevantes**

Nesta coluna serão identificados fatores atenuantes ou agravantes, relacionados tanto com as causas identificadas como com os efeitos relatados, que possam significar aumento ou redução na frequência e severidade dos cenários em análise. (Ex: Existência/inexistência de: procedimentos, rotina de manutenção, treinamento dos operadores, entre outros).

### **4ª Coluna: Efeitos**

Os possíveis efeitos danosos de cada desvio identificado são listados nesta coluna. Os efeitos dos acidentes envolvendo produtos perigosos serão divididos em três categorias:

Efeitos Agudos a Pessoas e níveis elevados de sobrepressão gerada por explosões

- Formação de nuvem tóxica;
- Incêndio em poça;
- Bola de fogo;
- Jato de fogo;
- Explosão física;
- Incêndio/Explosão em nuvem;
- *BLEVE* (Explosão de Vapor Expandido de Líquido Fervente).

#### **Efeitos ambientais**

- Contaminação do solo;
- Contaminação dos recursos hídricos.

#### **Danos às instalações**

- Queda de estruturas metálicas;
- Queda de paredes de alvenaria.

### **5ª Coluna: Categoria de frequência**

Um cenário de acidente é definido como o conjunto formado pelo perigo identificado, suas possíveis causas e cada um dos seus efeitos. Cada cenário de acidente identificado é classificado de acordo com a sua categoria de frequência, a qual fornece uma indicação qualitativa da frequência esperada de ocorrência.

### **6ª Coluna: Categoria de severidade**

Os cenários de acidente são classificados em categorias de severidade, as quais fornecem uma indicação qualitativa do grau de severidade das consequências de cada um dos cenários identificados.

### **7ª Coluna: Categoria de risco**

Combinando-se as categorias de frequência com as de severidade obtém-se a matriz de riscos. A matriz é dividida em três regiões, sendo uma de Risco Baixo, outra denominada Risco Médio e a região de Risco Alto.

- Para o cenário na categoria de Risco Baixo não é obrigatório a proposição de medidas mitigadoras e estas são denominadas sugestões ou oportunidade de melhorias
- Para o cenário na categoria de Risco Médio, devem ser propostas medidas viáveis e que são denominadas recomendações. Estas recomendações devem obrigatoriamente tornar o risco do cenário em risco baixo
- Para o cenário na categoria de risco alto, neste caso, não é obrigatório propor recomendações durante o estudo de *HAZOP* ou estudos complementares. Para as recomendações, devem ser definidos pela Liderança, prazo e responsáveis para implementação das mesmas.

**8ª Coluna: Observações**

Nesta coluna serão descritas quaisquer observações pertinentes ao cenário de acidente em estudo.

**9ª Coluna: Recomendações**

As recomendações propostas pela equipe do estudo de risco serão descritas nesta coluna.

**10ª Coluna: Sugestões**

Esta coluna contém sugestões propostas pela equipe do estudo de risco. 11ª, 12ª e 13ª Colunas: Nova frequência, nova severidade e novo risco

Nestas três colunas, a frequência, severidade e risco serão reavaliados, considerando a implementação das recomendações propostas (para cenários nas categorias de risco médio e risco alto). Após a reclassificação do risco, serão tomadas decisões com relação à necessidade de novas análises, seguindo a mesma matriz utilizada anteriormente.

**Classificação dos riscos**

O objetivo final da realização de qualquer análise de riscos é a avaliação dos níveis de risco decorrentes da atividade analisada, visando, em última instância, a promoção de medidas mitigadoras caso os riscos sejam considerados inaceitáveis pelos responsáveis pela atividade. Assim sendo, para se fazer tal julgamento de forma consistente e, portanto, para se poder tomar decisões objetivas sobre investimentos em medidas mitigadoras de risco, há necessidade de se ter critérios de classificação de riscos, que indiquem claramente quais os níveis de riscos considerados aceitáveis pela empresa e, conseqüentemente, quais aqueles para os quais há necessidade de se tomar medidas adicionais de redução de riscos

### 3.3 Indicadores de risco

Os resultados de uma análise de riscos são apresentados através de estimativas qualitativas ou avaliações quantitativas dos chamados indicadores de risco, dependendo da natureza qualitativa ou quantitativa, respectivamente, da análise de riscos realizada. Os indicadores a serem utilizados nas análises de riscos das instalações da Empresa X estão representados na tabela 8.

Nas análises qualitativas, os indicadores de risco a serem utilizados são os seguintes:

- Categorias de frequência
- Categorias de consequência, e
- Categorias de risco.

Os resultados das avaliações desses indicadores deverão ser apresentados sob a forma de uma matriz de risco, onde o eixo vertical representa a categoria de severidade e o eixo horizontal representa a categoria de frequência. A categoria de risco é derivada a partir de combinações de pares de categorias de frequência e de consequências e apresentada no interior da matriz. O critério de aceitabilidade de riscos é aplicado sobre as categorias de risco, sendo feito através de delimitações de regiões da matriz de risco representativas das categorias de risco consideradas aceitáveis ou não, conforme apresentado no exemplo da tabela 8, a seguir:

Exemplo de Matriz de Classificação de Riscos		FREQUÊNCIA				
		Categoria 1 Improvável	Categoria 2 Remoto	Categoria 3 Ocasional	Categoria 4 Provável	Categoria 5 Frequente
SEVERIDADE	Categoria 4 Catastrófico	Amarelo	Amarelo	Vermelho	Vermelho	Vermelho
	Categoria 3 Crítica	Verde	Verde	Amarelo	Vermelho	Vermelho
	Categoria 2 Moderada	Verde	Verde	Verde	Amarelo	Vermelho
	Categoria 1 Baixo	Verde	Verde	Verde	Verde	Amarelo

■ Risco baixo    ■ Risco Alto    ■ Risco Médio

Tabela 8 - Matriz de classificação dos riscos

Fonte: Empresa X, 2013

### Classificação de Risco - Frequência

'Categoria	Código	Faixa de Frequência Associada	Exemplos
Frequente	FR	Maior que uma vez por ano ( $f \geq 1/\text{ano}$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>. <b>Em fábricas existentes:</b></li> <li>- Histórico de uma ou mais ocorrências por ano e nenhuma alteração feita no sistema.</li> <li>. <b>Em projetos:</b></li> <li>- Histórico de uma ou mais ocorrências por ano em fábricas similares.</li> <li>. <b>Erro humano:</b></li> <li>- Atividade frequente com inexistência de treinamento e procedimento, em presença de condições de trabalho adversas</li> </ul>

Categoria	Código	Faixa de Frequência Associada	Exemplos
Provável	PR	Esperado na vida útil da instalação ( $1 < f \leq 100$ anos)	<p><b>Em plantas existentes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Histórico de ocorrência menor que 1 por ano ou situação que já esteve próxima de ocorrer e nenhuma alteração feita no sistema.</li> <li>- Ruptura ou quebra de equipamentos reconhecidamente degradados ou com inspeção deficiente.</li> <li>- Em cenários com produtos perigosos, presença de vários (mais de 50) elementos sujeitos a vazamento (flanges, juntas, gaxetas, selos, condições degradadas ou inspeção deficiente).</li> </ul> <p><b>Em projetos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Histórico de ocorrência menor que 1 por ano ou situação que já esteve próxima de ocorrer em plantas similares</li> <li>- Em cenários com produtos perigosos, presença de vários (mais de 50) elementos sujeitos a vazamento (flanges, juntas, gaxetas, selos, condições degradadas ou inspeção deficiente).</li> </ul> <p><b>Erro humano:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Inexistência de treinamento e procedimento, em presença de condições de trabalho adequadas</li> </ul>
Ocasional	OC	$(100 < f \leq 10.000)$ anos)	<p><b>Em plantas existentes ou projetos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Falha única de equipamento (não relacionados com vazamentos em equipamentos estáticos sujeitos a inspeção)</li> <li>- Em cenários com produtos perigosos, presença de poucos (menos de 50) elementos sujeitos a vazamento (flanges, juntas, gaxetas,</li> </ul>

Categoria	Código	Faixa de Frequência Associada	Exemplos
			<p>selos), equipamentos não degradados mas com inspeção deficiente.</p> <p><b>Erro Humano:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cenários que dependem de falha única, humana em condições adequadas, com treinamento e procedimento</li> </ul>
Remoto	RE	(10.000 < f ≤ 1.000.000 anos)	<p><b>Em plantas existentes ou projetos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Falha dupla de equipamentos.</li> <li>- Ruptura de equipamentos estáticos, linhas e acessórios sujeitos a inspeção</li> <li>- Em cenários com produtos perigosos, presença de poucos (menos de 50) elementos sujeitos a vazamento (flanges, juntas, gaxetas, selos, condições e inspeção adequadas).</li> </ul> <p><b>. Erro Humano:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dupla falha humana em condições adequadas, com treinamento e procedimento.</li> </ul>
Improvável	IM	(f > 1.000.000 anos)	<p><b>Em plantas existentes ou projetos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ruptura por falha mecânica de vasos de pressão com inspeção, sem histórico de sobrecarga de pressão, temperatura ou vibração, sem histórico de comprometimento por trincas ou perda de espessura.</li> <li>- Falha de vários sistemas de proteção</li> </ul> <p><b>. Erro Humano:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Múltiplas falhas humanas em condições adequadas, com treinamento e procedimento.</li> </ul>

Tabela 9 - Classificação da frequência dos riscos

Fonte: Empresa X, 2013

## Classificação de Risco - Severidade

CATEGORIA	DESCRIÇÃO
Baixo	- Acidente Sem Afastamento (SAF sem restrição); ou - Incêndio restrito ao equipamento de origem do problema; ou - Impacto ambiental de pequena magnitude com alcance interno ou externo ou reversível com ações imediatas; ou - Perdas abaixo de US\$ 100, 000.00; ou - Registro pontual na mídia local (município).
Moderado	- Acidente Com Afastamento (CAF) ou SAF com restrição; ou - Evasão de funcionários; ou - Impacto de magnitude considerável, porém reversível com ações mitigadoras restrito à área da empresa; ou - Perdas acima de US\$ 100, 000.00; ou - Registro não pontual na mídia local (município) ou registro pontual a nível estadual.
Crítico	- Vítimas com lesões incapacitantes permanentes ou até 10 vítimas fatais; - Evasão de comunidade externa; ou - Impacto que paralisa o sistema de tratamento de efluentes; ou - Impacto de magnitude considerável, porém reversível com ações mitigadoras que extrapolam a área da empresa; ou - Perdas acima de US\$ 500, 000.00; ou - Registro não pontual na mídia estadual ou registro pontual a nível nacional.
Catastrófico	- Mais de 10 Vítimas fatais; ou - Impacto irreversível ou de difícil reversão mesmo com ações mitigadoras ou impacto de grande magnitude e grande extensão, além dos limites da empresa; ou - Perdas acima de US\$ 10,000, 000.00; ou - Registro não pontual na mídia nacional ou registro internacional.

Tabela 10 – Classificação da severidade dos riscos

Fonte: Empresa X, 2013

## Crítérios de classificação de Risco

- **Risco Baixo:**

Região para qual não há necessidade de redução obrigatória de riscos e medidas propostas são consideradas sugestões.

- **Risco Médio:**

Tem que ser propostas, medidas para redução do risco que deverão efetivamente reduzir o risco para região de risco baixo.

- **Risco Alto:**

Deve ser propostas recomendações de caráter obrigatório que deverão efetivamente reduzir o risco para pelo menos região de risco médio quando implementadas

Caberá à Liderança da área definir prazo e responsável para implementação das recomendações

### **3.4 Processo em estudo**

A Empresa X recebe a matéria prima da Empresa Y, sendo o etano na forma gás e o propano na forma líquida, e estes produtos são armazenados em tanques (no formato de uma esfera).

A matéria prima passa por vários fornos, e é direcionado para a um outro equipamento (torre de quench) que separa os hidrocarbonetos leves dos pesados. Logo em seguida os hidrocarbonetos passam por uma limpeza caustica para retirada das impurezas como por exemplo sulfeto de hidrogênio.

Uma vez sem as impurezas os mesmos são direcionados para outras unidade para a produção de resinas.

Em todas as fases do processo gera gás e que é direcionado para queima na chaminé conforme fluxograma na figura 7

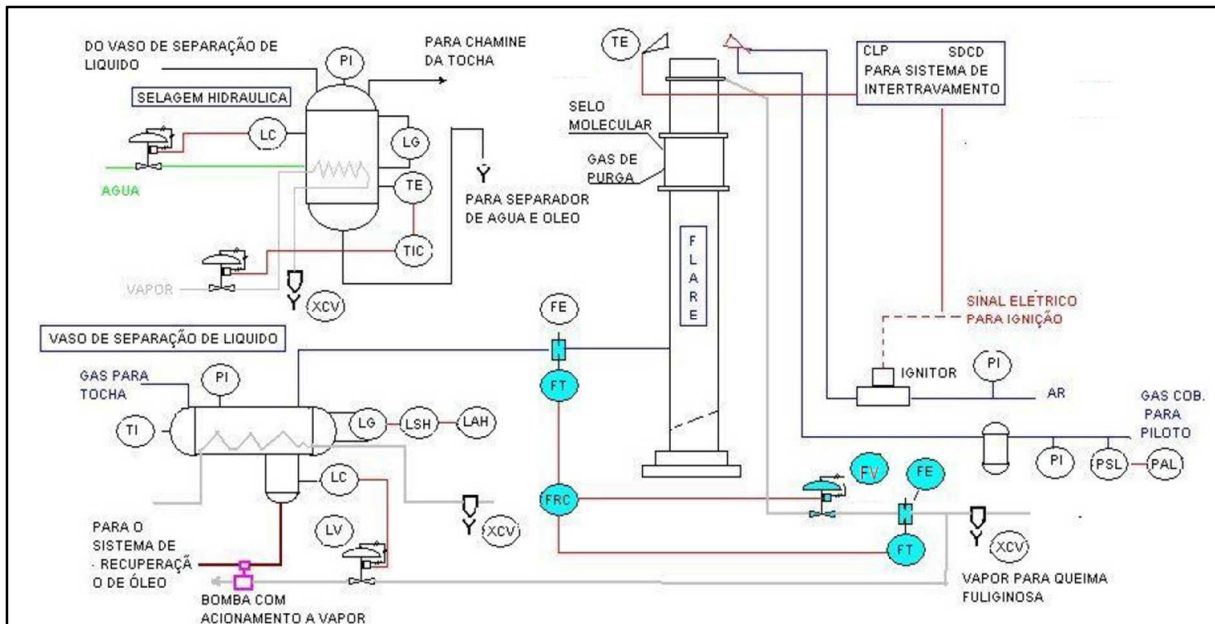


Figura 7 - Fluxograma básico do controle para queima do flare

Fonte: Empresa X, 2013

### 3.5 Projeto de proteção da chaminé

O sistema proposto para detecção e combate do retorno de chama será feito através de injeção de nitrogênio no ponto C figura 8 comandado por sinal eletrônico ponto B figura 8 através de um indicador de temperatura localizado no queimador da chaminé ponto A figura 8.

O retorno de chama é um cenário de risco alto, devido à presença de oxigênio (comburente) e o combustível (gases de descarga), que são inerentes ao processo, faltando apenas a fonte de ignição para completar o “triângulo do fogo” e iniciar as chamas.

Em um cenário de retorno de chama para dentro do sistema da chaminé, um termopar (instrumento) vai indicar temperatura alta o que significa retorno da chama pelo queimador e a ação de injeção de nitrogênio é iniciada logo em seguida.

Este sistema tem como principal vantagem evitar o uso desnecessário de nitrogênio durante a operação da fábrica. Caso analisadores de oxigênio fossem responsáveis pelo controle de chama, o sistema estaria em constante modulação de

injeção de nitrogênio pelas oscilações nas medidas e alterações no *range* de trabalho do analisador de oxigênio as oscilações nas medidas poderão acarretar em um uso desnecessário de nitrogênio com os custos associados ao produto.

Trabalha-se com a utilização de um sistema de interlock que contará com um analisador de temperatura (Termorresistências Pt-100 fabricada pela Endress hauser e localizado no queimador da chaminé figura 9 ponto A como 3-TE-9603A/B) que será instalado, o sinal eletrônico produzido pelo indicador de temperatura passa por uma caixa de passagem no topo da chaminé e que vai até o painel de controle local (3-PCP-L-12 figura 8 ponto B) localizado a 60 m da base do flare. Quando o alarme do painel é acionado, envia-se um comando até a sala de controle para acionamento de uma verificação de operador na área.

A injeção de nitrogênio será a partir da linha de gás para purga, localizada perto da base da chaminé. A instalação do ponto de injeção será viabilizada pelo fechamento dos flanges localizados antes do indicador de fluxo (3-FO-9301B figura 10 ponto C) e no flange posterior. Com o fechamento dos flanges da linha de purga é possível implantar um *tie-in* que viabilizará a entrada de nitrogênio na chaminé. Uma linha nitrogênio de 1" com comprimento de 60 de comprimento será a fonte de nitrogênio.



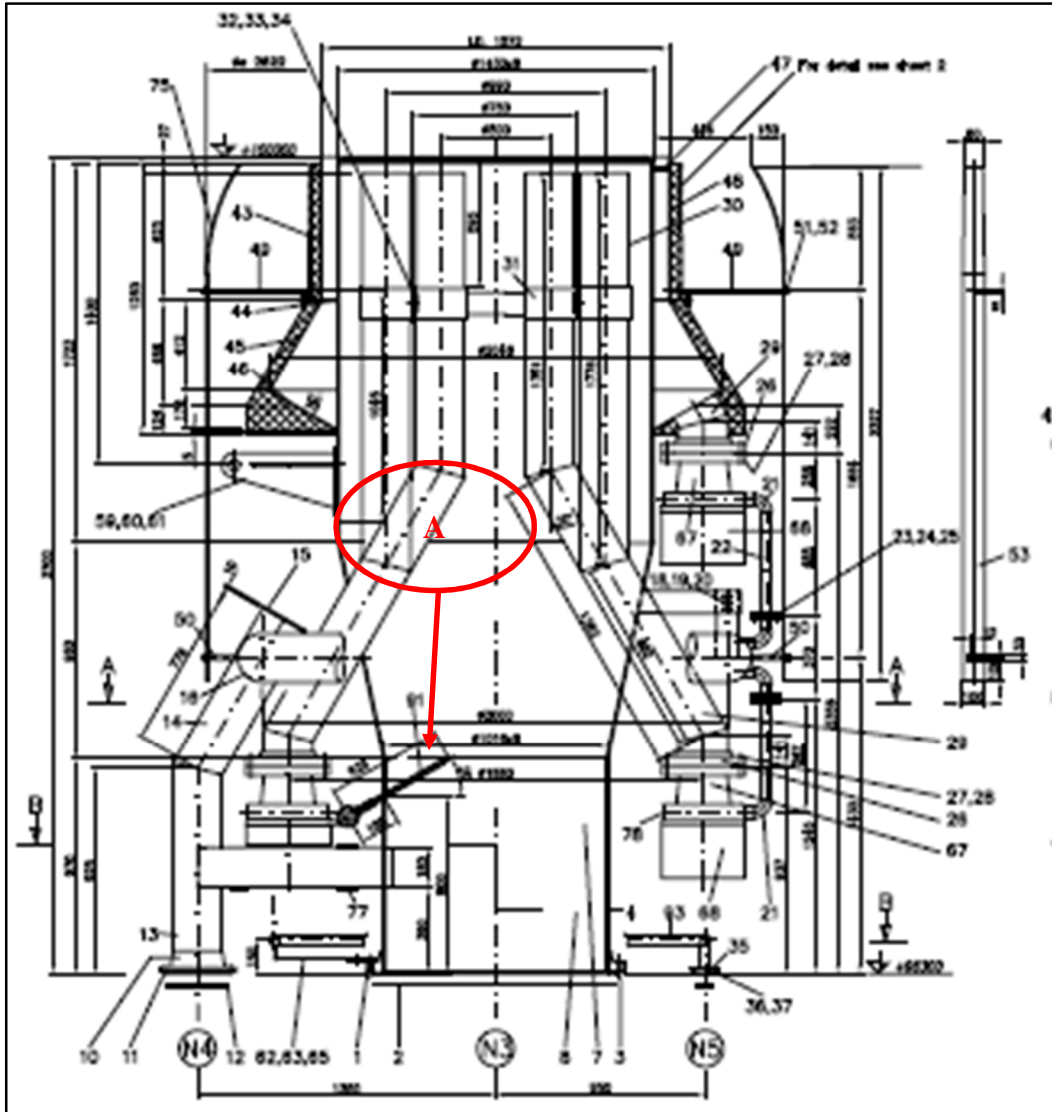


Figura 9 - Detalhe Ponto A queimador  
Fonte: Empresa X, 2013

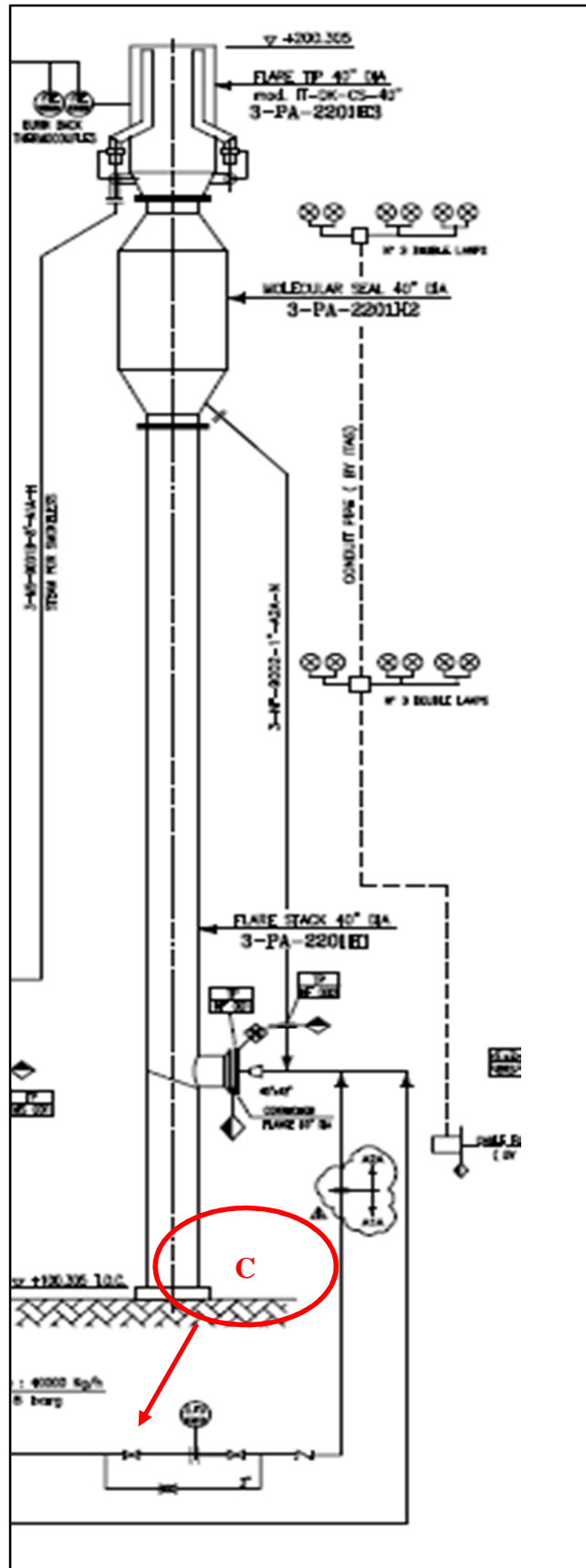


Figura 10 - Detalhe ponto C (injeção de nitrogênio)  
 Fonte: Empresa X, 2013

## 4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Quando se fala em gerenciamento de risco, é importante que as pessoas envolvidas nesse processo entendam corretamente os principais conceitos e definições associados. É preciso que todos falem a mesma linguagem, de forma a não haver lacunas no processo de comunicação que possam contribuir para a ocorrência de um evento indesejado.

A metodologia de estudo de perigos e operabilidade utilizada foi de extrema importância para identificar uma oportunidade de melhoria de segurança nas instalações da Empresa X que manuseia produtos a base de hidrocarbonetos de alta periculosidade, aonde os mesmos são processados a altas temperaturas a grandes vazões e pressões.

O projeto original desta instalação não previa o retorno de chama na chaminé e nenhum controle de engenharia foi pensado para ser utilizado como uma salvaguarda.

Na hierarquia de controle o que tem a maior eficácia são medidas de engenharia, uma vez que os controles não dependem de ação humana para atuar.

Os resultados das amostras coletadas durante a fase de teste, mostraram ser necessários que na chaminé deve haver um fluxo contínuo de gás para impedir o retorno de chama e também um dispositivo para injetar nitrogênio no caso de baixa vazão no sistema.

#### 4.1 Análise de risco da chaminé

Assim sendo durante três dias um time formado por engenheiro químico, mecânico, engenheiro de segurança de processo, operador de processo conduziram o estudo de perigo e operabilidade - *Hazop* no sistema da chaminé figura 8 que descarrega gases a alta pressão e o seguinte cenário foi identificado tabela 11

A entrada de ar para a chaminé pode ser que combinado por um retorno de chama, gera uma atmosfera explosiva o que pode levar a um incidente de grande impacto dentro da Empresa X. Muitas vezes, o retorno de chama só podem ser observados durante a noite. O ar pode entrar no sistema da chaminé através de uma ou mais das seguintes situações

- Ação do vento;
- Entrada de ar nas conexões de tubulação;
- Baixa vazão de gás.

Estudo de Perigos e Operabilidade ( <i>Hazop</i> )											
Empresa: Empresa X			Sistema: Chaminé de alta pressão								
Elaborado por: Engenheira, Manutenção, Operação, Segurança			Data: 2013								
Desvio	Causas	Fatores relevantes	Efeitos	Cat. Freq.	Cat. Sev.	Cate. Risco	Recomendações	Cat. Freq.	Cat. Sev.	Cate. Risco	#
Sem Fluxo	Falha na lógica HIC-5021 com perda de HV-5021	(Atenuante) Procedimentos operacionais	entrada de ar no sistema de Flare (Explosão, Jato de fogo)	RE	MO	BA	Reconfigurar Interlock pat "Z". Adicionar um segundo transmissor				9
	Fechamento da 1 HV-5021						Indicação em P&ID exigência				
Sem Fluxo – Bloqueio indevido de FO's (9301B) de gás de purga	Falha na lógica HIC-5021 com perda de HV-5021	(Atenuante) Procedimentos operacionais	entrada de ar no sistema de Flare por flanges e/ou outros pontos (Explosão, Jato de fogo)	PR	CA	CR	instalação de dispositivo de segurança com injeção de nitrogênio	RE	MO	BA	10
	Fechamento da 1 HV-5021										

Tabela 11 - Estudo de perigo e operabilidade nó 10

Fonte: Empresa X, 2013

#### Classificação do risco

O risco foi classificado durante a seção de perigos e operabilidade por uma equipe multidisciplinar composta pela área de engenharia, operação, manutenção e Segurança de processo conforme tabela 12, sendo a frequência provável e a severidade catastrófica, logo risco é alto.

Exemplo de Matriz de Classificação de Riscos		FREQUÊNCIA				
		Categoria 1 Improvável	Categoria 2 Remoto	Categoria 3 Ocasional	Categoria 4 Provável	Categoria 5 Frequente
SEVERIDADE	Categoria 4 Catastrófico				Risco	
	Categoria 3 Crítica					
	Categoria 2 Moderada		Risco			
	Categoria 1 Baixo					

Tabela 12 – Matriz de risco

Fonte: Empresa X, 2013

Após reclassificar o risco a frequência passa a se remota e a severidade moderada, logo risco o risco é baixo.

#### 4.2 Amostragem dos gases

Para completar o estudo durante um intervalo de trinta dias, as amostras foram coletadas, registradas e avaliadas a fim de verificar a concentração dos gases no processo e qual o seu impacto na segurança das instalações.

Os gases foram coletados em uma tubulação de alívio para chaminé através de uma seringa descartável.

Como a chaminé recebe alívio de vários pontos do processo e que trabalha a diferentes pressões, vazões e temperaturas os resultados das concentrações dos hidrocarbonetos oscila em virtude da produção diária.

<b>Data</b>	<b>Hidrogenio</b>	<b>Nitrogenio</b>	<b>Eteno</b>	<b>Etano</b>	<b>Metano</b>	<b>Propano</b>	<b>Propeno</b>
02/01/2013	4,75	68,29	6,63	1,23	13,78	1,18	1,49
03/01/2013	6,73	59,34	7,35	1,56	18,69	1,65	1,92
04/01/2013	4,13	75,52	6,62	1,02	9,15	0,72	0,87
05/01/2013	4,42	68,32	7,16	2,36	10,68	2,13	1,54
06/01/2013	4,42	57,61	7,80	2,65	16,36	3,13	3,16
07/01/2013	5,17	74,03	9,31	1,52	7,55	1,19	1,29
08/01/2013	7,27	66,07	8,81	2,80	11,75	1,78	1,94
09/01/2013	3,96	69,89	7,55	1,95	10,76	1,30	1,11
10/01/2013	4,83	66,31	7,18	2,22	12,86	1,42	1,74
11/01/2013	4,59	62,65	7,24	2,67	15,20	2,01	1,74
12/01/2013	5,71	72,61	7,10	1,87	9,23	1,56	1,07
13/01/2013	6,32	75,16	6,38	1,40	7,72	1,10	1,46
14/01/2013	4,85	69,72	11,35	1,16	6,62	1,21	3,24
15/01/2013	4,48	68,15	13,28	1,38	7,48	1,16	1,39
16/01/2013	3,71	71,37	15,59	1,18	4,90	0,83	1,10
17/01/2013	4,43	76,70	8,47	1,16	6,84	0,94	1,44
18/01/2013	3,58	73,42	9,90	1,65	7,66	0,99	1,57
19/01/2013	3,20	56,06	29,17	1,35	6,85	0,92	1,46
20/01/2013	3,84	59,62	18,52	1,58	9,48	1,31	2,31
21/01/2013	3,46	69,95	12,95	1,46	7,22	1,02	1,73
22/01/2013	4,86	71,63	9,23	1,12	7,83	1,08	3,07
23/01/2013	3,63	57,90	9,54	2,17	11,96	2,04	8,47
24/01/2013	4,27	75,95	9,91	1,07	6,06	0,91	1,50
25/01/2013	5,74	71,91	10,00	1,19	7,52	1,32	1,27
26/01/2013	2,67	33,43	5,40	0,91	2,64	0,43	0,49
27/01/2013	3,00	29,44	6,16	0,66	13,88	2,53	2,11
28/01/2013	3,03	58,95	10,73	2,77	16,73	2,63	2,61
29/01/2013	6,61	52,38	10,29	2,62	15,00	2,50	4,43
30/01/2013	6,76	71,77	5,80	1,70	12,06	1,01	1,18

Tabela 13 - Medição dos gases na chaminé

Fonte: Empresa X, 2013

Normas:

API 537 <i>Flare Details for General Refinery and Petrochemical Service</i>	NFPA 86 <i>Standard for Ovens and Furnaces</i>	Jhon Zink <i>Handbook</i>
Limite de 6% de oxigênio	Limite de 1% de oxigênio	Limite de 1% de oxigênio

Tabela 14 - Comparativo de limites de oxigênio

Fonte: Empresa X, 2013

O volume total de ar na chamine é de 82m<sup>3</sup>, sendo assim o máximo permitido de oxigênio:

- Pela API 537: 6% vol. (4,92m<sup>3</sup> de oxigênio)
- NFPA/Jhon Zink: 1%vol. (0,82m<sup>3</sup> de oxigênio)

Limite de flamabilidade dos produtos que passa pela chaminé:

Componente	Hidrogênio	Propeno	Propano	Metano	Eteno
L.I.I (%)	4	2	2,1	5	2,75
L.S.I (%)	75	10,3	9,5	15	28,6

Tabela 15 - Flamabilidade dos produtos

Fonte: Empresa X, 2013

De acordo com a normas na tabela 14 e limites de flamabilidade tabela 15, instalação de um sistema de proteção, para detectar o retorno de chama e mitigar o evento no caso de retorno de chama se faz necessário.

## 5 CONCLUSÃO

Com o avanço da indústria petroquímica e a necessidade de manusear hidrocarbonetos para geração de petroquímicos de primeira e de segunda geração a indústria passou a lançar todos os efluentes gasoso no meio ambiente sem se preocupar em queimar o mesmo.

Com a invenção da chaminé para queimar os gases, acabou trazendo outras preocupações, que é para a segurança do processo, pois os produtos que por ali passam tem o seu limite de flamabilidade baixo e que se combinado com a entrada de oxigênio no processo acaba gerando uma atmosfera propensa a explosão.

Com relação à identificação do risco ficou evidenciado que o retorno de chama no processo, seja pela entrada de ar na manutenção em tubulações, pela ação do vento ou por baixa vazão de gases pode levar a um risco de explosão na chaminé de descarga de hidrocarbonetos, portanto conclui que a instalação do dispositivo para injetar nitrogênio quando do retorno de chamas vai reduzir o risco das operações da Empresa X, o que mantém as instalações, meio ambiente e pessoas mais seguras.

O trabalho atingiu o seu objetivo através da aplicação da metodologia de estudo de Perigos e Operabilidade ao identificar um cenário de alto risco e de propor recomendação com controles de engenharia no processo.

## REFERÊNCIAS

NFPA 325, **Guide to fire Hazard Properties of Flammable Liquids, Gases, and Volatile Solids**, Amended 2001, available in Fire Protection Guide 13 Edition, National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2002.

NFPA 49, **Hazardous Chemical Data, available in Fire Protection** Guide 13 Edition, National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2002

NFPA 704, **Standard System for identification of the Hazards of Material for Emergency Response**, National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2001

NFPA 491, **Guide to Hazardous Chemical Reaction**, Amended 2001, available in Fire Protection Guide, 13th Edition National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2002.

Johnson, R.W., Rudy, S.W., and Unwin S.D., **Essential Practices for Managing Chemical Reactivity Hazards**, AICHE Center for Chemical Process Safety (CCPS), NY, 2003

**Design Institute for Physical Properties Research (DIPPR) Database**, AICHE Center for Chemical Process Safety

**Breiterick's Handbook of Reactive Chemical Hazards**, Editor P.G. Urben, Butterworth-Heinemann Administration

**Guidelines for Chemical Reactivity Evaluation and Application to Process Design**, AICHE Center for Chemical Process Safety (CCPS), NY, 1995

**Guidelines for Hazard Evaluation Procedures**, 2nd Edition, AICHE (CCPS), 1992

**Inherently Safer Chemical Process**, AICHE (CCPS), 1996

MTE – MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR-20 – Segurança e Saúde no Trabalho com Inflamáveis e Combustíveis** o. Editora Atlas S.A., São Paulo, 2009

World Bank, ***Manual of Industrial Hazard Assessment Techniques***, ed. P.J.Kayes, Washington, DC: Office of Environmental and Scientific Affairs, 1985.

Einsenber, N.A., Lynch, C.J., Breeding, R.J., ***Vulnerability Model: A Simulation System for Assessing Damage Resulting from Marine Spills***. Rep. CG-D-136-75, Environmental Control Inc. Rockville, 1975.

KLETZ, T. A. ***Chemical Engineering Progress***, Vol. 70, no 4, Abril 1974, p. 80.

KLETZ, T.A. ***Plant/Operations Progress***. Vol. 1, no 4, Outubro, 1982, p. 252.

## ANEXOS

A seguir alguns nós analisados no trabalho

Estudo de Perigos e Operabilidade (Hazop)											
Empresa:		Sistema de coleta Chamine			Sistema:			Chaminé de alta pressão			
Elaborado por:		Engenheira, Manutenção, Operação, Segurança			Data:			2013			
Desvio	Causas	Fatores relevantes	Efeitos	Cat Freq	Cat Sev	Cat Risco	Recomendações	Cat Freq	Cat Sev	Cat Risco	#
Fluxo Maior	Abertura indevida da 1-HV-9361 ou de seu by-pass.		Sem efeitos a segurança de processos.	IM	CR	BAV					1
	Despressurização emergencial de planta.	1. (Atenuante) Sistema projetado para suportar a descarga da planta. Durante o projeto foi realizado estudo para dimensionamento das linhas do sistema de modo a manter uma pressão máxima de 0,37Kgf/cm <sup>2</sup> no header para uma condição de vazão máxima de 450 Ton/h	Possibilidade de aumento de pressão ruptura de linha.	IM	CR	BAV					

Tabela 16 – NÓ 1  
Fonte: Empresa X, 2013

Estudo de Perigos e Operabilidade (Hazop)											
Empresa: Empresa X		Sistema: Chaminé de alta pressão									
Elaborado por: Engenheira, Manutenção, Operação, Segurança		Data: 2013									
Desvio	Causas	Fatores relevantes	Efeitos	Cat Freq	Cat Sev	Cat Risco	Recomendações	Cat Freq	Cat Sev	Cat Risco	#
Fluxo Menor	Obstrução de qualquer um dos 1-FO-9328 / 9331.	1. (Atenuante) Existência do selo molecular 3-PA-2201H2	Redução de gás de purga com possível ingresso de ar no sistema de flare.	IM	CR	BAV					1
	Fechamento indevido de qualquer válvula de bloqueio dos 1-FO- 9328 / 9331	Atenuante) Válvulas de bloqueio com lacre na posição aberta.		IM	CR	BAV					

Tabela 17 – NÓ 1.1  
 Fonte: Empresa X, 2013

Estudo de Perigos e Operabilidade (Hazop)											
Empresa: Empresa X		Sistema: Chaminé de alta pressão									
Elaborado por: Engenheira, Manutenção, Operação, Segurança		Data: 2013									
Desvio	Causas	Fatores relevantes	Efeitos	Cat Freq	Cat Sev	Cat Risco	Recomendações	Cat Freq	Cat Sev	Cat Risco	#
Fluxo nenhum de ar de instrumento	3-ZV- 9315 Falha fechada (falta de energia ou bobina queimada).	(Atenuante) Indicador de pressão local 3-PG-9357A	Este ignitor secundário não vai operar.	IM	BA	BA					2
		(Atenuante) Alarme de chama apagada 3-XA-9344 no DCS.									

Tabela 18 – NÓ 2  
 Fonte: Empresa X, 2013

Estudo de Perigos e Operabilidade (Hazop)											
Empresa: Empresa X		Sistema: Chaminé de alta pressão									
Elaborado por: Engenheira, Manutenção, Operação, Segurança		Data: 2013									
Desvio	Causas	Fatores relevantes	Efeitos	Cat Freq	Cat Sev	Cat Risco	Recomendações	Cat Freq	Cat Sev	Cat Risco	#
Fluxo nenhum de ar e entrada de nitrogênio na linha.	Queda do sistema de ar de planta.	(Atenuante) Existe novo ignitor automático	Este ignitor secundário não vai operar.	IM	BA	BA					2
		(Atenuante) Existe alarme 3-XA-9344.	Liberação de HC não queimado e possível explosão na pluma de gás	IM	BA	BA					

Tabela 19 – NÓ 2.1  
 Fonte: Empresa X, 2013

Estudo de Perigos e Operabilidade (Hazop)											
Empresa: Empresa X		Sistema: Chaminé de alta pressão									
Elaborado por: Engenheira, Manutenção, Operação, Segurança		Data: 2013									
Desvio	Causas	Fatores relevantes	Efeitos	Cat Freq	Cat Sev	Cat Risco	Recomendações	Cat Freq	Cat Sev	Cat Risco	#
Fluxo nenhum de gás natural para o piloto contínuo.	Válvula de bloqueio a montante ou a jusante da 3-PCV-9303 da linha de gás é fechada	(Atenuante) Existe filtro na entrada da 3-PCV-9303 para evitar entupimento de gás natural para o piloto.	Liberação de HC não queimado e possível explosão na pluma de gás.	IM	BA	BA					2
		(Atenuante) Alarme de baixa temperatura 3-TAL-9308.									

Tabela 20 – NÓ 2.2  
 Fonte: Empresa X, 2013

Estudo de Perigos e Operabilidade (Hazop)											
Empresa: Empresa X		Sistema: Chaminé de alta pressão									
Elaborado por: Engenheira, Manutenção, Operação, Segurança		Data: 2013									
Desvio	Causas	Fatores relevantes	Efeitos	Cat Freq	Cat Sev	Cat Risco	Recomendações	Cat Freq	Cat Sev	Cat Risco	#
Fluxo maior de ar de instrumento para o ignitor.	Válvula 3-PCV-9321 falha na linha de ar totalmente aberta.	(Atenuante) FO a jusante regula a vazão de ar para a linha.	Nenhum efeito identificado para segurança de processo.	OC	BA	BA					2
	Válvula 3-PCV-9323 falha totalmente aberta	(Atenuante) FO a jusante regula a vazão de ar para a linha.	Nenhum efeito identificado para segurança de processo.	OC	BA	BA					

Tabela 21 – NÓ 2.3  
 Fonte: Empresa X, 2013

Estudo de Perigos e Operabilidade (Hazop)											
Empresa: Empresa X		Sistema: Chaminé de alta pressão									
Elaborado por: Engenharia, Manutenção, Operação, Segurança						Data: 2013					
Desvio	Causas	Fatores relevantes	Efeitos	Cat Freq	Cat Sev	Cat Risco	Recomendações	Cat Freq	Cat Sev	Cat Risco	#
Temperatura menor	Perda de inventário da área fria em curto espaço de tempo	(Atenuante) Existência de alarme de temperatura baixa e muito baixa no painel no 1-TI-9605.	Congelamento abaixo da temperatura do spec da linha de alimentação do flare	RE	CR	BAV					5
Pressão menor	Condição operacional de pressão abaixo da atmosférica na base do flare.	(Atenuante) Indicação de pressão no painel 1-PI-9661.	Possibilidade de entrada de ar criando atmosfera explosiva.	IM	CA	BAV					

Tabela 22 – NÓ 5  
 Fonte: Empresa X, 2013