

Pós-Graduação

Segurança de Processos



ESTUDO DE CASO EM UNIDADE DE ARMAZENAMENTO DE GLP – UMA AVALIAÇÃO PARA IMPLEMENTAÇÃO DE PARQUE DE ESFERAS

Brenda S. Reganini Santos, Carlos E. dos Santos, Luís Otavio M. Veloso, Rodrigo M. Costa, Wilson C. Meyer

RESUMO

Diante de ocorrências de acidentes BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion), seguido de Fireball, representado pela explosão do vapor expandido pelo líquido em ebulição em organizações que produzem GLP (Gás Liquefeito do Petróleo), os quais impactaram de forma negativa estas unidades de processos, ocasionando em vítimas, danos ambientais, perdas materiais e imagem negativa, despertou-se preocupações quanto a segurança de processos. Foi necessário que estes segmentos industriais após essas lições aprendidas, avaliassem de forma sistêmica suas gestões de segurança de processos, visando a identificação de fragilidades em suas barreiras de proteção e a redução da severidade dos riscos e suas consequências. O objetivo deste estudo de caso será avaliar a implementação de um parque de esferas numa região habitada e se as barreiras de proteção e mitigação de acidentes já registrados em unidades de processo armazenagem de GLP são eficientes, através das metodologias de análises de riscos qualitativas e quantitativas, propondo novas melhorias e indicando a viabilidade técnica.

Palavras-chave: Unidade de processo, BLEVE, Fireball, GLP, análise de risco, barreiras de proteção.

ABSTRACT

Faced with incidents of BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) accidents, followed by Fireball, represented by the explosion of steam expanded by the boiling liquid in organizations that produce LPG (Liquefied Petroleum Gas), which negatively impacted these process units, causing victims, environmental damage, material losses and negative image, concerns about the safety of processes. It was necessary after these lessons learned, that these industrial segments evaluate in a systemic way their process safety managements, aiming at identifying weaknesses in their protection layers and reducing the severity of risks and their consequences. The purpose of this case study will be to evaluate the implementation of a sphere park in an inhabited region and whether the barriers of protection and mitigation of accidents already registered in LPG storage process units are efficient, through qualitative and quantitative risk analysis methodologies, proposing new improvements and indicating technical feasibility.

Keywords: Process Unit, BLEVE, Fireball, LPG, risk analysis, protection layers

1. INTRODUÇÃO

A indústria petroquímica tem como responsabilidade manter um ambiente de trabalho seguro para seus funcionários por meio de medidas que garantam a segurança de processos. Essa segurança é fornecida pelas barreiras preventivas, mitigadoras, como também pelos projetos inerentemente mais seguros, com aplicações de várias proteções, como sistemas instrumentados, procedimentos e treinamentos (SUMMERS, 2003).

Podemos destacar que a indústria petroquímica, envolvida em rigorosos padrões de produção, impõe um grande desafio na busca de estratégias e medidas para enfrentar a demanda de consumo. Dentro da indústria, a unidade de craqueamento catalítico é responsável, sobretudo, pela geração de gás liquefeito de petróleo (GLP). No Brasil, esse segmento é de extrema importância devido ao grande consumo deste derivado e do grande número de trabalhadores envolvidos. Estima-se que o setor de petróleo e gás no Brasil emprega cerca de 360.000 empregos diretos e indiretos (SINDIGÁS, 2012).

O GLP é formado pela mistura de hidrocarbonetos extraídos do petróleo, em que sua principal característica é seu estado líquido quando submetido a certa pressão. A Liquigás (2022) especifica as seguintes faixas de composições em volume: Propano, 40 - 60 %; Butano, 40 - 60 %; Etano e Hidrocarbonetos mais leves, máximo de 11%; Pentano e hidrocarbonetos mais pesados, 0,5 - 2,0 %.

O armazenamento do GLP é permitido por uma esfera, fabricadas e montados conforme diretrizes e normas técnicas voltadas para vaso de pressão esférico (DA SILVA JUNIOR, 2022). As esferas consistem em um casco cilíndrico fechado nas extremidades por dois tampos, normalmente elipsoidais, em posição vertical ou horizontal, mais os seus diversos acessórios. O comprimento e o diâmetro do vaso são determinados em função dos cálculos de separação de fases ou tempo de resistência. Em termos de projeto, são classificados como tanques de armazenamento os reservatórios submetidos a uma pressão relativa inferior a 0,1 MPa, os quais são projetados de acordo com o código API 620; vasos pressurizados (ou despressurizados) acima desta pressão relativa, seguem o código ASME (DA SILVA JUNIOR, 2022).

Após liquefeito e armazenado sob pressão aproximada de 1,8 Mpa, nessas esferas, o GLP tem seu volume reduzido em cerca de 280 vezes, o que representa um significativo “ganho de espaço” caso este fosse armazenado no estado gasoso (DA SILVA JUNIOR, 2022). Em operação, a esfera é abastecida até 85% de sua capacidade, sendo os demais 15% preenchidos pelo vapor (DA SILVA JUNIOR, 2022). Dessa forma, o GLP é estocado, aguardando distribuição para os consumidores. Portanto, conforme posto, as esferas são fundamentais para permitir boa flexibilidade para as operações e garantir a continuidade do processamento de petróleo e derivados.

Acidentes ocorridos em refinarias como na cidade do México em 1984, em Feyzin na França em 1966 e no Brasil na Refinaria Duque de Caxias em 1972, tiveram como cenários explosões catastróficas semelhantes, decorrentes do fenômeno conhecido como BLEVE - *Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion* (Explosão de Vapor em Expansão de Líquido Fervente) (RSE CONSULTORIA, 2018), seguido do fenômeno *FIREBALL* (boa de fogo), ou seja, originada pelo BLEVE. Diversos foram os acidentes que ocorreram com BLEVE, seguido de *Fireball*, em esferas entre 1980 até 2013 (WILLIAMS OLEFINS, 2013).

O BLEVE é um fenômeno físico-mecânico que pode ocorrer quando um vaso que contém um líquido pressurizado ou um gás liquefeito pressurizado se rompe e, gera-se expansão explosiva rápida da nuvem de vapor de um líquido em ebulição, devido a vigorosa evaporação da parte líquida contida no vaso e na produção de ondas de pressão (RSE CONSULTORIA, 2018), conhecido como o fenômeno com radiação, o *Fireball*. O efeito físico do BLEVE ocorre geralmente em unidades de estocagem, não sendo observado em tanques de processo (os quais têm suas entradas e saídas com transição do produto químico dentro do processo), já que não há acúmulo da substância para sofrer todas as etapas necessárias à ocorrência da ruptura mecânica (RSE CONSULTORIA, 2018).

O fenômeno BLEVE, seguido de *Fireball*, pode ocorrer por várias razões, incluindo pressão excessiva no recipiente, por impacto mecânico ou corrosão, e exposição do recipiente pressurizado a um fogo externo. São vários os tipos de camadas de proteção que podem ser aplicados para evitar um cenário de acidente, sendo classificadas como preventivas ou mitigadoras (CCPS, 2020).

No caso do BLEVE, seguido de *Fireball*, em esferas de GLP, apresentam a possibilidade de severidade de evento catastrófico e complexidade de processo, são necessárias mais de uma camada de proteção para atingir a tolerabilidade do risco. As camadas de proteção preventivas são as mais importantes porque existem para evitar o acidente, enquanto as camadas mitigadoras agem para reduzir as suas consequências. Alguns exemplos de camadas de proteção preventivas que serão abordadas neste trabalho, são os sistemas de injeção de água, válvulas de alívios - PSVs, sistema instrumentado de segurança (SIS, SIF com os respectivos SIL requeridos), alarme e ação humana e sistema básico de controle de processo.

A análise de risco de projeto é parte do ponto de partida para avaliar as camadas de proteção mitigadoras para um determinado cenário emergencial e define os seus graus de risco identificando as salvaguardas que poderão ser ou não camadas independentes de proteção. Muitas são as ferramentas para análise qualitativa de riscos, que indicam fragilidades no processo industrial, podendo ser implementadas por meio das metodologias de exemplo APR - Análise Preliminar de Riscos (no inglês conhecida como *Preliminary Hazard Analysis – PreHA*), HAZOP - *Hazard and Operability Study* (Estudo de Perigo e Operabilidade) e LOPA - *Layers of Protection Analysis* (Análise de Camadas de Proteção), visando identificar as barreiras mais críticas do processo.

Para avaliação de consequências e vulnerabilidades é indicado a implementação da Análise Quantitativa de Riscos (AQR), podendo ser implementada via *softwares*, para obtenção de alcances dos cenários de riscos e por meio de cálculos de risco individual e social. Nesse estudo de caso serão implementadas duas ferramentas, o *software* gratuito ALOHA - *Areal Locations of Hazardous Atmospheres* (Locais de Área de Atmosferas Perigosas), que fornece estimativas da extensão espacial de alguns perigos comuns associados a vazamentos de produtos químicos, e, também, será implementada a aplicação de cálculos de risco individual e social por meio de diretrizes metodológicas da Norma Técnica da Cetesb P4.261/2011, que permite avaliações de probabilidades de fatalidades num raio de alcance de cenários acidentais. O uso do *software* ALOHA será somente para ilustrar possibilidades de uso de *softwares*, que permitem apresentar as possíveis estimativas da extensão dos impactos dos riscos, devido a sua limitação quanto à precisão dos resultados.

A partir da aplicação dessas metodologias, este trabalho tem como objetivo avaliar em Estudo de Caso, a implementação de um parque de esferas de GLP próximo a uma região urbana habitada, garantindo a segurança do público externo e avaliando se as barreiras de proteção e mitigação de acidentes já registrados em unidades de processo armazenagem de GLP são eficientes em situações emergenciais com BLEVE, seguido de *Fireball*.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, serão apresentadas as principais metodologias para análise de riscos qualitativa (APR), que indicam fragilidades no processo industrial e, para análise de riscos quantitativa, que indica o alcance do cenário acidental definido. É apresentado também o levantamento histórico de acidentes com cenário acidental de BLEVE, seguido de *Fireball*, no mundo e a identificação das principais dificuldades técnicas e econômicas das medidas de melhoria sugeridas e/ou implementadas nesses acidentes. A partir dessas informações, definiu-se o Estudo de Caso que o presente documento visa apresentar para alcançar o objetivo.

2.1. Levantamento histórico de acidentes

No **Quadro 1** está presente uma lista de acidentes que ocorreram por BLEVE de 1939 a 2013, seguidos de *Fireball*, com suas devidas causas (RSE CONSULTORIA, 2018). Adicionalmente a esse quadro, realizou-se complementações de informações para alguns acidentes relevantes desse fenômeno reportados pela Cetesb (2022) e *Final Report Williams Olefins Case Study* (2016).

Quadro 1: Levantamento de acidentes históricos envolvendo BLEVE entre 1939 e 2013.

DATA	LOCAL	MATERIAL	CAUSA	FATAL.	FONTE
1939	Zameste, Romênia	cloro (10 ton)	Super enchimento	60	Cetesb, 2022
1948	Ludwegghafen, Alemanha	éter etílico (33 ton)	Super enchimento	209	Cetesb, 2022
1968	Lieven, França	amônia (20 ton)	Mecânica	5	Cetesb, 2022
1971	Houston, Texas	cloreto de vinila (50 ton)	Fogo/descarrilhamento	1	Cetesb, 2022
1972	Rio de Janeiro, Brasil	propano (1000 ton)	Fogo	37	Cetesb, 2022
1972	Rio de Janeiro, REDUC	GLP	Incêndio, Fireball	38	Costa, 2011
1972	Santo Antonio, Texas	dióxido de carbono (0,01 ton)	Corrosão	0	Cetesb, 2022
1978	San Carlos de la Rapita, Espanha	propileno (25 ton)	Super enchimento	211	Cetesb, 2022
1980	Los Angeles, EUA	Gasolina	Carro tanque, acidente rodoviário	2	RSE Consultoria, 2018
1980	Rotterdam, Suíça	GLP	Incêndio externo em uma estação de ônibus	-	RSE Consultoria, 2018
1981	Montonas, México	Cloro	Descarrilhamento, impacto, incêndio	29	RSE Consultoria, 2018
1982	Spencer, EUA	Água	Sobreaquecimento	7	RSE Consultoria, 2018
1982	Louisiana, EUA	Cloreto de Vinila	Descarrilhamento, impacto, incêndio	0	RSE Consultoria, 2018

Nota:  Destaque para os acidentes de BLEVE, seguido de *Fireball*, envolvendo o GLP.

Continua...

Conclusão do **Quadro 1**.

DATA	LOCAL	MATERIAL	CAUSA	FATAL.	FONTE
1982	Taft, EUA	Acroleína	Reação de fuga	0	RSE Consultoria, 2018
1982	Tyre and Wear, UK	GLP	Carro tanque, incêndio externo	-	RSE Consultoria, 2018
1983	Reserve, EUA	Clorobutadieno	Reação de fuga	3	RSE Consultoria, 2018
1983	Houston, EUA	Bromometano	Enchimento excessivo	3	RSE Consultoria, 2018
1983	Murdock, EUA	Propano	Descarrilamento, impacto, incêndio	0	RSE Consultoria, 2018
1984	Romeoville, EUA	Propano	Falha de Solda	15	RSE Consultoria, 2018
1984	Cleveland, EUA	GLP	Incêndio externo no vaso	0	RSE Consultoria, 2018
1984	Cidade do México, MEX	GLP (1000 ton)	Vazamento e incêndio em área de estocagem	500	Cetesb, 2022; RSE Consultoria, 2018
1985	Priolo, Itália	Etileno	Vazamento, jato de fogo nos tanques	0	RSE Consultoria, 2018
1985	Pine Bluff, EUA	Etileno, Óxido de Etileno	Descarrilamento, impacto, incêndio	0	RSE Consultoria, 2018
1986	Kenned y S C, EUA	Hidrogênio (150 ton)	Incêndio	7	Cetesb, 2022; RSE Consultoria, 2018
1987	Cairns, Austrália	GLP	Erro humano (mangueira desconectada), Incêndio	0	RSE Consultoria, 2018
1988	Philadelphia, EUA	Gasolina	Carro tanque, acidente rodoviário	0	RSE Consultoria, 2018
1988	Kings Ripton, UK	GLP	Erro humano (mangueira): vazamento enquanto enchendo o vaso, incêndio	0	RSE Consultoria, 2018
1989	Alma Ata, Mongólia	GLP	Colisão de trem, incêndio	5	RSE Consultoria, 2018
1990	St. Peters, Austrália	GLP	Tanque, incêndio externo	-	RSE Consultoria, 2018
1991	Lyon, França	Propano	Incêndio externo em um vaso pequeno	-	RSE Consultoria, 2018
1995	La Plata, Argentina	Propano	Enchimento excessivo (erro humano)	2	RSE Consultoria, 2018
1996	Paese, Itália	Propano	Erro humano enquanto descarregava um carro tanque, liberação, incêndio	0	RSE Consultoria, 2018
1998	Albert Oty, EUA	Propano	Tubos de freio de carro, incêndio	2	RSE Consultoria, 2018
1998	Xian, China	GLP	Vazamento, incêndio em área de estocagem	11	RSE Consultoria, 2018
1999	Dortyol, Turquia	GLP	Erro humano	-	RSE Consultoria, 2018
1999	Karrnena Vourla, Grécia	GLP	Acidente rodoviário, vazamento, incêndio	4	RSE Consultoria, 2018
2000	Downey, EUA	Propano	Vazamento, incêndio	-	RSE Consultoria, 2018
2013	Geismar, Luisiana, EUA	Olefinas	Erro humano; Sobrepressão; Ruptura catastrófica do trocador de calor (refervador)	2	FINAL REPORT Williams Olefins Case Study, 2016

Nota:  Destaque para os acidentes de BLEVE, seguido de *Fireball*, envolvendo o GLP.

2.1.1. Medidas de melhorias implementadas

A partir dos acidentes históricos apresentados anteriormente, e as principais causas identificadas para a ocorrência do BLEVE, seguido de *Fireball*, envolvendo armazenamento de GLP, são apontadas a seguir:

- Incêndio externo à instalação;
- Incêndio na área de estocagem;
- Vazamento na área de estocagem;
- Vazamento na área de estocagem durante abastecimento do vaso;
- Vazamento na área de estocagem pela desconexão de mangueira de transferência;
- Erro humano;
- Ruptura, Sobrepressão.

As melhorias apontadas em revisões bibliográficas e na investigação de acidentes, apontam três cenários para implementações que estão apresentados a seguir:

2.1.1.1. Medidas preventivas

Eckhoff (2014), a partir da avaliação das causas dos acidentes históricos, apontou as seguintes causas principais, sugerindo medidas de mitigação preventiva para cenários acidentais, envolvendo armazenamento de GLP:

- **Manter armazenamentos a uma distância segura de prováveis fontes de ignição e/ou locais com possibilidade de incêndios:** O envolvimento do fogo é a causa básica mais comum em BLEVE, seguido de *Fireball*, portanto é necessário que os armazenamentos estejam distantes entre si e de fontes potenciais de incêndio.
- **Inclinação de piso do pátio de Esferas:** Para evitar que um incêndio em poça ocorra após um derramamento acidental de um armazenamento fixo em solo, é importante que o terreno apresente inclinação suficiente (cerca de 1%) permitindo que o derramamento escoe para uma área segura.
- **Sistema de injeção de água nas esferas:** De forma a garantir a segurança e a estabilidade na operação de estocagem do GLP, o projeto de esferas prevê um sistema de injeção de água. Em caso de vazamento de GLP para o parque ou incêndio, o acionamento do sistema de injeção de água preencherá o conteúdo das esferas, minimizando as consequências. Esse sistema preserva a estrutura mecânica da esfera. Ou seja, mesmo que haja um incêndio embaixo da esfera, pelo fato de garantir o nível de líquido dentro da esfera, não permite a fragilização da esfera, prevenindo o BLEVE, seguido de *Fireball*. A injeção é feita, em cada esfera, por meio de uma tubulação conectada na parte superior da linha única de transferência, fora da projeção horizontal do vaso e entre a válvula de bloqueio (acionamento local ou remoto). A alimentação de água para esta tubulação é feita por meio de bomba acionada por motor elétrico, com uma bomba reserva acionada por motor a diesel, com a mesma potência e pressão de descarga da bomba elétrica. A alimentação de água para este sistema de bombeamento será através da rede de água para combate a incêndio.
- **Prevenir danos mecânicos de vasos:** Em unidades de transporte de GLP (caminhões e vagões ferroviários), devem ser implementados vasos de paredes duplas com isolamento térmico nas paredes, sugerindo uma segunda camada de proteção em caso de acidentes por colisão ou capotamento. A parede externa deve também ser suficientemente forte para fornecer proteção à parede interna.

- **Evitar enchimento excessivo e sobrepressão de vasos:** Seguir as normas vigentes implementadas para o procedimento de enchimento e pesagem de recipientes, que são rígidas para manter o controle, evitando possíveis sobrepressões. Implementação de dispositivos de alívio implementados são barreiras protetivas, seguidos dos discos de ruptura, evitando esse cenário de enchimento excessivo e sobrepressão.
- **Evitar condições descontroladas:** As condições descontroladas são mais comuns externamente ao armazenamento do que internamente, no entanto, ocorrem e medidas de proteção devem ser implementadas, por meio de instrumentação de segurança para monitoramento contínuo da temperatura e pressão da estrutura. Esses equipamentos de monitoramento devem ser eficazes para neutralizar pressão e temperaturas excessivas, como por exemplo: serpentina de resfriamento, válvulas de ventilação controladas remotamente, sistema de injeção de inibição de dilúvios internos. Além disso, devem ser implementados sistemas alarmes acionados em caso de alta pressão e temperatura.
- **Prevenir reações exotérmicas destrutivas devido a impurezas reativas:** O armazenamento deve ser protegido de forma a evitar contaminação de substâncias estranhas com os quais possam reagir exotermicamente no armazenamento.
- **Prevenir o enfraquecimento estrutural do vaso (fadiga, fluência, corrosão, etc.):** O projeto e testes adequados do equipamento e sistema, podem evitar o início de distorção e possível ruptura. Importante implementar ações para garantia da adequação dos sistemas de armazenamento ao uso, como: medições periódicas da espessura da parede, inspeção interna contra corrosão, teste acústico para detecção de rachaduras.
- **Despressurização rápida do tanque:** Aplicável além da técnica de Dilúvio de Água, acionar sistema de despressurização rápida do tanque, contornando a PRV normal. O material liberado deve ser conduzido de maneira segura, por exemplo, por queima distante. A despressurização não deve ser muito rápida, pois pode levar a temperatura extremamente baixa, danificando e fragilizando o aço.
- **Prevenir efeitos “dominó”:** A primeira preocupação para mitigação dos danos do BLEVE é evitar que o acidente desencadeie outros acidentes de ordem superior, pela exposição de outros tanques à altas temperaturas e emissão de projéteis do evento inicial, podendo originar outros BLEVEs e, conseqüentemente, *Fireball*. Avaliação de distâncias de instalação e proteções mecânicas podem ser um caminho de mitigação, já apontado nos itens anteriores.
- **Válvula de dreno embaixo da esfera prolongada através de linha com uma segunda válvula fora do raio de ação da esfera:** Medida extremamente importante. Se eventualmente essa válvula no prolongamento, longe da esfera, congelar, não irá pegar fogo embaixo da esfera, não sendo possível a ocorrência do BLEVE, seguido de *Fireball*.
- **Válvula de tripla ação instalada embaixo da esfera:** 1º Ação: a válvula pode ser fechada como uma XV remotamente. 2º Ação: ela funciona como uma válvula de retenção em conjunto com uma linha de fundo na esfera, por onde poderá ser injetada água (sistema de injeção de água). 3º Ação: a válvula possui um elo fusível térmico que em caso de incêndio embaixo da esfera, o mesmo é rompido fechando a válvula, como de retenção.

O CSB - U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board (Conselho de Investigação de Riscos e Segurança Química dos EUA), avaliou o acidente de BLEVE de Williams

Olefins mais recente, de 2013, e sugeriu medidas de melhorias para a prevenção de futuros acidentes, concluindo nas seguintes recomendações:

- Implementar melhorias da cultura de segurança, com a realização de avaliações da cultura de segurança e participação dos empregados.
- Desenvolver e implementar um processo permanente de indicadores de segurança de processo, incluindo indicadores reativos e proativos.
- Desenvolver e implementar um programa que exija avaliações robustas e abrangentes do programa de segurança de processo da Williams em Geisner, incluindo minimamente a Gestão de Mudanças, a Revisão Pré-operacional de Segurança, as Análises de Risco de Processo, e os Procedimentos Operacionais.

1.1.APR

A APR é uma técnica qualitativa, indutiva, estruturada para identificar perigos decorrentes de falhas de equipamentos ou erros humanos, assim como apontar suas causas e consequências, para então classificar os riscos (Norma Petrobras N-2782/2005). Essa técnica, é normalmente utilizada na fase preliminar para o desenvolvimento de uma planta, prevendo problemas potenciais de segurança, voltada à materiais perigosos nos processos de uma planta, quando se tem pouca informação dos procedimentos operacionais e utilizada como ferramenta anterior aos projetos de elaboração dos fluxogramas de engenharia (P&Ids; WITTER, 1992). Focada principalmente em cenários de perda de contenção de produtos inflamáveis, tóxicos, asfixiantes, etc, que podem levar a incêndios, explosões ou outros, resultando em lesões pessoais, danos ambientais etc. Os principais requisitos são implementados para o Estudo de Caso em questão:

- Referência Nacional (Petrobras): Norma Petrobras N-2782 - Técnicas Aplicáveis à Análise de Riscos Industriais (Anexo D – APR).
- Referência Instalações Terrestres de Produção (ANP): RTSGI (ANP) - Regulamento técnico do sistema de gerenciamento da integridade estrutural das instalações terrestres de produção de petróleo e gás natural (RTSGI) (Resolução ANP Nº 2, de 14.1.2010 - DOU 18.1.2010).
- Referência Refinarias de Petróleo (ANP): RT SGSO (ANP) – Regulamento Técnico do Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional para Refinarias de Petróleo (Resolução ANP Nº 5, de 29.1.2014 - DOU 30.1.2014).

A técnica APR é realizada por meio de planilha de controle para caracterização de hipóteses acidentais, identificando perigos, causas, consequências, modos de detecção e salvaguardas, classificação do risco (por meio de frequência e severidade), recomendações e identificação da hipótese acidental.

1.2.ALOHA

O ALOHA é um *software* de domínio público para modelagem de risco desenvolvido pela NOAA - *National Oceanic and Atmospheric Administration* (Administração Nacional Oceânica e Atmosférica) em conjunto com a EPA - *United Environmental Protection Agency* (Agência Americana de Proteção Ambiental dos Estados Unidos), referência mundial para aspectos ambientais, o qual é amplamente utilizado para planejar e responder a emergências químicas. A versão atual do ALOHA é a 5.4.7 de setembro de 2016, 7.33 MB EXE.

Essa ferramenta permite que se insira detalhes sobre uma liberação química real ou potencial, gerando estimativas de zonas de ameaça para diversos tipos de perigos. O ALOHA, além de poder modelar BLEVE, seguido de *Fireball*, pode também modelar nuvens de gás tóxico, nuvens de gás inflamável, incêndios em jatos, incêndios em poças e explosões de nuvens de vapor. As estimativas da zona de ameaça são mostradas em uma grade, e também podem ser desenvolvidas em mapas no *Marplot*, *ArcMap*, *Google Earth*.

De acordo com NOAA e EPA, para modelar riscos com a ALOHA, o usuário deve inserir as informações necessárias do cenário. A interface do ALOHA é de fácil utilização, principalmente para pesquisas e avaliações primárias, através da orientação do usuário para o processo de entrada de dados usando uma série de caixas de diálogo. A lista de ações apresentada a seguir descreve os dados de entrada necessários para a execução do ALOHA:

- Inserir informações básicas do cenário (como data, hora e localização).
- Escolher um produto químico na biblioteca química do ALOHA.
- Digitar informações atmosféricas (como velocidade e direção do vento, temperatura do ar e cobertura de nuvens) manualmente ou usando automaticamente uma estação portátil para medições atmosféricas.
- Escolher uma fonte: poça, gasoduto ou tanque.
- Inserir informações de origem (como quantidade de liberação, dimensões do tanque e se o produto químico está queimando).
- Especificar os LOCs (Níveis de Preocupação) que o ALOHA utiliza ao estimar as zonas de ameaça. Ou utilizar os LOCs padrão que o ALOHA oferece.
- Escolher o tipo de perigo (como toxicidade ou radiação térmica) para que o ALOHA possa estimar as zonas de ameaça.

Ao inserir essas informações, o ALOHA exibe as principais informações em uma tela de resumo de texto. Uma vez que todos os cálculos do ALOHA estejam completos, o usuário pode exibir os resultados em uma variedade de saídas gráficas (incluindo uma imagem de zona de ameaça).

O NOAA e a EPA esclarecem o que um LOCs (Nível de Preocupação) é um valor limiar de um perigo (toxicidade, inflamabilidade, radiação térmica ou sobrepressão), o LOC é geralmente o valor acima do qual uma ameaça a pessoas ou propriedades pode existir.

São fornecidos valores padrão comuns, ou o usuário pode escolher até três de seus próprios LOCs. Para cada LOC que o usuário escolher, o ALOHA estima uma zona de ameaça onde o perigo é previsto para exceder esse LOC em algum momento após o início de uma liberação. O ALOHA inclui os seguintes LOCs para modelar diferentes perigos: tóxicos, inflamáveis, radiação térmica e sobrepressão.

1.2.1. Limitações do ALOHA

Segundo o NOAA e a EPA, a precisão do ALOHA depende da qualidade das informações que o usuário insere no *software*. Mas, mesmo quando o usuário fornece os melhores valores de entrada possíveis, o ALOHA (como qualquer modelo) pode ser não confiável em certas situações e não pode modelar alguns tipos de lançamentos.

a. Condições que reduzem a mistura atmosférica

De acordo com as informações do NOAA e da EPA, ao realizar estimativas de concentração, o ALOHA assume que o produto químico é liberado na atmosfera e imediatamente se mistura para que a concentração pareça uma curva em forma de sino em toda a nuvem (a maior concentração é o vento ao longo da linha central). Embora não seja exatamente isso que acontece em uma liberação química, essa suposição "gaussiana" para o comportamento de fluidos, é bastante típica e fornece estimativas razoáveis de concentração na maioria dos casos.

No entanto, as estimativas de concentração do ALOHA podem ser menos precisas quando existe qualquer condição que reduza a mistura na atmosfera, como por exemplo para as seguintes condições que reduzem a mistura atmosférica:

- Velocidades de vento muito baixas: A velocidades de vento muito baixas (menos de 1,3m/s) a nuvem poluente não se mistura rapidamente com o ar circundante. A concentração do gás na nuvem química pode permanecer maior do que o ALOHA prevê, especialmente perto da fonte.
- Condições atmosféricas muito estáveis: Condições atmosféricas muito estáveis (classes de estabilidade E e F) geralmente ocorrem à noite ou no início da manhã, e podem ser indicadas por condições como neblina baixa. Nessas condições atmosféricas, as concentrações de gás dentro de uma nuvem poluente podem permanecer altas longe da fonte.

b. Desigualdade de concentração particularmente perto da fonte:

O NOAA e a EPA, mencionam que a irregularidade da concentração é o termo usado para situações em que a concentração de gás não pode ser descrita como uma curva em forma de sino (como mencionado acima). A irregularidade da concentração ocorre em todas as nuvens em dispersão, particularmente muito perto da fonte.

Perto da fonte, as estimativas de concentração do ALOHA podem superestimar ou subestimar as concentrações, porque o ALOHA usa médias de concentração. Para que a concentração média seja válida, a nuvem deve viajar a favor do vento até o ponto em que turbilhões suficientes tenham misturado o ar e o gás. Essa distância varia dependendo da estabilidade, velocidade do vento e detalhes de liberação. Se a distância máxima até a concentração tóxica do Nível de Preocupação (LOC) for inferior a 50 metros, o ALOHA não mostrará a zona de ameaça, porque a irregularidade da concentração torna a estimativa não confiável perto da fonte da liberação (onde a irregularidade é mais pronunciada).

c. Desconsideração de alguns efeitos

O NOAA e a EPA, informam que ao usar o ALOHA, o usuário precisa ter em mente que o programa não leva em conta os efeitos de: Subprodutos de incêndios, explosões ou reações químicas: O ALOHA não leva em conta os subprodutos da combustão (como fumaça) ou reações químicas. A fumaça de um incêndio, porque foi aquecida, sobe antes de se mover a favor do vento. O ALOHA não leva em conta esse aumento inicial, assumindo que uma nuvem em dispersão não reage com os gases que compõem a atmosfera, como oxigênio e vapor de água. No entanto, muitos produtos químicos reagem com ar seco ou úmido, água, outros produtos químicos ou até eles mesmos. Por causa

dessas reações químicas, o produto químico que se dispersa a favor do vento pode ser muito diferente do produto químico que originalmente escapou da contenção. Em alguns casos, essa diferença pode ser suficiente para tornar as previsões de dispersão do ALOHA imprecisas.

- Dispersão de partículas: O ALOHA não leva em conta os processos que afetam a dispersão de partículas (incluindo partículas radioativas).
- Misturas químicas: O ALOHA é projetado para modelar a liberação e dispersão de produtos químicos puros e algumas soluções selecionadas, as informações de propriedade em sua biblioteca química não são válidas para misturas de produtos químicos.
- Mudanças do vento e efeitos de direção do terreno: O ALOHA assume que a velocidade e a direção do vento são constantes em toda a área a favor do vento de uma liberação química. O ALOHA também espera que o solo abaixo de uma nuvem em dispersão seja plano. Na realidade, porém, o vento normalmente muda de velocidade e direção à medida que sobe ou desce encostas, entre colinas e vales, virando onde as características do terreno mudam. Nas áreas urbanas, o vento que flui em torno de grandes edifícios forma redemoinhos e muda de direção e velocidade, alterando significativamente a forma e o movimento de uma nuvem, onde o ALOHA ignora esses efeitos quando produz uma estimativa de zona de ameaça.
- Contorno do terreno: O ALOHA assume que o terreno é plano, o que tem diferentes implicações dependendo do cenário de liberação química. Para liberação de líquidos, o ALOHA não leva em conta o acúmulo dentro de depressões ou o fluxo de líquido em terrenos inclinados, ele assume que o líquido se espalha uniformemente em todas as direções, o que pode fazer com que o tamanho da poça e a taxa de liberação sejam superestimados quando o solo não é plano. Para liberações de gás, o ALOHA não leva em conta as mudanças no fluxo de vento que podem ocorrer quando a nuvem é desviada por edifícios altos e montanhas.
- Fragmentos perigosos: Se uma liberação química envolver uma explosão, haverá detritos voadores da contenção e da área circundante, o ALOHA não modela as trajetórias dos fragmentos perigosos.

1.3.Avaliação da Tolerabilidade do Risco

A avaliação da tolerabilidade dos riscos é um dos métodos utilizados por órgãos regulamentadores para tomada de decisões quanto ao risco do empreendimento em relação a sua operação em uma dada região. A norma de referência nacional utilizada para aplicação metodológica de cálculos de risco individual e social, para avaliação da tolerabilidade, é a Norma Técnica CETESB P4.261/2011 (CETESB, 2011). Outros normas também são referências para os seguintes estados:

- Bahia – Norma Técnica INEMA 01/2017 (INEMA, 2017).
- Rio Grande do Sul – Manual de Análise de Riscos Industriais FEPAM (FEPAM, 2016).
- Rio de Janeiro – Resolução CONEMA 015/2009 (INEA, 2009).

A tolerabilidade é avaliada pelo Risco Individual (RI) e Risco Social (RS). O Risco Individual representa a probabilidade de fatalidades de pessoas hipotéticas, residentes na comunidade vizinha ao empreendimento, vivendo em localização fixa presente 24

horas/dia, 365 dias/ano, na proximidade do empreendimento sob influência dos efeitos acidentais.

O Risco Social representa as múltiplas fatalidades (perda coletiva) que podem ocorrer, nessa vizinhança, considerando: frações do aglomerado exposto durante o dia e noite, fator de escape dos ocupantes, fator de cobertura, na proximidade do empreendimento sob influência dos efeitos acidentais. A forma comum de parametrização do Risco Social é por curva FN, e há vários critérios de aceitação do risco social, que depende das diretrizes de órgãos regulamentadores apresentados abaixo. A curva FN é um diagrama referente ao risco social que se determina pela plotagem num plano cartesiano em escala logarítmica no eixo da ordenadas: a frequência acumulada anual de acidentes com até N fatalidades e no eixo das abscissas também em escala logarítmica a intensidade de consequências expressa em número de fatalidades. O critério de tolerabilidade é representado por duas retas paralelas que limitam as três regiões do gráfico: Intolerável, ALARP e Tolerável.

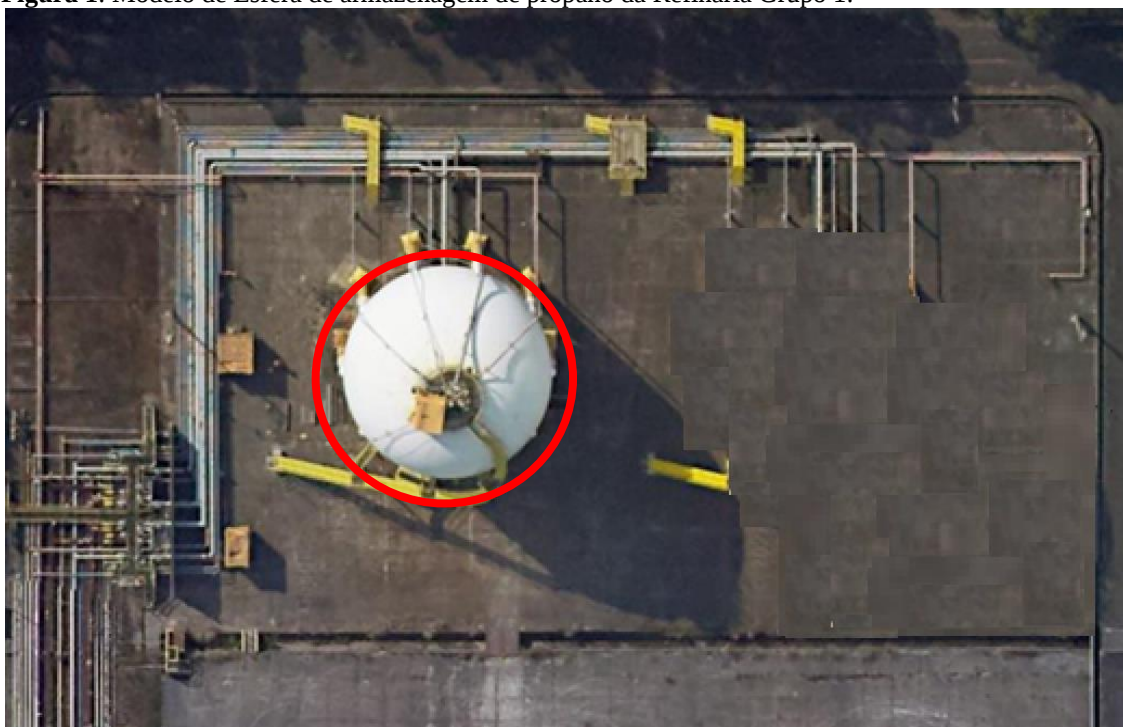
2. ESTUDO DE CASO

2.1.Características da Instalação

Para esse Estudo de Caso foi considerada uma área para implementação da unidade de processo, denominada de REFINARIA GRUPO 1. Serão avaliadas três situações para investigação do limite máximo de Esferas de Armazenagem de Propano (C_3H_8) de 3.131,00 m³, com capacidade de armazenamento total de 2.661,35 m³, 85% do referido produto (**Figura 1**), que a região pode suportar perante os riscos para a população externa.

- Situação 1: 01 (uma) Esfera
- Situação 2: 10 (uma) Esferas
- Situação 3: 15 (uma) Esferas

Figura 1: Modelo de Esfera de armazenagem de propano da Refinaria Grupo 1.



Fonte: Autoria própria; Marplot (2023).

2.2.Características da Região no Entorno

No entorno da REFINARIA GRUPO 1, está localizado o Bairro Alpha, com população e atividades comerciais próximas. A densidade populacional do bairro é de, aproximadamente, 48,36 hab/km², avaliado pela densidade demográfica local. A **Figura 2** apresenta a região no entorno da Refinaria.

Figura 2: Localização da Refinaria Grupo 1 e Bairro Alpha.



Fonte: Autoria própria; Marplot (2023).

3. METODOLOGIA

Neste capítulo, serão apresentadas as metodologias utilizadas para obtenção de resultados qualitativos e quantitativos, para avaliação e alcance dos riscos para o Estudo de Caso.

3.1.Análise Qualitativa de Riscos

A técnica APR é realizada por meio de planilha de controle para caracterização de hipóteses acidentais. Os itens abaixo apresentam as colunas para o modelo de APR utilizado e o significado.

- **Evento/Perigo:** Condição ou propriedade, inerente a uma substância, a uma atividade, a um sistema, ou a um processo, com potencial para causar danos à integridade física das pessoas, meio ambiente, patrimônio ou perda de produção (Norma Petrobras N-2595).
- **Possíveis Causas:** Podem advir de falhas de equipamentos, erro humano, uma condição de operação do processo não prevista, fatores externos etc.
- **Possíveis Consequências:** São os resultados decorrentes da concretização do perigo identificado, incluindo os efeitos físicos das possíveis perdas de contenção, a saber: Incêndio em poça, incêndio em jato, explosão, dispersão de produto tóxico ou inflamável, etc.
- **Modo de detecção (D) e Salvaguardas (S):**
 - **(D):** São dispositivos, sistemas ou outros meios já existentes na instalação ou previstos no projeto, utilizados para identificar a ocorrência do cenário

acidental. Exemplos: alarmes, detectores de gás, visual, auditivo, olfativo etc.

- **(Sp) - Salvaguarda preventiva:** Qualquer dispositivo, sistema ou ação capaz de interromper a cadeia de eventos que ocorre a partir de um evento iniciador (causa do desvio), diminuindo a probabilidade de ocorrência do cenário indesejável (distúrbio operacional, perda de contenção, acidente) (Norma Petrobras N-2782/2005).
- **(Sm) - Salvaguarda mitigadora:** Qualquer dispositivo, sistema ou ação capaz de diminuir a severidade das consequências do cenário indesejável (Norma Petrobras N-2782/2005).
- **Classe de Risco:** medida qualitativa ou quantitativa do potencial de dano ou perda (pessoas, patrimônio, continuidade operacional, meio ambiente e imagem) considerando a probabilidade/frequência de ocorrência do evento indesejável e a magnitude das suas consequências (Norma Petrobras N-2782/2005). É a medida de danos à vida humana, resultante da combinação entre a frequência de ocorrência e a magnitude das perdas ou danos (CETESB P4.261, 2011). Para esta categorização deve ser utilizada a matriz de tolerabilidade de riscos da N-2782/2005.
 - **Frequência:** As categorias de frequência visam permitir uma avaliação da frequência do cenário accidental e não do evento iniciador. Utilizar a matriz de tolerabilidade de riscos, apresentada na **Figura 3** abaixo.
 - **Severidade:** em relação às dimensões: segurança pessoal, patrimônio, meio ambiente e imagem da Companhia. Utilizar a matriz de tolerabilidade de riscos, apresentada na **Figura 3** abaixo.
- **Recomendações e Observações:** Medidas propostas para prevenir a ocorrência do evento accidental ou mitigar suas consequências, sempre que as salvaguardas existentes forem consideradas insuficientes. As observações, quando necessárias, podem ser registradas nesta coluna com o objetivo de auxiliar o esclarecimento relativo ao cenário analisado.

Figura 3: Matriz de tolerabilidade de riscos.

Matriz de tolerabilidade de riscos						Categorias de Frequência					
Descrição / Características						A	B	C	D	E	
						Extremamente Remota	Remota	Pouco Provável	Provável	Frequente	
						Conceitualmente possível, mas sem referências na indústria	Não esperado ocorrer, apesar de haver referências em instalações similares na indústria	Pouco provável de ocorrer durante a vida útil de um conjunto de unidades similares	Possível de ocorrer uma vez durante a vida útil da instalação	Possível de ocorrer muitas vezes durante a vida útil da instalação	
		Segurança Pessoal	Patrimônio / Continuidade Operacional	Meio Ambiente	Imagem						
Categorias de severidade das consequências	V	Catastrófica	Múltiplas fatalidades intramuros ou fatalidade extramuros	Danos catastróficos, podendo levar à perda da instalação industrial	Danos catastróficos	Repercussão internacional	M	M	NT	NT	NT
	IV	Crítica	Fatalidade intramuros ou lesões graves extramuros	Danos severos a sistemas (reparação lenta)	Danos severos	Repercussão nacional	T	M	M	NT	NT
	III	Média	Lesões graves intramuros ou lesões leves extramuros	Danos moderados a sistemas	Danos moderados	Repercussão regional	T	T	M	M	NT
	II	Marginal	Lesões leves intramuros	Danos leves a sistemas / equipamentos	Danos leves	Repercussão local	T	T	T	M	M
	I	Desprezível	Sem lesões ou no máximo casos de primeiros socorros	Danos leves a equipamentos sem comprometimento da continuidade operacional	Danos insignificantes	Repercussão insignificante	T	T	T	T	M

Legenda: Tolerável (T) - Não há necessidade de medidas adicionais. A monitoração é necessária para assegurar que os controles sejam mantidos; Moderado (M) - Medidas adicionais devem ser avaliadas com o objetivo de obter-se uma redução dos riscos e implementados aqueles considerados praticáveis (conceito “ALARP”); Não Tolerável (NT) - Os controles existentes são insuficientes. Métodos alternativos devem ser considerados para reduzir a probabilidade de ocorrência ou a severidade das consequências, de forma a trazer os riscos para regiões de menor magnitude de riscos (regiões “ALARP” ou tolerável).

Fonte: Norma Petrobras N-2782/2005.

3.2. Análise Quantitativa de Riscos (AQR)

Neste item, serão apresentadas as metodologias utilizadas para obtenção de resultados quantitativos para modelagem dos alcances dos riscos identificados no cenário apontado pela APR.

3.2.1. Método 1 – Alcance de Riscos via *software* ALOHA

Nesta pesquisa, para avaliação de consequências e vulnerabilidades dos efeitos do BLEVE, seguido de *Fireball*, será utilizado o referido *software* ALOHA com a finalidade de ilustrar as possíveis estimativas da extensão dos efeitos. Para aplicação dessa metodologia no estudo proposto, foi apresentado o contexto sobre as funcionalidades, abrangência e limitações quanto a utilização do ALOHA, visto as limitações do modelo. Realizamos de forma ilustrativa, uma modelagem de um BLEVE, seguido de *Fireball*, resultante de um hipotético acidente na esfera do Estudo de Caso. Foi utilizado também *software* *Marplot* o qual gera os mapas do cenário.

O ALOHA considera os seguintes parâmetros para o cálculo dos alcances da modelagem: emissividade, fator de vista, transmissividade e duração.

Emissividade:

Witter (1992) afirma que 350 kW/m^2 é um fluxo de energia emissiva razoável para grandes bolas de fogo envolvendo combustíveis de hidrocarbonetos (INSTITUTO

AMERICANO DE ENGENHEIROS QUÍMICOS, 1994). ALOHA aplica isso a uma gama mais ampla de produtos químicos e tamanhos, mas ajusta esse valor multiplicando pela proporção do calor de combustão do produto químico dividido pelo calor de combustão do propano, e descrito como:

$$E = 350,000 \left(\frac{\Delta h_c}{\Delta h_{c,propane}} \right)$$

Onde

Δh_c é o calor de combustão do produto químico (J kg^{-1}), e

$\Delta h_{c,propane}$, é o calor de combustão do propano (J kg^{-1})

Fator de Vista:

O fator de vista geométrico é uma função do tamanho da Bola de Fogo e da distância entre um receptor e a Bola de Fogo. O tamanho depende da quantidade de combustível que contribui para a Bola de Fogo. O usuário pode optar por deixar ALOHA usar todo o conteúdo do tanque como a massa da Bola de Fogo, ou o ALOHA calcula a fração do conteúdo do tanque que contribui para a Bola de Fogo com base na pressão ou temperatura do tanque no momento da ruptura. Se a pressão do tanque for especificada, a temperatura no momento da ruptura, T , é encontrada usando a equação de Clausius-Clayperon, baseada em a suposição de que duas fases estão presentes em equilíbrio no recipiente, e descrito como:

$$T = \left[\left(\frac{1}{T_B} \right) - \left(\frac{R_c}{\Delta H_v} \right) \ln \left(\frac{P}{P^0} \right) \right]^{-1}$$

Onde:

T_B é o ponto de ebulição normal,

R_c é a constante do gás ($8,3144 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$),

ΔH_v é o calor de vaporização (J mol^{-1}),

P^0 pressão padrão (101.000 Pa) e

P é a pressão de ruptura.

A partir da temperatura, calcula-se a fração de líquido que se desprende ao romper. Para um processo isentálpico a fração do flash é dada por:

$$f = \frac{C_p(T - T_b)}{\Delta H_v}$$

Onde:

T é a temperatura química na falha do tanque (K),

T_b é o ponto de ebulição ambiente (K),

C_p é a capacidade de calor específico a pressão constante ($\text{J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$), e

ΔH_v é o calor de vaporização (J/mol).

Isso superestima um pouco a fração do flash em um processo adiabático (isentrópico), mas fornece uma aproximação razoável. Uma correlação empírica indica que a massa da substância química que participa da Bola de Fogo é de cerca de três vezes a massa de combustível que ferve rapidamente após a ruptura, limitada à massa total do conteúdo do tanque (Hasegawa e Sato, 1977). ALOHA adotou a recomendação de Roberts para calcular o diâmetro de uma Bola de Fogo (Roberts 1982):

$$D_{max} = 5.8 mass^{\frac{1}{3}}$$

O fator de vista geométrica para uma superfície vertical, F , foi dado pelo Witter (1992) como:

$$F = \frac{x\left(\frac{D_{max}}{2}\right)^2}{\left[x^2 + \left(\frac{D_{max}}{2}\right)^2\right]^{3/2}} \quad \text{for} \quad x > \frac{D_{max}}{2}$$

Onde x é a distância entre um receptor e um ponto no nível do solo diretamente abaixo do centro da Bola de Fogo.

Transmissividade:

A transmissividade da atmosfera à radiação térmica, τ , depende da distância entre as superfícies emissora e receptora, x . É sensível a neblina, chuva, fumaça, dióxido de carbono e água vapor na atmosfera. ALOHA representa apenas o vapor de água. Desprezando os outros fatores, ALOHA superestima a radiação transmitida nos casos em que os outros fenômenos atenuantes ocorrer. A transmissividade da atmosfera à radiação térmica, τ , é bem estudada. ALOHA usa a fórmula relatada por Cook *et al.* (1990).

$$\tau = 1.389 - 0.135 \log(P_w x)$$

ALOHA usa a fórmula relatada por Thibodeaux para a pressão parcial da água na atmosfera (THIBODEAUX, 1979),

$$P_w = 99.89 \frac{R_H}{100} \exp\left(21.66 - \frac{5431.3}{T_a}\right)$$

Onde:

T_a é a temperatura do ar ambiente e

U_h é a umidade relativa.

Duração:

A duração do incêndio, t_{burn} não é usada no cálculo da zona de risco, mas é exibida. ALOHA usa a fórmula recomendada pelo Comitê Holandês de Prevenção de Desastres (DUISER, 1992), que foi baseado em médias obtidas de valores relatados na literatura,

$$t_{burn} = 0.852 \text{mass}^{0.26}$$

O APÊNDICE A apresenta o Memorial de Cálculo do ALOHA.

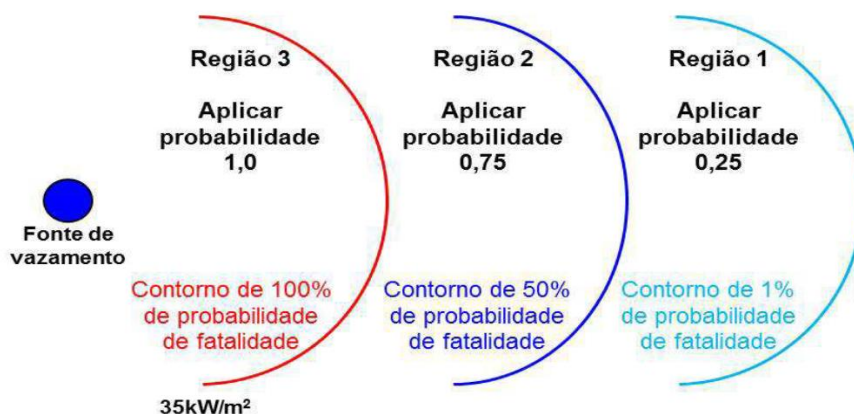
3.2.2. Método 2 – Avaliação da Tolerabilidade dos Riscos

Nesta pesquisa, também para avaliação de consequências e vulnerabilidade dos efeitos do BLEVE, seguido de *Fireball*, em um novo empreendimento de armazenamento de GLP, será apresentado um Estudo de Análise de Risco (EAR) simplificado através da visão da CETESB no tocante à interpretação e avaliação desse estudo (CETESB P4.261, 2011). O EAR é constituído pelas etapas a seguir:

- Caracterizações do empreendimento e do seu entorno;
- Identificação de perigos e consolidação das hipóteses acidentais;
- Estimativa dos efeitos físicos e avaliação de vulnerabilidade;
- Estimativa de frequências;
- Estimativa e avaliação de risco;
- Redução do risco, caso necessário.

Serão apresentados o Cálculo do Risco Individual e Risco Social da unidade de armazenamento de GLP idealizada utilizando como base o método apresentado pela CETESB (CETESB P4.261, 2011). Inicialmente é calculado o Risco Individual de forma iterativa considerando regiões de probabilidade de fatalidade com a estimativa do percentual do número de fatalidades obtidas através das funções de probabilidade de fatalidades *probit* (TSAO&PERRY, 1979)

Figura 4: Representação das regiões de probabilidade de fatalidade associadas aos valores de referência para o efeito de sobrepressão



Fonte: CETESB P4.261, 2011.

As seguintes premissas serão utilizadas para o desenvolvimento dos cálculos de Risco Individual e Risco Social.

- Para simplificação dos cálculos não foi feita distinção entre a população presente na comunidade durante dia e noite e que 85% da população se encontra abrigada nestes períodos.
- Probabilidade de ignição de 100% devido à grande energia resultante da liberação do inventário.
- Considerado a frequência de falha para perda súbita do inventário de 5×10^{-7} ano⁻¹ (Manual do BEVI 3.2 Modulo C) e que não ocorre interação acidental entre as esferas do parque de armazenamento.

O APÊNDICE B apresenta o Memorial de Cálculo do Risco Individual e Risco Social.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, serão apresentados os resultados obtidos pelas ferramentas para avaliação e alcances dos riscos, de forma qualitativa e quantitativa.

4.1. Análise Preliminar de Riscos (APR)

O APÊNDICE C apresenta os resultados da Análise Preliminar de Riscos (APR), em que a Hipótese Acidental nº 03, corresponde ao BLEVE, seguido de *Fireball*, e foi utilizada para as aplicações metodológicas de análise de riscos quantitativos por meio do ALOHA e Risco Individual e Social.

4.2. Alcance de Riscos via software ALOHA

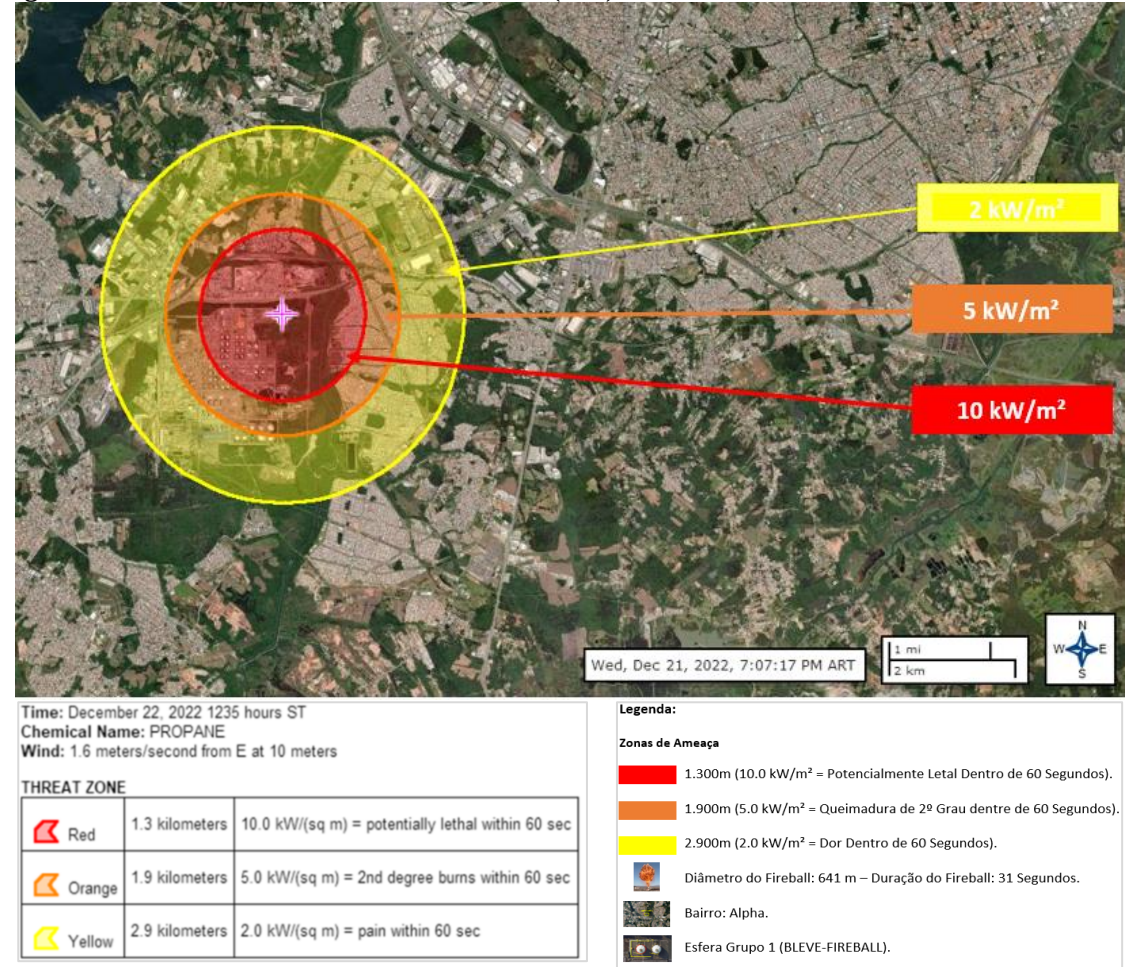
Abaixo é apresentado o resultado da ilustração da modelagem do BLEVE, seguido de *Fireball*, pelo software ALOHA.

A estimativa da população potencialmente afetadas pelas intensidades da radiação térmica (10.0 kW/m^2 , 5.0 kW/m^2 e 2.0 kW/m^2), foi definida utilizando-se a densidade demográfica do bairro ($48,36 \text{ hab/km}^2$), obteve-se os resultados das simulações realizadas pelo software ALOHA e *Marplot* (Tabela 1), e em seguida as ferramentas do *Google Earth*, onde as áreas residenciais do bairro onde as intensidades da radiação térmica alcançam, foram contornadas formando polígonos, e obtida as respectivas áreas (km^2).

Tabela 1: Estimativa da população potencialmente afetada pela radiação térmica

Raio	Dimensão (km^2)	Densidade (hab/km^2)	Área de Radiação (Km^2)	Populacional Afetada	Consequência
1.300m	5,31		0,89	43	(10.0 kW/m^2 = Potencialmente Letal Dentro de 60 Segundos)
1.900m	6,03	48,36	1,72	83	(5.0 kW/m^2 = Queimadura de 2º Grau dentre de 60 Segundos)
2.900m	15,08		3,08	149	(2.0 kW/m^2 = Dor Dentro de 60 Segundos)

Figura 5: Resultados de alcances do ALOHA – 01 (uma) Esfera.



Fonte: Autoria própria; *Marplot* (2023).

4.3.Avaliação da Tolerabilidade dos Riscos

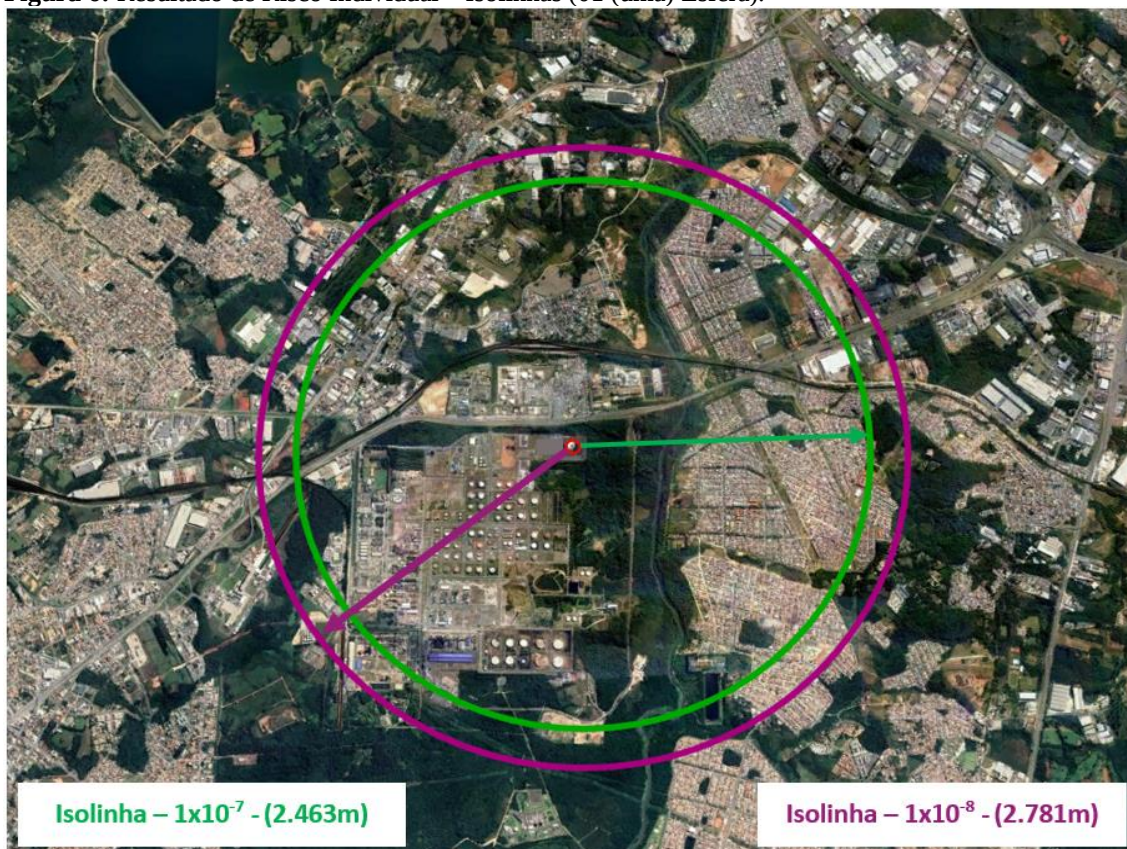
Abaixo são apresentados os resultados obtidos para Riscos Social e Individual, em situação de BLEVE, seguido de *Fireball*, considerando situações para definição da quantidade de esferas que a REFINARIA GRUPO 1 pode implementar, conforme definições da Norma Técnica CETESB P4.261/2011. A **Tabela 2** apresenta os resultados de risco individual e as Figuras seguintes, os alcances dos riscos calculados para os cenários de 01, 10 e 15 esferas.

Tabela 2: Resultado de Risco Individual - Isolinhas

Nº Esferas	Risco Individual - RI (ano ⁻¹)	Distância – Isolinha (m)
1	1,00E-05	*
	1,00E-06	*
	1,00E-07	2463
	1,00E-08	2781
10	1,00E-05	*
	1,00E-06	2459
	1,00E-07	2776
	1,00E-08	2808
15	1,00E-05	463
	1,00E-06	2581
	1,00E-07	2792
	1,00E-08	2814

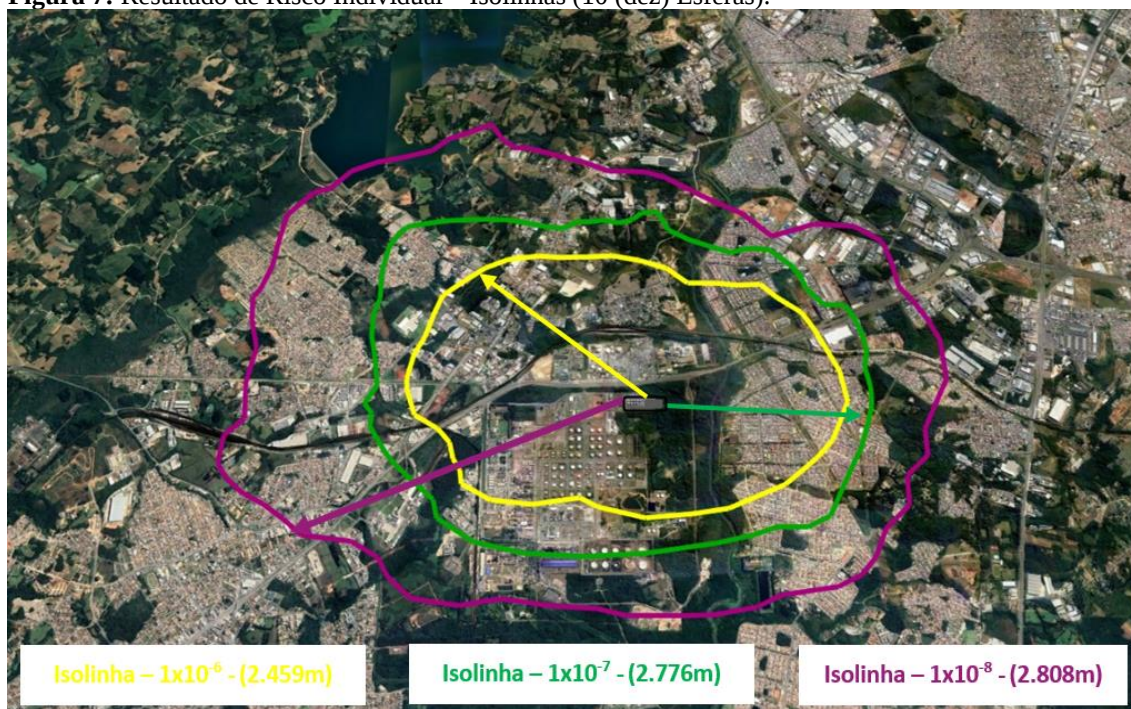
Legenda: * não aplicável pois não se obteve resultados suficientes para RI.

Figura 6: Resultado de Risco Individual – Isolinhas (01 (uma) Esfera).



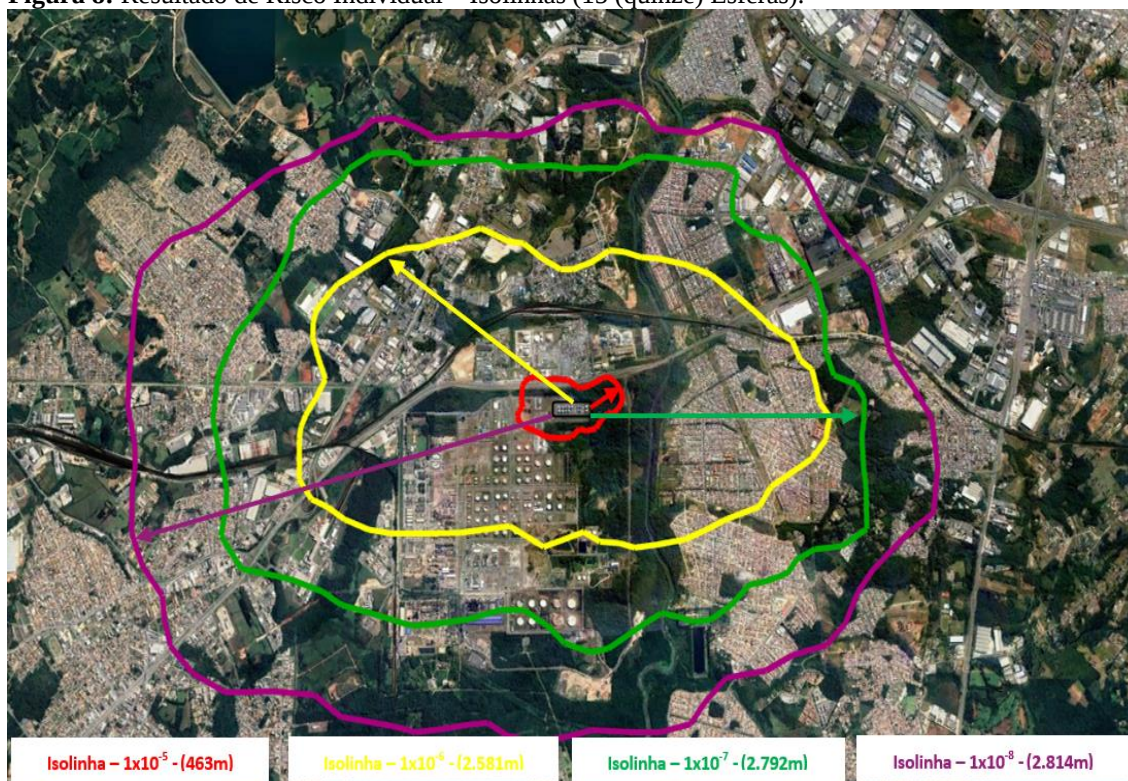
Fonte: Autoria própria.

Figura 7: Resultado de Risco Individual – Isolinhhas (10 (dez) Esferas).



Fonte: Autoria própria.

Figura 8: Resultado de Risco Individual – Isolinhhas (15 (quinze) Esferas).



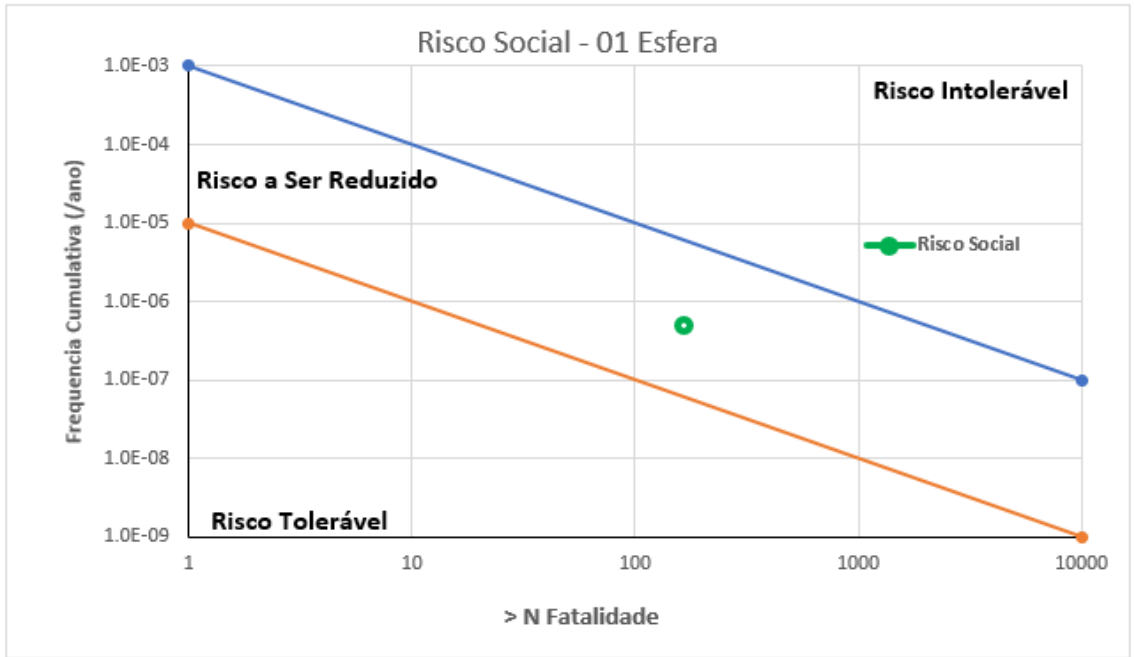
Fonte: Autoria própria.

A **Tabela 3** apresenta os resultados de risco social e as Figuras seguintes (**Figura 9** a **Figura 11**), a avaliação dos riscos considerando a sua tolerabilidade de acordo com a frequência e fatalidade, para os cenários de 01, 10 e 15 esferas.

Tabela 3: Resultado de Risco Social.

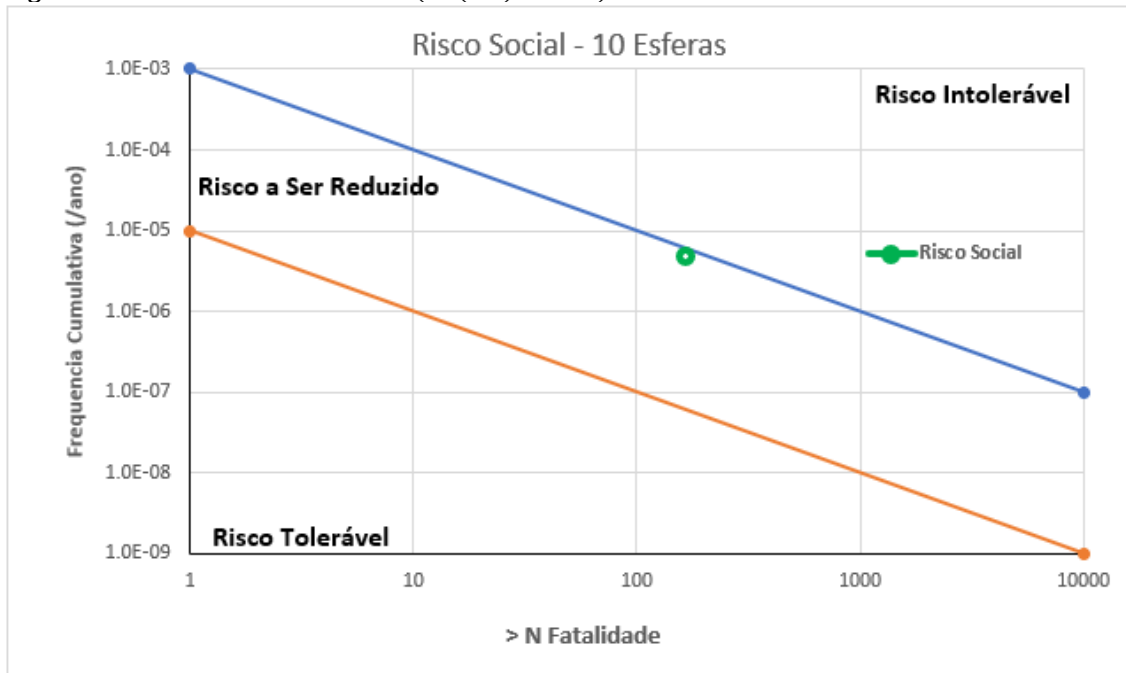
Nº Esferas	Frequência (ocorrência/ano)	Nº Fatalidades
1	5,00E-05	164
10	5,00E-06	164
15	7,50E-06	164

Figura 9: Resultado de Risco Social (01 (uma) Esfera).



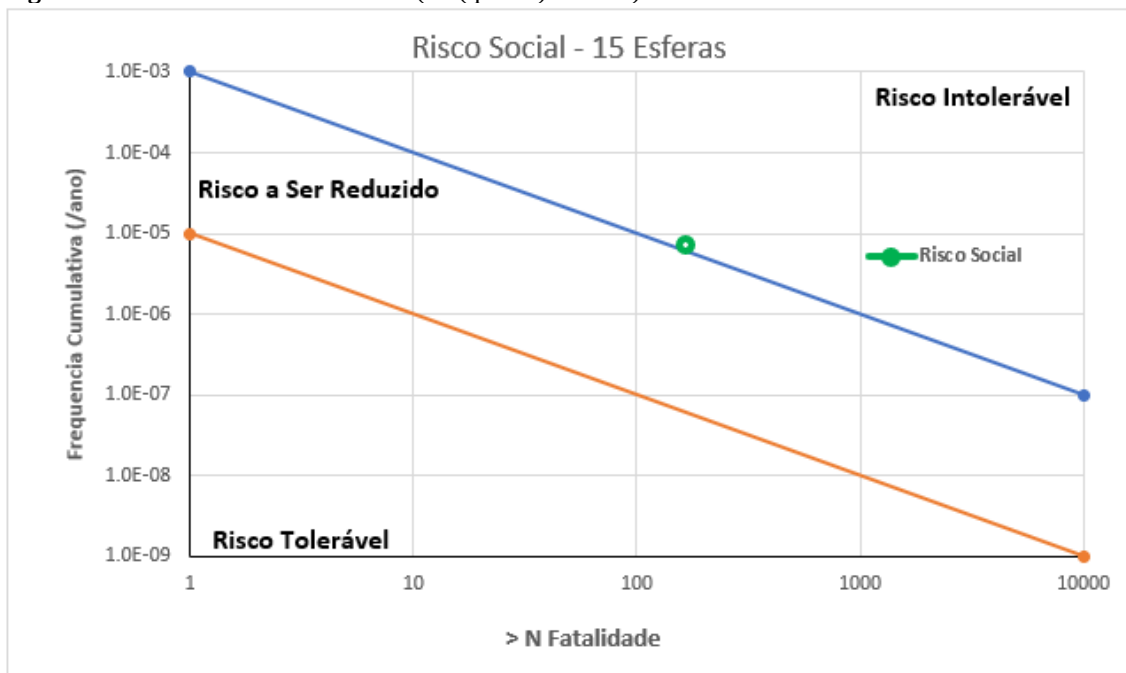
Fonte: Autoria própria.

Figura 10: Resultado de Risco Social (10 (dez) Esferas).



Fonte: Autoria própria.

Figura 11: Resultado de Risco Social (15 (quinze) Esferas).



Fonte: Autoria própria.

5. CONCLUSÕES

Conforme as metodologias implementadas e os resultados obtidos, foram observadas três situações conclusivas que serão abordadas nos itens seguintes.

5.1.Implementação de 01 Esfera e a correlação com resultados do ALOHA

Os dados resultantes da modelagem pelo software ALOHA foram as estimativas das possíveis consequências (radiação térmica padrão) e das distâncias (áreas de vulnerabilidade) pelo *Fireball*.

Segundo o software ALOHA, os efeitos da radiação térmica que as pessoas experimentam dependem do período de tempo em que estão expostas a um nível específico de radiação térmica. Durações de exposição mais longas, mesmo em um nível de radiação térmica mais baixo, podem produzir sérios efeitos fisiológicos. As zonas de ameaça exibidas pelo software ALOHA representam níveis de radiação térmica e seus possíveis efeitos em pessoas expostas a esses níveis de radiação térmica, mas que conseguem buscar abrigo em um minuto.

A duração do *Fireball* modelado pelo software ALOHA, foi de 31 segundos, e pela metodologia da Norma Técnica CETESB P4.261/2011 foi de 27 segundos, uma diferença de 4 segundos entre as duas metodologias.

Comparando os resultados das estimativas das consequências da radiação térmica e das distâncias das áreas de vulnerabilidade modelados pelo software ALOHA, com os resultados modelados pela metodologia da Norma Técnica CETESB P4.261/2011, para o cenário de 01 esfera, observa-se que com relação a radiação térmica, o software ALOHA utiliza valores padrão de radiação térmica recomendados pela NFPA, já a radiação térmica resultante do cálculo da metodologia de Avaliação da Tolerabilidade dos Riscos, apresenta fluxo de radiação térmica de acordo com a probabilidade de fatalidades.

Com relação às distâncias alcançadas pelas intensidades das radiações térmica, o software ALOHA apresenta 3 (três) raios de abrangência de alcance sendo um para cada fluxo de radiação térmica, e a metodologia de Avaliação da Tolerabilidade dos Riscos, apresenta dois raios de abrangência (isolinhas).

Uma das vantagens em relação ao uso da metodologia de Avaliação da Tolerabilidade dos Riscos, é que ela apresenta em seus resultados, o número de fatalidades, já o software ALOHA não possui este recurso.

Para o Risco Social, a curva F-N do empreendimento situada na região de risco tolerável aponta a presença de risco residual que deve ser gerenciado por meio de um Programa de Gerenciamento de Risco (PGR).

5.2.Implementação de 10 Esferas e a correlação com Risco Social e Individual

Em análise do Risco Individual representado através das isolinhas no mapa na **Figura 7** e Risco Social representado na **Figura 10**, conclui-se que com o inventário de GLP proposto e a quantidade de 10 (dez) esferas entramos em uma área de risco a ser reduzida. Para esta região é necessário que sejam aplicados no projeto medidas que reduzam os efeitos físicos ou as frequências dos cenários acidentais, ou ainda eliminem alguns desses cenários. Após a incorporação destas medidas no projeto do empreendimento deve ser demonstrado por meio de cálculo a redução do risco com um maior detalhamento.

Como conclusão a análise da construção de 10 (dez) esferas com capacidade de 1.321 ton de GLP será sugerido a equipe do detalhamento do projeto do empreendimento que seja considerado a diminuição do inventário no novo parque de abastecimento de GLP, de maneira a alcançar um equilíbrio entre os custos, medidas de redução de risco e os benefícios reais percebidos.

Essa região característica do Riscos Social (**Figura 10**), curva F-N, definida por região de risco a ser reduzido (ALARP “*as low as reasonable practicable*”), deverá ser demonstrado que foram empenhados esforços de engenharia para redução do risco residual. Sugere-se a redução do risco tanto com análise custo-benefício necessária para implantação das medidas.

5.3.Implementação de 15 Esferas e a correlação com projeto intolerável

Para a situação do empreendimento com 15 (quinze) esferas, observou-se a necessidade de reavaliação de risco, por ser considerado Risco Social Intolerável (**Figura 11**).

Para o Risco Social, a curva F-N do empreendimento situada na região de risco intolerável, indica a inviabilidade do projeto. Dependendo da importância econômica para a região do referido projeto, sugere-se a implementação do projeto inerentemente mais seguro, garantindo a integridade da instalação e a segurança dos colaboradores e pessoas externas. O objetivo do projeto inerentemente mais seguro é de eliminar e reduzir permanentemente os perigos a fim de evitá-los ou reduzir as consequências dos acidentes, em vez de utilizar medidas de proteção complementares para controlar os riscos originários dos perigos.

6. APÊNDICES

APÊNDICE A – Memorial de Cálculo do ALOHA.

APÊNDICE B – Memorial de Cálculo do Risco Individual e Risco Social.

APÊNDICE C – Resultados da Análise Preliminar de Riscos (APR).

7. REFERÊNCIAS

ALOHA. Areal Locations of Hazardous Atmospheres. Disponível em: <<https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>>. Acesso em 10/12/2022.

ALOHA. Example Scenarios. Disponível em: https://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/ALOHA_Examples.pdf>. Acesso em 10/12/2022.

ALOHA. Technical Documentation. Disponível em: <https://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/ALOHA_Tech_Doc.pdf>. Acesso em 10/12/2022.

COSTA, Henrique, BATEIRA, Carlos, GOMES, Antônio. BLEVE – modelação e avaliação das consequências da explosão de um caminhão-cisterna de propano. Disponível em: < <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/126929/2/95991.pdf>>. Acesso em 10/12/2022.

COSTA, Pierre. O MAIOR ACIDENTE DA REFINARIA DUQUE DE CAXIAS (RJ)-BRASIL: UM ESTUDO GEOGRÁFICO-HISTÓRICO. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, p. 1-11, 2011.

DA SILVA JUNIOR, Valter Firmino. PROJETO E ESTUDO DA FABRICAÇÃO DE VASO DE PRESSÃO ESFÉRICO. 2021. Disponível em: < http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2011/Artigos/Art_TCC_060_2011.pdf>. Acesso em: 09/09/2022.

FERREIRA LOPES, Carlos. Análise de Consequência de Acidentes Tecnológicos a Comunidades Presentes no Entorno de Plantas Industriais da Região do Porto de Santos – SP. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/wp-content/uploads/sites/30/2019/04/Carlos-Ferreira-Lopes-TCC-final-2019.pdf>>. Acesso em 10/12/2022.

MARPLOT. Mapping Application for Response, Planning, and Local Operational Tasks. Disponível em: <https://www.epa.gov/cameo/Marplot_software>. Acesso em 10/12/2022.

PETROBRAS. **Norma nº 2.782: critérios para aplicação de técnicas de avaliação de riscos**. 2005. Disponível em: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/N-2782_PETROBRASAR.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2018

QUÍMICOS, Centro para Segurança de Processos. Análise de camadas de proteção: avaliação simplificada do risco de processo, f. 13. 2021. 268 p

RSE Consultoria e Gerenciamento de Risco e Sustentabilidade Empresarial. Fenômeno BLEVE. 2018. Disponível em: <https://www.rsem.com.br/artigo-fenomeno-bleve/>. Acesso em: 19 de agosto de 2022.

SUMMERS, Angela E. *Introduction to layers of protection analysis*. *Journal of hazardous materials*, v. 104, n. 1-3, p. 163-168, 2003.

Williams Olefins Plant Explosion and Fire CSB. Disponível em:
<<https://www.csb.gov/williams-olefins-plant-explosion-and-fire-/>>.

WITTER, Ray E. ***Guidelines for hazard evaluation procedures***. *Plant/Operations Progress*; (United States), v. 11, n. 2, 1992.

APÊNDICE A – Memorial de Cálculo do ALOHA.

CHEMICAL DATA:
Chemical Name: PROPANE
CAS Number: 74-98-6 Molecular Weight: 44.10 g/mol
AEGL-1 (60 min): 5500 ppm AEGL-2 (60 min): 17000 ppm AEGL-3 (60 min): 33000 ppm
IDLH: 2100 ppm LEL: 21000 ppm UEL: 95000 ppm
Ambient Boiling Point: -48.1° F
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
Wind: 1.6 meters/second from E at 10 meters
Ground Roughness: open country Cloud Cover: 0 tenths
Air Temperature: 25° C
Stability Class: A (user override)
No Inversion Height Relative Humidity: 80%

SOURCE STRENGTH:
BLEVE of flammable liquid in spherical tank
Tank Diameter: 18.15 meters Tank Volume: 3,131 cubic meters
Tank contains liquid
Internal Storage Temperature: 18° C
Chemical Mass in Tank: 1,351,422 kilograms
Tank is 85% full
Percentage of Tank Mass in Fireball: 100%
Fireball Diameter: 701 yards Burn Duration: 31 seconds

Abaixo é apresentado a descrição do tipo de cenário simulado (Bleve-Fireball), gerado pelo software ALOHA, o qual contém o tipo de falha da esfera e o potencial de risco de um Bleve.

Type of Tank Failure

Scenario:
Tank containing a pressurized flammable liquid.

Type of Tank Failure:

☐ Leaking tank, chemical is not burning as it escapes into the atmosphere

☐ Leaking tank, chemical is burning as a jet fire

☒ BLEVE, tank explodes and chemical burns in a fireball

Potential hazards from BLEVE:

- Thermal radiation from fireball and pool fire
- Hazardous fragments and blast force from explosion
[cannot be modeled by ALOHA]
- Downwind toxic effects of fire byproducts
[cannot be modeled by ALOHA]

OK Cancel Help

APÊNDICE B – Memorial de Cálculo do Risco Individual e Risco Social.

Risco Individual Acumulado

Distância do acidente(m)	fatalidades	RI (ano ⁻¹)
2798,31	0,010	5,00E-09
2460,00	0,050	2,50E-08
2290,08	0,100	5,00E-08
2098,36	0,200	1,00E-07
1968,23	0,300	1,50E-07
1863,53	0,400	2,00E-07
1769,25	0,500	2,50E-07
1678,48	0,600	3,00E-07
1586,78	0,700	3,50E-07
1484,10	0,800	4,00E-07
1348,89	0,900	4,50E-07
1068,78	0,990	4,95E-07
859,40	1,000	5,00E-07
-713,70	-	1,00E-06
-32480,65	-	1,00E-05

Isolinhas

interpolarm os valores para achar as isolinhas

Para localizar a dist. RI 1e-5/ano

Isolinha VERMELHA

m	RI
2798	5,00E-09
-32481	1,00E-05
1069	4,95E-07

-1730 4,90E-07
3,53E+04 -1,00E-05

Para localizar a dist. RI 1e-6/ano

Isolinha AMARELA

m	RI
2798	5,00E-09
-714	1,00E-06
1069	4,95E-07

-1730 4,90E-07
3,51E+03 -9,95E-07

Para localizar a dist. RI 1e-7/ano

Isolinha VERDE

m	RI
2798	5,00E-09
2463	1,00E-07
1069	4,95E-07

-1730 4,90E-07
3,35E+02 -9,50E-08

Para localizar a dist. RI 1e-8/ano

Isolinha ROXA - CETESB NÃO PEDE

m	RI
2798	5,00E-09
2781	1,00E-08
1069	4,95E-07

-1730 4,90E-07
1,76E+01 -5,00E-09

Cálculos para Riscos Social

Área dos toróides conforme CETESB

	Raio (m)	Area (m²)
Prob 0,01	2798	24.600.438
Prob 0,50	2060	13.331.663
Prob 0,99	996,02	3.116.646
Sem hab	100,00	31.416

Informação:	Vulnerabilidade
Dist (m)	Fraç fat
2798,31	0,01
2460,00	0,05
2290,08	0,1
2098,36	0,2
1968,23	0,3
1863,53	0,4
1769,25	0,5
1678,48	0,6
1586,78	0,7
1484,10	0,8
1348,89	0,9
1068,78	0,99
859,40	1

≥ 35kW/m2 : 996 metros

Dados do Execício - POPULAÇÃO (dia e noite)

Densidade pop.:	48,36 hab/km²	DADO ESTIMADO DO IBGE PARA O MUNICÍPIO
Densidade pop.:	0,00004836 hab/m²	
Pop. Projegida:	0,85 (%)	
Pop. Exposta:	0,15 (%)	

Aplicar --> item 7.6.2.1.1.2 Radiação térmica e toxicidade do Manual da CETESB

Área da Fórmula NT CETESB							
		m²	Hab.	Pop. Exposta	Fatalidades		f _p = 0,2
				Dia e Noite	Dia e Noite		
Prob 0,01	Regiao 1	11.268.775	545	82	20	25%	4
Prob 0,50	Regiao 2	10.215.016	494	74	56	75%	11
Prob 0,99	Regiao 3	3.085.230	149	149	149	100%	149
							164

Total Fatalidades

f_p: 0,2

Nt: 164 Total Fatalidades pela equação

$$N_t = f_p(0,25Ne_1 + 0,75Ne_2) + Ne_3$$

Frequência e Fatalidades

N. vasos 300m3	1	> NÃO MULTIPLICA AS FATALIDADES, só a frequência		
por vaso				
5,00E-07 Oc/ano	164	Fatalidades	FF Fireball - Bevi 3.2, Mod C, Tab 13	
Total de vasos				
5,00E-07 Oc/ano	164	Fatalidades		

Risco Individual Acumulado

Distância do acidente(m)	fatalidades	RI (ano ⁻¹)
2793,82	0,010	5,00E-08
2459,62	0,050	2,50E-07
2290,07	0,100	5,00E-07
2098,36	0,200	1,00E-06
1968,23	0,300	1,50E-06
1863,53	0,400	2,00E-06
1769,25	0,500	2,50E-06
1678,48	0,600	3,00E-06
1586,78	0,700	3,50E-06
1484,10	0,800	4,00E-06
1348,89	0,900	4,50E-06
1068,78	0,990	4,95E-06
859,40	1,000	5,00E-06
2459,37	-	1,00E-06
-709,06	-	1,00E-05

Isolinhas

interpolando os valores para achar as isolinhas

Para localizar a dist. RI 1e-5/ano

Isolinha VERMELHA

m	RI
2794	5,00E-08
-709	1,00E-05
1069	4,95E-06

-1725 4,90E-06
3,50E+03 -9,95E-06

Para localizar a dist. RI 1e-6/ano

Isolinha AMARELA

m	RI
2794	5,00E-08
2459	1,00E-06
1069	4,95E-06

-1725 4,90E-06
3,34E+02 -9,50E-07

Para localizar a dist. RI 1e-7/ano

Isolinha VERDE

m	RI
2794	5,00E-08
2776	1,00E-07
1069	4,95E-06

-1725 4,90E-06
1,76E+01 -5,00E-08

Para localizar a dist. RI 1e-8/ano

Isolinha ROXA - CETESB NÃO PEDE

m	RI
2794	5,00E-08
2808	1,00E-08
1069	4,95E-06

-1725 4,90E-06
-1,41E+01 4,00E-08

Cálculos para Riscos Social

Área dos toróides conforme CETESB

	Raio (m)	Area (m²)
Prob 0,01	2794	24.521.405
Prob 0,50	2060	13.331.663
Prob 0,99	996,02	3.116.646
Sem hab	100,00	31.416

Informação:

Vulnerabilidade

Dist (m)	Fraç fat
2793,82	0,01
2459,62	0,05
2290,07	0,1
2098,36	0,2
1968,23	0,3
1863,53	0,4
1769,25	0,5
1678,48	0,6
1586,78	0,7
1484,10	0,8
1348,89	0,9
1068,78	0,99
859,40	1

≥ 35kW/m2 : 996 metros

Dados do Execício - POPULAÇÃO (dia e noite)

Densidade pop.: 48,36 hab/km²

Densidade pop.: 0,00004836 hab/m²

Pop. Projegida: 0,85 (%)

Pop. Exposta: 0,15 (%)

DADO ESTIMADO DO IBGE PARA O MUNICÍPIO

Aplicar --> item 7.6.2.1.1.2 Radiação térmica e toxicidade do Manual da CETESB

Área da Fórmula NT CETESB

		m²	Hab.	Pop. Exposta	Fatalidades		f _p = 0,2
				Dia e Noite	Dia e Noite		
Prob 0,01	Regiao 1	11.189.743	541	81	20	25%	4
Prob 0,50	Regiao 2	10.215.016	494	74	56	75%	11
Prob 0,99	Regiao 3	3.085.230	149	149	149	100%	149
							164

Total Fatalidades

f_p: 0,2

Nt: 164

Total Fatalidades pela equação

$$N_t = f_p(0,25Ne_1 + 0,75Ne_2) + Ne_3$$

Frequência e Fatalidades

N. vasos 300m3 1

> NÃO MULTIPLICA AS FATALIDADES, só a frequência

por vaso

5,00E-07 Oc/ano

164

Fatalidades

FF Fireball - Bevi 3.2, Mod C, Tab 13

Total de 10 vasos

5,00E-06 Oc/ano

164

Fatalidades

Risco Individual Acumulado

Distância do acidente(m)	fatalidades	RI (ano^-1)
2798,31	0,010	7,50E-08
2460,00	0,050	3,75E-07
2290,08	0,100	7,50E-07
2098,36	0,200	1,50E-06
1968,23	0,300	2,25E-06
1863,53	0,400	3,00E-06
1769,25	0,500	3,75E-06
1678,48	0,600	4,50E-06
1586,78	0,700	5,25E-06
1484,10	0,800	6,00E-06
1348,89	0,900	6,75E-06
1068,78	0,990	7,43E-06
859,40	1,000	7,50E-06
2580,65	-	1,00E-06
462,86	-	1,00E-05

Isolinhas

interpolarm os valores para achar as isolinhas

Para localizar a dist. RI 1e-5/ano Isolinha VERMELHA

m	RI		
2798	7,50E-08	-1730	7,35E-06
463	1,00E-05	2,34E+03	-9,93E-06
1069	7,43E-06		

Para localizar a dist. RI 1e-6/ano Isolinha AMARELA

m	RI		
2798	7,50E-08	-1730	7,35E-06
2581	1,00E-06	2,18E+02	-9,25E-07
1069	7,43E-06		

Para localizar a dist. RI 1e-7/ano Isolinha VERDE

m	RI		
2798	7,50E-08	-1730	7,35E-06
2792	1,00E-07	5,88E+00	-2,50E-08
1069	7,43E-06		

Para localizar a dist. RI 1e-8/ano Isolinha ROXA - CETESB NÃO PEDE

m	RI		
2798	7,50E-08	-1730	7,35E-06
2814	1,00E-08	-1,53E+01	6,50E-08
1069	7,43E-06		

Cálculos para Riscos Social

Área dos toróides conforme CETESB

	Raio (m)	Area (m²)
Prob 0,01	2798	24.600.426
Prob 0,50	2060	13.331.663
Prob 0,99	996,02	3.116.646
Sem hab	100,00	31.416

Informação:	Vulnerabilidade
Dist (m)	Fraç fat
2798,31	0,010
2460,00	0,050
2290,08	0,100
2098,36	0,200
1968,23	0,300
1863,53	0,400
1769,25	0,500
1678,48	0,600
1586,78	0,700
1484,10	0,800
1348,89	0,900
1068,78	0,990
859,40	1,000

≥ 35kW/m2 : 996 metros

Dados do Execício - POPULAÇÃO (dia e noite)

Densidade pop.: 48,36 hab/km²

Densidade pop.: 0,00004836 hab/m²

Pop. Projegida: 0,85 (%)

Pop. Exposta: 0,15 (%)

DADO ESTIMADO DO IBGE PARA O MUNICÍPIO

Aplicar --> item 7.6.2.1.1.2 Radiação térmica e toxicidade do Manual da CETESB

Área da Fórmula NT CETESB

		m²	Hab.	Pop. Exposta	Fatalidades		f _p = 0,2
				Dia e Noite	Dia e Noite		
Prob 0,01	Regiao 1	11.268.764	545	82	20	25%	4
Prob 0,50	Regiao 2	10.215.016	494	74	56	75%	11
Prob 0,99	Regiao 3	3.085.230	149	149	149	100%	149
							164

Total Fatalidades

f_p: 0,2

Nt: 164

Total Fatalidades pela equação

$$N_t = f_p(0,25Ne_1 + 0,75Ne_2) + Ne_3$$

Frequência e Fatalidades

N. vasos 300m3 1

> NÃO MULTIPLICA AS FATALIDADES, só a frequência

por vaso

5,00E-07 Oc/ano

164

Fatalidades

FF Fireball - Bevi 3.2, Mod C, Tab 13

Total de 15 vasos

7,50E-06 Oc/ano

164

Fatalidades

APÊNDICE C – Resultados da Análise Preliminar de Riscos (APR).

ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS (APR)

ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS (APR)														
Unidade:	Refinaria Grupo 1 - Gás Liquefeito do Petróleo (GLP)												Data:	09/01/2022
Sistema:	Parque de Esferas - GLP												Revisão:	rev00
Subsistema:	Esfera Grupo 1 - GLP												Responsável:	Grupo 1
Perigo	Causas	Consequências	Detecções / Salvaguardas	Freq.	P		Int		MA		Ima		Recomendações	Hipótese Acidental
					S	R	S	R	S	R	S	R		
Pequena liberação de gases inflamáveis	Vazamentos em flanges, conexões,válvulas, tubulações, tomadas de instrumento, equipamentos, etc	*Incêndio em nuvem *Jato de fogo	*Sensores de gás (D) *Auditiva (D) *Sistema de combate a incêndio (Sm)	D	II	M	II	M	I	T	II	M	R01) Manter plano de inspeção preventiva focado nos níveis de corrosão e integridade física dos equipamentos R02) Implementar controle de emissões fugitivas. R03) Manter plano de manutenção e calibração dos medidores portáteis	H01
Grande Liberação de Gases Inflamáveis	Ruptura em flanges, conexões, válvulas, tubulações, tomadas de instrumento, equipamentos, etc	*Incêndio em nuvem *Jato de fogo *Explosão em nuvem *nuvem tóxica	*Sensores de gás (D) *Auditiva (D) *Visual (D) *Monitoração de variáveis de processo (D)	C	IV	M	IV	M	I	T	III	M	R05) Manter plano inspeção para o sistema de aterramento contra descargas atmosféricas; R06) Impedir o acesso de veículos e ou equipamentos que tenham motores à combustão nas proximidades do Parque de Esferas do GLP R07) Restringir o acesso a terceiros na unidade de armazenamento de GLP R08) Elaboração de modelagem matemática para alcance dos riscos.	H02
	Ruptura catastrófica das esferas de GLP	*Incêndio em nuvem *Explosão em nuvem *nuvem tóxica	*Intertravamento fechando SDV por PSL (Sp) *Sistema de combate a incêndio (Sm)	C	IV	M	IV	M	II	T	IV	M		H03