

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO
TRABALHO

ALESSANDRA BAUM PEREIRA

ESTUDO DE ANÁLISE DE VULNERABILIDADE EM UMA AMPLIAÇÃO DE ÁREA
DE ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS QUÍMICOS INFLAMÁVEIS

São Leopoldo

2023

ALESSANDRA BAUM PEREIRA

**ANÁLISE DE VULNERABILIDADE EM UMA AMPLIAÇÃO DE ÁREA DE
ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS QUÍMICOS INFLAMÁVEIS**

Artigo apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Segurança do Trabalho, pelo Curso de Engenharia de Segurança do Trabalho em 2023 da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Orientador(a): Prof. ou Prof.^a Esp Luís Inácio Camargo Gré

São Leopoldo
2023

ANÁLISE DE VULNERABILIDADE EM UMA AMPLIAÇÃO DE ÁREA DE ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS QUÍMICOS INFLAMÁVEIS

Alessandra Baum Pereira

Luís Inácio Camargo Gré **

Resumo: O artigo apresenta uma análise de vulnerabilidade aplicada para uma ampliação de área de armazenamento de produtos químicos inflamáveis. A aplicação da ferramenta é uma condição necessária para concessão de licença de operação, seguindo as normativas da FEPAM (órgão do estado do Rio Grande do Sul que regulamenta, gere e emite as licenças legais). O processo foi aplicado em uma empresa real, uma indústria petroquímica no mesmo estado. O estudo seguiu toda a sequência de atividades no Manual de análise de riscos da FEPAM. Como resultados, foram levantados 23 cenários e apresentados em detalhe os dois mais críticos, utilizando simulações computacionais para trazer quantificar o impacto no local e na vizinhança. Os resultados mostram que, mesmo os cenários mais graves não trazem riscos relevantes para os trabalhadores e comunidade local, podendo seguir com a licença e operação na área analisada.

Palavras-chave: Segurança de processo, Análise de Riscos, Vulnerabilidade, Manual de análise de riscos ambientais

Abstract: The article presents a vulnerability analysis applied to the expansion of a storage area for flammable chemicals. The application of the analysis is a mandatory condition for granting an operational license, following the regulations of FEPAM (a government agency in the state of Rio Grande do Sul that regulates, manages and issues legal licenses). The process was applied in a real company, a petrochemical industry in the same state. The study followed the entire sequence of activities in the FEPAM Risk Analysis Manual. As a result, 23 scenarios were analyzed and the two most critical were presented in detail, using computer simulations to bring a quantified impact on the site and in the neighborhood. The results show that even the most serious scenarios do not pose relevant risks to workers and the local community, and the factory can continue with the license and operate in the area.

Key-words: Process safety, Risk Analysis, Vulnerability, Guideline for environmental risk analysis

** Professor orientador Luís Inácio Camargo Gré

1. INTRODUÇÃO

A revolução industrial possibilitou novos horizontes para a sociedade moderna, introduzindo mudanças profundas na forma de viver. Abriu-se a possibilidade de produção de bens de consumo, alimentos, automóveis, acúmulo de capitais e outros fatores não econômicos, como distribuição demográfica e impactos sociais.

Dentro desse contexto, as relações de trabalho e preocupações com segurança e meio ambiente também foram profundamente afetadas. Das primeiras produções com máquinas a vapor, passando pelo Taylorismo e até os tempos presentes, os conceitos de segurança e preocupação com o meio ambiente foram evoluindo, assim como a sociedade entende e pensa nesses temas.

Sabendo que as normas e legislações são um reflexo do que a sociedade como um todo considera adequado, ao considerar a ótica da segurança do trabalho e meio ambiente, é notória a evolução no aspecto normativo e legal.

Partindo dos primórdios com praticamente nenhuma preocupação com segurança de processos, hoje existem diversas fundamentações normativas, ferramentas, sistemas e materiais de apoio para tratar esses temas.

Esse estudo fará a apresentação e contextualização das principais normas de segurança vigentes e os fatores que motivaram suas concepções e atualizações.

Além disso, o foco do trabalho é apresentar uma análise de vulnerabilidade para o contexto real de ampliação de área de armazenamento de produtos químicos inflamáveis. Se trata de um caso real, aplicado em uma indústria petroquímica, seguindo as mais atualizadas orientações e manuais do Estado do Rio Grande do Sul e seus órgãos competentes.

A metodologia aplicada (Estudo de Análise de Riscos, ou EAR), exemplifica bem o estado da arte das normativas, desde definições, critérios e classificações das atividades, cálculos e estudos de cenários utilizando ferramentas computacionais até análise de resultados e acompanhamento de ações após o estudo.

A evolução no campo da segurança de processos é nítida, porém sempre há espaço para melhora e novas ideias para reduzir riscos de acidentes.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. CONTEXTUALIZAÇÃO E HISTÓRICO DE ACIDENTES

O arcabouço normativo referente a segurança de processos e ambiental teve grande evolução no último século. Parte disso se deve à evolução da consciência da sociedade em relação a esses temas, mas também houve uma grande influência dos acidentes que foram ocorrendo.

Historicamente, os acidentes são catalisadores de mudança nas normas e legislações. À medida que a capacidade/tecnologia industrial foi avançando, novos patamares de produção (e riscos) foram alcançados e, consequentemente, os acidentes foram crescendo no potencial de impactos (danos materiais, ambientais e sociais). Eventos traumáticos e de grande escala acabam causando uma reflexão e questionamento das normas vigentes, muitas vezes até originando novas legislações.

Abaixo na Tabela 1, encontra-se uma relação de alguns dos principais acidentes industriais das últimas décadas.

Tabela 1 - Histórico de acidentes

Ano	Local	Acidente	Descrição
1976	Itália	Sevesso	Explosão em fábrica de produtos químicos lançou nuvem de Dioxina sobre a cidade
1979	Estados Unidos	Three Mile Island	Acidente nuclear lançou resíduos radioativos em raio de 16km ao redor da usina
1984	Índia	Bhopal	Vazamento em fábrica de agrotóxicos lançou mais de 40 toneladas de gases tóxicos no ambiente. Estimativa de 2000 mortes
1984	Brasil	Vila Socó	Falha em dutos subterrâneos espalhou 700 mil litros de gasolina, originando incêndio com cerca de 100 mortes
1988	Escócia	Piper Alpha	Explosão em plataforma petrolífera originou incêndios que mataram 167 pessoas
1989	Estados Unidos	Navio Exxon Valdez	Colisão de navio petroleiro liberou 40 milhões de litros de petróleo, com morte de mais de 100 mil aves e incontáveis efeitos na cadeia
2000	Brasil	Vazamento na Baía de Guanabara	Acidente com navio petroleiro derramou mais de 1 milhão de litros de óleo na orla do Rio de Janeiro.
2001	Brasil	Plataforma P36	Explosão em plataforma petrolífera causou 11 mortes e maior perda financeira do Brasil

2005	Estados Unidos	Texas City refinery	Acidente na refinaria, durante a partida da planta após longa parada de manutenção. 15 mortes, 180 feridos e mais de 1,5bilhão de dólares de prejuízos
2015	Brasil	Barragem de Mariana	Rompimento da barragem liberou mais de 60 milhões de metros cúbicos de rejeitos, destruindo a cidade vizinha
2019	Brasil	Barragem de Brumadinho	Rompimento de barragem ocasionou mais de 270 mortes, considerado o acidente com maior perda de vidas do Brasil e o segundo maior em impacto ambiental

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Cada um desses eventos gerou reflexões e questionamentos sobre como evitar que novos acidentes ocorram. Hoje já existem ferramentas e rotinas dedicadas para prevenção e mitigação de risco, resultado de um longo processo de evolução.

2.2. NORMAS INTERNACIONAIS

2.2.1. DIRETIVA SEVESO

A diretiva SEVESO é originária da Europa, tendo como principal objetivo a prevenção de acidentes graves que envolvam substâncias perigosas. Além disso, há o foco em limitar os impactos de eventuais acidentes, não somente visando a saúde humana, mas também o ambiente. (UNIAO EUROPEIA,2012)

A origem do nome surgiu devido à catástrofe na cidade de Seveso, na Itália em 1976, evento no qual mais de 600 pessoas foram evacuadas, com cerca de 2000 tratadas para envenenamento por dioxinas. Esse acidente foi um marco relevante à época, motivando autoridades, comunidade científica/acadêmica e a sociedade a buscarem normas e políticas focadas na prevenção dos riscos de acidentes industriais graves.

A diretiva SEVESO I foi publicada em 1982, seguida pela segunda versão em 1996 e a terceira em 2012. De forma geral, o escopo principal da diretiva se mantém, com atualizações periódicas e inclusão de novos pontos e ferramentas, conforme as evoluções de engenharia de segurança. A filosofia da diretiva passa pela avaliação/ gestão do risco do estabelecimento e pelos Planos de Emergência Externos

As principais atualizações na versão corrente envolvem preocupações conceituais (definindo substâncias perigosas e atualizando sua lista, passando pelos parâmetros unificados da União Europeia), acrescentando pontos sobre comunicação e transparência no acesso a dados e informações de interesse público, além de refinar os padrões de inspeções, tornando uma diretiva mais rigorosa. (UNIAO EUROPEIA,2012)

As diretrizes SEVESO têm grande aceitação mundial, mas, naturalmente, por ter origem na Europa e grande sinergia com a comunidade europeia, sua influência nesse continente é mais significativa.

2.2.2. OSHA 3132

Outra norma de referência é a OSHA 3132 – Process Safety Management. Popularmente conhecida como PSM. Ela foi publicada em 2000, com grande ênfase na gestão de segurança dos processos, passando por definições, diretrizes e requisitos para tais sistemas.

O PSM foca na análise de risco do processo (PHA – Process Hazards Analysis), ferramenta na qual as empresas/empregadores mapeiam e identificam os principais riscos, para posterior análise detalhada. Todo o fluxo envolve análise de dados, incidentes, medidas e planos de controle para evitar eventuais acidentes.

Outro ponto relevante é a responsabilização, definindo claramente papéis e responsabilidades na prevenção de acidentes. Além disso, há direcionamentos para todo o escopo de operacionalização dessas atividades, indo desde treinamentos de pessoas, procedimentos de operação, avaliação de instrumentos e máquinas, sistemas de avaliação para a gestão, dentre muitos outros. (OSHA,2000)

Um dos pontos de destaque é a Análise de Riscos do Processo - PHA (Process Hazards Analysis). Cabe à instituição (empresa, empregador) executar uma análise de risco dos processos executados. O PHA esclarece que existem diversas metodologias de análise de risco (*WHAT IF, HAZOP, FEMEA, FAIL TREE ANALYSIS*, dentre outras) e deve se direcionar a escolha para a mais adequada ao processo e contexto, de forma a ter o mapeamento mais fiel possível. Todas as análises de risco precisam ser atualizadas periodicamente (5 anos). (OSHA,2000)

2.2.3. RISK MANAGEMENT PROGRAM (RMP)

O Programa de gerenciamento de riscos (PGR ou Risk Management Program – RMP, em inglês) surgiu a partir de legislações americanas, que determinavam a necessidade de orientações e regulamentos para prevenção de acidentes químicos em instalações que manuseiam substâncias consideradas perigosas.

Contextualizando, a Agência de Proteção Ambiental (EPA) foi criada em 1970, nos Estados Unidos, sendo uma agência do governo federal com objetivo de proteger a saúde humana e ambiental. A EPA é responsável pela criação de normas e leis que promovem a saúde dos indivíduos e do meio ambiente. Dentro desse escopo, cabe à EPA publicar essas regulamentações e dessa forma surgiu o PGR. (EPA,2023).

O PGR exige que as instalações que usem substâncias extremamente perigosas desenvolvam um Plano de Gerenciamento de Riscos que:

- Identifique os efeitos potenciais de um acidente químico,
- Identifique as medidas que a instalação está tomando para evitar um acidente
- Descreva os procedimentos de resposta de emergência caso ocorra um acidente

Todos esses planos fornecem insumos valiosos aos bombeiros, policiais e equipes de resposta a emergências locais responsáveis por atuar em casos de emergências químicas em sua comunidade. A disponibilização de PGR's ao público também promove a comunicação e a conscientização para melhorar a prevenção de acidentes e as práticas de resposta a emergências em nível local.

A norma RMP foi construída sobre códigos e padrões existentes da indústria. Ela demanda que as instalações que usam substâncias tóxicas ou inflamáveis, regulamentadas listadas pela EPA desenvolvam um RMP e enviem esse plano à agência. O programa de cada instalação deve abordar três áreas e ser atualizado e revisado a cada 5 anos (EPA,2023).

2.2.4. API 750 RECOMMENDED PRACTICE 750

Similarmente ao PGR, a norma API 750 também surgiu a partir de entidades dos Estados Unidos. Ela faz parte do escopo de atuação do instituto americano de petróleo (IAP) e fala especificamente sobre Gerenciamento de riscos e processos.

Ela tem como objetivo auxiliar no gerenciamento de riscos de processo, ajudando a prevenir ocorrências e/ou minimizar as consequências de liberações catastróficas de materiais tóxicos ou explosivos. Aborda também o gerenciamento de riscos de processo em diversas fases, desde o projeto até operação, manutenção e modificações nas instalações. Aplica-se especificamente a processos e instalações com potencial para liberação catastrófica, seguindo definições da IAP (API,1995).

A maior parte das substâncias submetidas à norma são inflamáveis, explosivas ou tóxicas. A API 750 foi desenvolvida para refinarias, operações petroquímicas e grandes instalações de processamento. Instalações de armazenamento de gases liquefeitos de petróleo, incluindo instalações de superfície para cavernas subterrâneas de armazenamento, estão dentro do escopo também. (API,1995).

2.3. NORMAS BRASILEIRAS

2.3.1. NR 20 – LÍQUIDOS COMBUSTÍVEIS E INFLAMÁVEIS

A Norma Regulamentadora 20 (NR20), editada e publicada pela agência brasileira de normas técnicas, determina as obrigações e requisitos para a gestão da segurança e saúde atuando na prevenção de acidentes e eliminação de riscos inerentes das atividades de extração, produção, armazenamento, transferência, manuseio e manipulação de inflamáveis e líquidos combustíveis (BRASIL,2022).

Um dos primeiros passos para implantação da NR 20 é pesquisar e elaborar uma relação dos produtos químicos manuseados no PRC e suas quantidades, se os produtos se enquadram dentro da definição da NR 20 para líquidos e gás inflamáveis e líquidos combustíveis os mesmos deverão ser avaliados de acordo com a quantidade, o tipo de manuseio de acordo com a norma.

A NR 20 utiliza uma classificação para líquidos combustíveis, gases e líquidos inflamáveis que é adotada em toda a legislação trabalhista.

Após a constatação que os produtos químicos manipulados se enquadram na norma, será necessário verificar se as atividades se enquadram dentro da classificação definida na NR 20. A transferência, manuseio e manipulação de inflamáveis e líquidos combustíveis, é uma das atividades citadas na norma. Portanto, as atividades realizadas em PRC precisam atender os itens obrigatórios da NR 20 (BRASIL,2022).

Uma vez definido o enquadramento do estabelecimento, deve-se elaborar o Prontuário das Instalações contendo todos os itens solicitados na NR 20

A NR 20 interage com várias NR's e, para ser implantada adequadamente, deverá estar atrelada ao cumprimento de todas NR's aplicáveis.

2.3.2. MANUAL DE RISCOS INDUSTRIAIS DA FEPAM

A Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler (FEPAM) atua como órgão técnico do Sistema Estadual de Proteção Ambiental (SISEPRA), fiscalizando, licenciando, desenvolvendo estudos e pesquisas e executando programas e projetos, com vistas a assegurar a proteção e preservação do meio ambiente no Estado no Rio Grande do Sul (FEPAM, 2016).

Uma das suas atribuições é desenvolver normativas técnicas para prevenção de acidentes e, nesse contexto, foi criado Manual de análise de riscos industriais, em fevereiro de 2016, com constantes atualizações posteriores.

O objetivo do manual é estabelecer uma sistemática de referência para os procedimentos internos da FEPAM no licenciamento de atividades e/ou instalações que possam causar danos às pessoas e/ou ao meio ambiente, em decorrência de liberações acidentais de substâncias perigosas e/ou energia de forma descontrolada, dentro de um contexto de análise de riscos industriais. (FEPAM, 2016).

O manual apresenta uma sequência e memorial de cálculo para determinar os riscos, classificar as instalações e determinar as ações necessárias (de acordo com as classificações obtidas).

O presente artigo vai demonstrar uma análise de risco baseada no manual da FEPAM. Desta forma, serão apresentados na sequência em maiores detalhes o fluxo de etapas para efetuar a análise de risco.

2.3.3. CONVENÇÃO 174 DA ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO (OIT)

A Organização internacional do trabalho (OIT) foi fundada em 1919 para promover a justiça social, sendo uma agência das Nações Unidas que conta com representantes de governos, organizações, empregadores e trabalhadores de estados membros (OIT,2023).

O foco principal das atividades da organização reside nas relações de trabalho e na segurança dos trabalhadores. Porém, com o passar dos anos, a OIT começou a abraçar os temas de proteção ao meio ambiente, especialmente a partir da Convenção de Estocolmo e dos acidentes industriais de graves repercussões ambientais, como o de Seveso (1976), na Itália e de Bhopal (1984), na Índia. Essa preocupação se refletiu nas suas diretivas, entre elas a Convenção n. 174, que foca em acidentes industriais ampliados (OIT,2023).

Nesse contexto, a Convenção nº 174 da OIT constituiu importante marco normativo no enfrentamento dos efeitos nocivos à saúde e ao meio ambiente causados pelos acidentes industriais ampliados e foi ratificada pelo Brasil em 2001 e com vigência a partir de agosto de 2002. Posteriormente o decreto Nº 10.088, de 5 de Novembro de 2019 entrou em vigor, revogando o anterior e consolidando novamente a convenção, com ajustes e atualizações (BRASIL, 2019).

A convenção tem como objetivos prevenir acidentes maiores, reduzir ao mínimo os riscos de acidentes maiores e reduzir ao mínimo as consequências desses acidentes maiores (BRASIL, 2019).

De forma geral, a normativa da OIT apresenta orientações para os órgãos reguladores, entidades estatais e empresas privadas visando garantir a saúde, segurança e meio ambiente. Os entes signatários do acordo devem elaborar política nacional coerente relativa à proteção dos trabalhadores, da população e do meio ambiente contra os riscos de acidentes maiores, implementada por meio de medidas preventivas e de proteção para instalações com maior risco de acidentes e, onde for possível, promoverá a utilização das melhores tecnologias de segurança disponíveis (BRASIL, 2019).

Além disso, deve ser criado um sistema de identificação de instalações mais sujeitas a riscos de acidentes maiores. Os empregadores identificarão toda instalação de risco sob seu controle, com base no sistema referido (BRASIL, 2019).

Outros temas também são abordados, como Notificação de acidentes e incidentes, documentação referentes à instalação, elaboração de relatórios de segurança e acidentes, planos de emergência, direitos e obrigações dos trabalhadores e seus representantes, além da responsabilidade de países exportadores.

3. OBJETIVOS

O objetivo deste estudo é aplicar um Estudo de Análise de Riscos (EAR), utilizando a ferramenta de Análise de Vulnerabilidade, conforme os critérios do Manual de Riscos da FEPAM.

Essa metodologia será aplicada em uma indústria petroquímica brasileira, localizada no Rio Grande do Sul. O contexto é de uma ampliação de área de armazenamento de produtos inflamáveis (estireno ou etilbenzeno).

A EAR segue um fluxo de etapas, que serão detalhadas. Serão realizadas simulações computacionais, sendo que 2 desses cenários (eventos de Grande vazamento, com consequências de Incêndio em poça e explosão VCE) serão detalhados e analisados no presente trabalho.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A Análise de Vulnerabilidade foi aplicada para avaliar e quantificar os riscos em relação às comunidades vizinhas.

A situação analisada consiste ao armazenamento de Estireno Monômero ou Etilbenzeno, em uma nova área que será expandida para armazenar produtos inflamáveis. Essa expansão consiste na instalação de três (03) novos tanques em uma indústria petroquímica.

O estudo realizado baseou-se no critério definido no Manual de Análise de Riscos Industriais, da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler – FEPAM e as simulações foram realizadas utilizando o software *Riskan*, de forma a quantificar os efeitos em termos de radiação térmica e sobre pressões.

Resumidamente, as etapas do Estudo de Análise de Riscos (EAR) consistem em:

1) Definição dos objetivos da análise, caracterização da instalação e da região de interesse;

2) Identificação dos perigos e definição das hipóteses e respectivos cenários acidentais decorrentes de situações anormais que possam ocorrer nas instalações, por meio da aplicação da técnica Análise Preliminar de Riscos (APR);

3) Avaliação das consequências (efeitos físicos), devido ocorrência de diferentes vazamentos de diferentes produtos químicos manipulados, resultando em eventuais formações de poça, jato de fogo, formações de nuvens, explosões e incêndios, e determinação das respectivas áreas vulneráveis associadas a cada um desses efeitos;

4) Estimativa dos riscos impostos às pessoas situadas fora dos limites do empreendimento, expressos em termos de Riscos Individual (contorno de isorrisco) e social (curva F-N);

5) Avaliação dos riscos.

Para a classificação do empreendimento e determinação das etapas a serem consideradas no EAR, primeiramente foi realizada a classificação da instalação (definida a partir de um índice de risco).

O risco industrial está diretamente ligado à intensidade de perigo e inversamente à quantidade de salvaguardas.

O perigo pode ser representado pela quantidade de material perigoso capaz de ser liberado acidentalmente para o meio.

Já as salvaguardas são combinações de fatores que tendem a minimizar os efeitos danosos de liberações acidentais. O principal fator de salvaguarda que deverá ser considerado para fins de classificação é distância entre o ponto de liberação do material perigoso e a população.

4.1. Cálculo de índice de Risco (IR)

O cálculo do índice de risco foi o primeiro passo para definição das exigências ou isenções a serem aplicadas pela FEPAM na obtenção da licença.

Neste caso, como trata-se de uma ampliação de uma atividade que já está em operação, a empresa em questão encaminhou a classificação das instalações com base no índice de riscos, para obtenção de uma Licença Prévia de Instalação e Ampliação (LPIA).

O índice de risco (IR) é definido como a razão entre os fatores de perigo e de distância:

$$IR = \frac{FP}{FD}$$

Equação 1- Índice de risco

4.1.1. Fator de Perigo (FP)

O Fator Perigo (FP) é definido com base no quociente entre duas grandezas:

- MLA – Massa Liberada Acidentalmente
- MR – Massa de Referência

$$FP = \frac{MLA}{MR}$$

Equação 2 - Fator de Perigo

O fator de perigo representa uma medida da intensidade da fonte de risco. Quanto maior for a quantidade de material que puder ser liberada acidentalmente, maior será o perigo e, portanto, maior será o risco.

4.1.2. Fator de distância (FD)

O FD mede os fatores capazes de reduzir os efeitos danosos da liberação acidental de substâncias perigosas. Quanto maior for a distância entre a fonte de perigo e o ponto onde se localizam os recursos vulneráveis, menor deverão ser os danos e, portanto, os riscos.

$$FD = \frac{\text{distância (m)}}{50}$$

Equação 3 - Fator de distância

Conforme o manual de riscos, tipicamente os recursos vulneráveis a serem considerados são pessoas e recursos ambientais.

4.2. Classificação do empreendimento

Para a classificação do empreendimento foram considerados os dados descritos na Tabela 2 e os passos definidos pelo Manual de Riscos da FEPAM (2016):

Tabela 2 – Características da substância em análise

Substância	Estireno
Critério	Inflamável
Pressão de vapor	5mmHg @30°C
Categoria de Perigo	1
Massa de referência	25.000 kg
Taxa de vazamento	423,3 kg/s
Tempo de resposta	900 s (15 minutos)

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

- Massa Acidentalmente Liberada (MLA):

$$MLA = 423,3 \left(\frac{kg}{s} \right) \times 900 (s)$$

Equação 4 - Massa acidentalmente liberada (MLA)

$$MLA = 380.970 \text{ kg}$$

- Fator de Perigo (FP)

$$FP = \frac{380.970 (kg)}{25.000 (kg)}$$

Para a MR utilizada, foi calculada com base nos critérios técnicos da substância Estireno, caracterizada como substância inflamável, com pressão de vapor em 5mmHg @30°C, ou seja, classificada como categoria 1 - substâncias inflamáveis com pressão de vapor igual ou inferior a 100 mm Hg a 30 °C;

Os valores de MR, são definidos conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Categorias de MR's e perigos

Categoria de Perigo	MR (kg)
Categoria 1	25.000
Categoria 2	10.000
Categoria 3	5.000
Categoria 4	2.500

Fonte: Adaptado de Manual de Riscos FEPAM (2016)

- Fator Distância (FD)

Para o fator distância, utilizou-se a ferramenta Google Earth para medir a distância do prédio habitável mais próximo da área de ampliação.

Obteve-se uma distância de aproximadamente 320 metros.

$$FD = \frac{320 (m)}{50 (m)}$$

$$FD = 6,5$$

- Índice de Risco (IR)

$$IR = \frac{15,24}{6,5}$$

$$IR = 2,34$$

Com base no IR calculado, a empresa se enquadra na categoria de riscos 3, que corresponde a instalações onde podem ser causados danos significativos em distâncias entre 100m e 500m do local da ampliação.

Tabela 4 -Classificação das instalações/atividades com base no IR

Índice de risco	Categoria de Risco
$IR \leq 1$	1
$1 < IR \leq 2$	2
$2 < IR \leq 4$	3
$IR > 4$	4

Fonte: Adaptado de Manual de Riscos FEPAM (2016)

Como exigência para a obtenção da LPIA, devido à categoria de risco enquadrada, a FEPAM exige que o EAR contenha as seguintes etapas:

- Análise Preliminar de Riscos (APR), com indicação todos os sistemas de proteção e procedimentos de segurança existentes nas instalações analisadas;
- Os cenários de acidente identificados na APR deverão ser classificados em categorias de frequência e de severidade e indicados em uma matriz de risco que congregue essas duas categorias;
- Análise de Vulnerabilidade para um conjunto de cenários de acidente considerados razoavelmente prováveis e representativos dos principais cenários de acidente das instalações em questão.
- Caso as curvas de vulnerabilidade de qualquer um dos efeitos ultrapasse a distância de 500 metros, o empreendimento deverá ser considerado de categoria de risco 4, ficando sujeito às exigências complementares.

4.3. Análise de Vulnerabilidade

4.3.1. Caracterização do entorno do empreendimento

A área de ampliação está localizada em zona predominantemente industrial. A vizinhança é constituída por outras indústrias e a área urbana de vizinhança mais próxima está a aproximadamente 6 km da empresa. Sendo assim, a população da região é constituída basicamente pelos funcionários das indústrias vizinhas.

Figura 1 - Mapa aéreo e destaque do local dos tanques



Fonte: Google EARTH, adaptado pela autora (2023)

4.3.2. Dados meteorológicos da região

As condições atmosféricas têm grande influência na extensão atingida pela dispersão de produtos gasosos, portanto a definição desses parâmetros é essencial para a cálculo do impacto.

Como não foram encontrados dados junto a institutos meteorológicos para a região onde está instalada a empresa, foram adotados os dados meteorológicos referentes ao município de Porto Alegre/RS, situado a aproximadamente 28 km de distância em linha reta. Os dados foram obtidos junto ao INMET – Instituto Nacional de Meteorologia e estão apresentados nas tabelas 1 e 2.

A classe de estabilidade atmosférica foi determinada com base na classificação de Pasquill para a velocidade do vento correspondente as condições dia e noite.

Tabela 5 - Condições meteorológicas da região

Turno	Dia	Noite
Turno Dia Noite Temperatura média do ar	19,3 °C	19,5 °C
Temperatura média do solo	24,3 °C	24,5 °C
Pressão atmosférica	1 atm	1 atm
Umidade relativa do ar	82,53%	80,57%
Velocidade média do vento	1,46 m/s	1,53 m/s
Classe de estabilidade atmosférica	B (instável)	F (muito estável)

Fonte: INMET, adaptado pela autora (2023)

Tabela 6 – Probabilidade da direção dos ventos na região

Direção do Vento Dia Noite	Dia	Noite
Norte (N)	9,79%	3,11%
Nordeste (NE)	7,04%	4,21%
Leste (E)	16,65%	33,39%
Sudeste (SE)	22,87%	40,26%
Sul (S)	7,23%	4,67%
Sudoeste (SW)	6,40%	3,29%
Oeste (W)	16,74%	6,04%
Noroeste (NW)	13,27%	4,57%

Fonte: INMET, adaptado pela autora (2023)

4.3.3. Estudo de análise de riscos (EAR)

Realizada a classificação da instalação e a caracterização do empreendimento e da região do estudo, a análise de riscos foi constituída por duas etapas:

A primeira etapa foi realizar a análise preliminar de riscos - APR, onde o risco foi identificado e qualitativamente avaliado. A seguir foi realizada a Análise de Vulnerabilidade para os cenários identificados na APR cuja categoria de severidade foi considerada como crítica (III) ou catastrófica (IV) para efeito de danos às pessoas, devido a possibilidade desses acidentes resultarem em consequências à segurança das pessoas a uma distância significativa do ponto de origem do acidente, conforme o Manual de Riscos da FEPAM (2016).

4.3.4. Identificação de perigos e estimativa das consequências

Para a elaboração da Análise Preliminar de Riscos (APR) deste estudo, foi utilizada a metodologia apresentada pelo Manual de Riscos da FEPAM (2016).

Essa é uma técnica qualitativa para identificação de possíveis cenários de acidentes em uma dada instalação. As causas de cada um dos possíveis eventos acidentais e suas respectivas consequências foram identificadas/registradas e, em seguida foi realizada uma avaliação qualitativa do risco associado a cada cenário acidental, avaliando a frequência de ocorrência do evento, conforme suas causas e avaliando a severidade, as quais são combinadas em categorias de risco.

Tabela 7 – Categorias de frequência

Categoria	Denominação	Descrição
A	Muito improvável	Cenários que dependam de falhas múltiplas de sistemas de proteção ou ruptura por falha mecânica de vasos de pressão. Conceitualmente possível, mas extremamente improvável de ocorrer durante a vida útil da instalação.
B	Improvável	Falhas múltiplas no sistema (humanas e/ou equipamentos) ou rupturas de equipamentos de grande porte. Não esperado de ocorrer durante a vida útil da instalação. Sem registro de ocorrência prévia na instalação.
C	Ocasional	A ocorrência do cenário depende de uma única falha (humana ou equipamento)
D	Provável	Esperada uma ocorrência durante a vida útil do sistema.
E	Frequente	Pelo menos uma ocorrência do cenário já registrada no próprio sistema. Esperando ocorrer várias vezes durante a vida útil da instalação.

Fonte: Adaptado de Manual de Riscos FEPAM (2016)

Tabela 8 - Severidade

Categoria	Denominação	Descrição
I	Desprezível	Incidentes operacionais que podem causar indisposição ou malestar ao pessoal e danos insignificantes ao meio ambiente e equipamentos (facilmente reparáveis e de baixo custo). Sem impactos ambientais.
II	Marginal	Com potencial para causar ferimentos ao pessoal, pequenos danos ao meio ambiente ou equipamentos/instrumentos. Redução significativa da produção. Impactos ambientais restritos ao local da instalação, controlável.
III	Crítica	Com potencial para causar uma ou algumas vítimas fatais ou grandes danos ao meio ambiente ou às instalações. Exige ações corretivas imediatas para evitar seu desdobramento em catástrofe
IV	Catastrófica	Com potencial para causar várias vítimas fatais. Danos irreparáveis ou impossíveis (custo/ tempo) às instalações.

Fonte: Adaptado de Manual de Riscos FEPAM (2016)

Para a realização da APR do estudo apresentado, o processo foi dividido em módulos onde foram identificados os eventos iniciadores que constituem uma hipótese (transbordamento de tanque, ruptura de equipamentos, linhas, etc.) que podem possuir mais de um cenário acidental (formação de nuvem tóxica, incêndio em poça, incêndio em nuvem, explosão em nuvem, etc.). Os cenários da APR foram

avaliados quanto à categoria de risco que geram danos ambientais e pessoais separadamente.

Para a análise de vulnerabilidade foram selecionados os cenários identificados na APR cuja categoria de severidade foi considerada como crítica (III) ou catastrófica (IV) para efeito de danos às pessoas, devido a possibilidade desses acidentes resultarem em consequências à segurança das pessoas a uma distância significativa do ponto de origem do acidente.

5. RESULTADOS

A análise preliminar de riscos foi realizada a fim de identificar os riscos associados a ampliação da área de tancagem na área de estudo.

Como resultados da APR, no total, foram mapeados 23 cenários com categoria de risco classificada em crítica (III) ou catastrófica (IV), para efeito a danos às pessoas.

Para cada um desses cenário foram realizadas simulações com a utilização do software RISKAN, que se baseia em modelos matemáticos e termodinâmicos para determinar o alcance do impacto.

Para a simulação e apresentação dos resultados, foram escolhidos dois eventos, cujas consequências são: Explosão VCE e Incêndio em poços, conforme descritos na Tabela 9 abaixo.

Tabela 9 - Cenários escolhidos

Cenário	Hipótese	Evento	Consequência
1	H-2.12b	Grande Vazamento de Estireno/Etilbenzeno decorrente de fogo externo levando a aumento da temperatura, pressurização e explosão dos 71-TQ-16/A/B/C por falha no monitoramento do nível pelo operador ou falha no 71-LT-034/035/036.	Explosão VCE
2	H-2.9a	Grande vazamento de Estireno/Etilbenzeno decorrente do transiente hidráulico devido interrupção ou partida brusca do bombeamento de Estireno ou Etilbenzeno para o Terminal Santa Clara.	Incêndio em poça

Fonte: Adaptado pela Autora (2023)

5.1. Premissas utilizadas nas simulações da análise de vulnerabilidade:

Para as simulações numéricas, foram consideradas as seguintes premissas:

- Tempo máximo de descarga de 600 s até o bloqueio do sistema;
- Furo equivalente a 25 mm (1") para médio vazamento e furo de 100mm (4") para grande vazamento;
- Rugosidade do terreno de 0,3 (referente a áreas industriais);
- Para a área de tancagem foi considerado na simulação o produto mais crítico, sendo esse o etilbenzeno, pois apresenta impacto maior de extensão, além de ser o produto com menor ponto de fulgor (etilbenzeno: 12,8°C e estireno: 31,1°C)
- A classe de densidade de obstáculos pode variar de 1 a 10. Quanto mais congestionada a área maior o valor utilizado. Desta forma foi adotada a classe 5 de obstáculos para regiões com obstáculos e não confinadas para as áreas externas, e classe 10 para as áreas internas aos prédios;
- Para vazamento de tanques de armazenamento, que possuem contenção como bacias e diques, o raio da poça foi limitado pelas suas próprias dimensões. A bacia de contenção da área de tancagem possui dimensões de 47 m x 32 m.
- Para a ruptura de equipamentos (tanques) foi considerada a liberação de todo o inventário do equipamento em 10 minutos de forma constante.

5.2. Simulação cenário 1

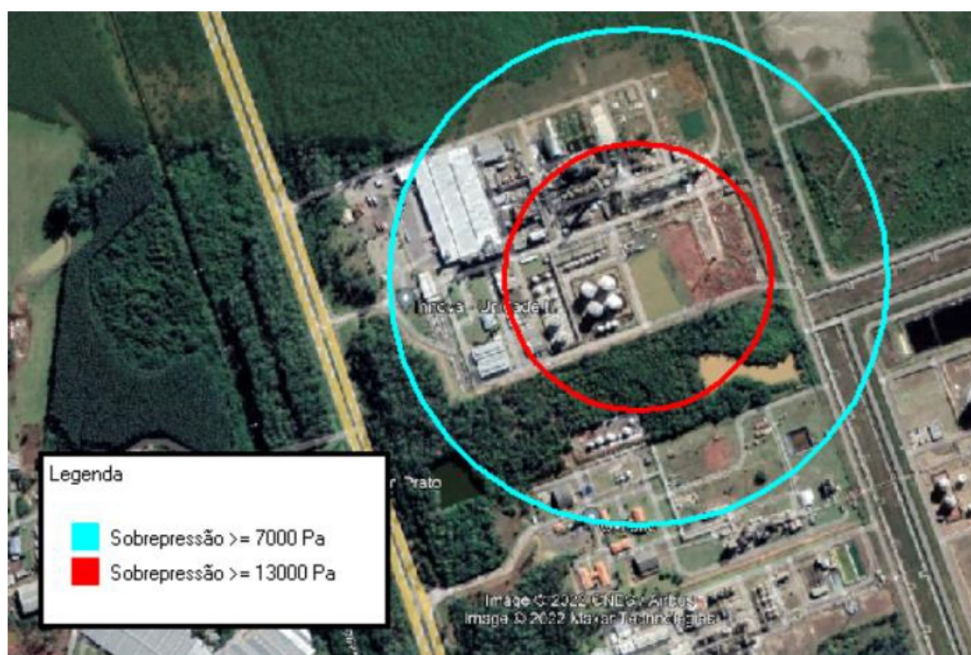
Os resultados para a análise de vulnerabilidade da simulação de explosão VCE está apresentado na forma de curvas de pressão na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Os dados de entrada da simulação estão descritos na Tabela 10.

Tabela 10 - Dados de entrada da simulação

Substância	Etilbenzeno
Equipamento	Tanque
Volume (tanque)	10.300 (m ³)
Massa específica do vapor	3,66 kg/m ³
Massa total de explosão	37.698 (kg)
Classe de obstáculo	5

Fonte: Adaptado pela autora (2023)

Figura 2 Curvas de sobrepressão do cenário 1 (grande vazamento)



Fonte: Google Earth, adaptado pela autora (2023)

Tabela 11 - Curvas de sobrepressão para o cenário 1

Descrição	Sobrepressão (Pa)	Distância máxima (m)
Sobrepressão ≥ 7000 Pa	7.000	412,91
Sobrepressão ≥ 13.000 Pa	13.000	221,45

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Conforme o manual de riscos da FEPAM, foram geradas as curvas de sobrepressão equivalentes a 13 kPa, cuja probabilidade de rompimento de tímpano é de 1% e 7kPa, que possui capacidade para causar danos estruturais em residências.

Em nenhuma simulação realizada a distância máxima de consequências foi maior de 500 metros, sendo que a maior distância para consequência de sobrepressão foi de aproximadamente 413 metros.

5.3. Simulação cenário 2

Os resultados para a análise de vulnerabilidade da simulação de incêndio em poça estão apresentados na forma de curvas de pressão na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Os dados de entrada da simulação estão descritos na Tabela 12.

Tabela 12 – Características do Etilbenzeno

Substância	Etilbenzeno
Equipamento	Bomba
Vazão (bomba)	200 m ³ /h
Altura da liberação	0,10 m
Densidade	866 kg/m ³
Temperatura de operação	30°C
Taxa de descarga média	48,11 kg/s
Diâmetro do furo	100 mm
Tempo máximo de descarga	600 s

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Figura 3 Curvas de pressão do cenário 2



Fonte: Google Earth, adaptado pela autora (2023)

Tabela 13 - Carga térmica do cenário 2

Descrição	Carga térmica (W/m ²)	Distância máxima (m)
Carga térmica >= 5kW/m ²	5.000	14,1974

Fonte: Adaptado pela autora (2023)

Considerando uma carga térmica de 5kW/m^2 , as consequências mais severas para o cenário 2 levam a uma probabilidade de 1% de morte (supondo exposição durante 1 minuto).

Essas consequências são possíveis de serem identificadas a uma distância máxima de 14 metros do local do vazamento.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de EAR, exigido pelos órgãos ambientais estaduais é uma importante ferramenta de gestão de riscos para balizamento das instalações ou ampliação de uma unidade industrial, considerando os riscos associados para as populações vizinhas.

No caso da empresa em estudo, é notório que ela possui uma localização estratégica, sendo afastada de grandes meios urbanos, e cercada apenas por outras áreas industriais. Todos os cenários apresentaram riscos mínimos ao se expandir o raio do alcance, ressaltando a importância da localização. O próprio polo petroquímico é rodeado por um cinturão verde, proporcionando proteção no caso de instalação de residências próximas as indústrias.

A análise de vulnerabilidade para efeitos de sobrepressão e de carga térmica não apresentaram consequências em um raio maior do que 500 metros, o que viabiliza a ampliação da área de tancagem, e conforme o manual de riscos da FEPAM não necessitando de estudos adicionais, como a Análise quantitativa de Riscos (AQR), com o cálculo dos riscos sociais e individual.

A sequência de etapas de etapas propostas pelo manual da FEPAM se mostrou efetivo para avaliar os riscos e as medidas necessárias para mitigá-los. Caso ocorressem resultados mais graves, seriam necessárias análises, metodologias e mais ações antes de obter a licença.

Dessa forma, ao condicionar a licença prévia, autorizando para operações somente as empresas que passarem por todos os crivos de análise, mitiga-se muito o risco de danos para as vizinhanças. Esse arcabouço legal, combinado com vigilâncias constantes e responsabilidade das empresas no cumprimento das leis pode reduzir imensamente a possibilidade de acidentes.

7. REFERÊNCIAS

- API, American Petroleum Industry, Recommended Practice 750 – Management of Process Hazards, segunda edição, 1995
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 20: Segurança e Saúde no Trabalho com Inflamáveis e Combustíveis. 2017. Portaria MTP n.º 806, de 13 de abril de 2022.
- BRASIL, Presidência da República, DECRETO Nº 4.085, DE 15 DE JANEIRO DE 2002, que promulga a Convenção nº 174 da OIT e a Recomendação nº 181 sobre a Prevenção de Acidentes Industriais Maiores, de 15 de Janeiro de 2002
- BRASIL, Presidência da República, DECRETO Nº 10.088, DE 5 DE NOVEMBRO DE 2019 Consolida atos normativos editados pelo Poder Executivo Federal que dispõem sobre a promulgação de convenções e recomendações da Organização Internacional do Trabalho - OIT ratificadas pela República Federativa do Brasil., de 5 de Novembro de 2019.
- D'ARAÚJO, R. D. P. M. M. B. DIRETIVA SEVESO - CRITÉRIO DE ACEITABILIDADE DE RISCO PARA. Instituto Superior de Educação e Ciências. Portugal, p. 120. 2013
- EPA. United States Environmental protection agency – Risk Management program rule – disponível em <https://www.epa.gov/rmp>. Acesso em 25/01/2023
- FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler – RS, Manual de Análise de Riscos Ambientais, Nº 01/01 – Fevereiro de 2016
- FEPAM, Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler – RS, Quem somos, disponível em <http://www.fepam.rs.gov.br/quem-somos>. Acesso em 11/03/2023

- OSHA, OSHA 3132: ProcessSafety Management, 2000. Disponível em: <https://www.osha.gov/Publications/osh3132.pdf>. Acesso em 05/03/2023.
- OSHA. OSHA 3132 - ProcessSafety Management. Occupational Safety and Health Administration, U.S. Department of Labor. [S.l.]. 2000.
- OIT , Organização Internacional do trabalho, Conheça a OIT, disponível em <https://www.ilo.org/brasil/conheca-a-oit/lang--pt/index.htm>. Acesso em 11/03/2023
- UNIÃO EUROPEIA, The Seveso III Directive (2012/18/EU), disponível em https://www.era.comm.eu/Introduction_EU_Environmental_Law/EN/module_8/part_2/index.html. Acesso em 11/03/2023