



Análise de Riscos em uma Planta de Ácido Sulfúrico

**Laraine Cozendey Calixto Lourenço
Mylene Cavalcante Araujo**

Projeto Final de Curso

Orientadores

Prof. Armando Lucas Cherem da Cunha, D.Sc.

Prof. Carlos André Vaz Junior, D.Sc.

Outubro de 2020

ANÁLISE DE RISCOS EM UMA PLANTA DE ÁCIDO SULFÚRICO

Laraine Cozendey Calixto Lourenço
Mylena Cavalcante Araujo

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química,
como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheira Química.

Aprovado por:

Carlos Alberto das Chagas Juniors, D.Sc.

Marina Heil, Msc.

Orientado por:

Carlos André Vaz Junior, D.Sc.

Armando Lucas Cherem da Cunha, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil
Outubro de 2020

Lourenço, Laraine C. C.; Araujo, Mylena C.

Análise de riscos em uma planta de ácido sulfúrico/ Laraine Cozendey Calixto Lourenço, Mylena Cavalcante Araujo. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2020.

XCV, 95 p.

(Projeto Final de Curso) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2020. Orientadores Armando Lucas Cherem da Cunha e Carlos André Vaz Junior

1. Ácido Sulfúrico. 2. APR. 3. Software Aloha. 4. Projeto Final (Engenharia Química UFRJ/EQ). 5. Carlos André Vaz Junior e Armando Lucas Cherem da Cunha I. Análise de Riscos em uma Planta de Ácido Sulfúrico.

Dedicamos esse Projeto à Deus, às nossas famílias e aos amigos que nos apoiaram para chegarmos à essa realização pessoal e profissional.

“Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo o propósito debaixo do céu.”

Eclesiastes 3:1

AGRADECIMENTOS

Laraine Cozendey Calixto Lourenço:

Primeiramente, agradeço à Deus por me sustentar, capacitar e me dar sabedoria para fazer todo esse sonho se tornar possível.

À minha mãe, Loirane, por todo o seu cuidado, carinho e por me incentivar nos estudos desde criança. Às minhas irmãs, Roberta e Letícia, pelo amor e dedicação durante todos os momentos, ao meu pai do coração, Mauro, por todo incentivo, ao meu pai, Roberto, por todo o suporte, ao meu marido, Paulo, por todo carinho e força, às minhas irmãs do coração, Evelin e Izabela, por todo o companheirismo.

À minha eternamente amada vó, Maria José Cozendey, sempre carinhosa e amiga.

Às minhas amigas Ana, Marina, Jéssica e Bruna por todo apoio.

À minha parceira de projeto final.

Mylena Cavalcante Araujo:

Agradeço à Deus, por tudo acontecer na hora certa e todos os dias renovar minhas forças e esperança para continuar na luta do meu sonho.

À minha família, avós, ao meu irmão Felipe, meus sobrinhos Marcelo e Maurício, em especial aos meus pais Francisco Wagner e Sonia e meu esposo Raimundo, que com verdadeiro amor, paciência e muita compreensão me incentivavam e me davam forças acreditando no meu potencial e na vitória da minha formação mesmo quando eu achava não ser mais possível, obrigada por serem essa família que eu tanto amo e que tenho tanto orgulho.

Aos amigos de sempre, Paulo Henrique, Gabriele, Danielle, Nathália, Bruno, Sandra, Fernanda, Renata, Evelin, Joyce, Giselle, Henrique, Jéssica e padrinhos queridos que ficarão para sempre, que vivenciaram todos esses anos de luta, me apoiando, ouvindo e às vezes orientando para que eu conseguisse realizar este sonho e chegasse a tão sonhada realização profissional. Esta vitória é nossa, chega de me abdicar de momentos agora é só comemorar.

A todos que de alguma forma contribuíram com uma palavra, um abraço, uma mensagem, uma atenção direta ou indiretamente para a conclusão desse projeto.

E finalmente aos nossos Orientadores Prof. Armando Lucas Cherem e Prof. Carlos André Vaz Junior, por todo o suporte e conhecimento transmitidos que com dedicação nos proporcionaram o desenvolvimento desse projeto fazendo a diferença nas reflexões ao longo da orientação e entendendo a importância do assunto escolhido.

Resumo do Projeto de Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro Químico.

Análise de Riscos em uma Planta de Ácido Sulfúrico

Laraine Cozendey Calixto Lourenço
Mylena Cavalcante Araujo
Outubro, 2020

Orientadores: Prof. Armando Lucas Cherem da Cunha, D.Sc.
Prof. Carlos André Vaz Junior, D.Sc.

A Análise de Riscos, processo de caracterização e gerenciamento de fatores de risco, é desenvolvida com base no estudo de cenários a fim de se dimensionar o risco de determinado acontecimento. Este é avaliado de acordo com parâmetros de frequência e severidade previamente estabelecidos. Por meio desta, são definidas medidas de ações que contribuam para a redução ou impedimento da ocorrência de perdas ou acidentes por dado acontecimento. Esta análise pode ser feita em todos os estágios de um projeto, desde o seu desenvolvimento à operação do processo em si.

Após o levantamento dos acidentes mais comuns envolvendo ácido sulfúrico, viu-se que a categoria transporte era a de maior incidência com 59% dos acidentes relatados no período de janeiro de 2015 até 04 de agosto de 2019. Assim para diminuir a frequência destes acidentes o ideal seria localizar a planta mais próxima da etapa de utilização final do produto. Com isso, foi vista a necessidade de estudar os riscos associados a planta, devido a sua proximidade com as populações vizinhas e em razão da quantidade de ácido em uma fábrica ser muito maior que em uma carreta.

Neste trabalho, foi escolhida uma planta de produção de ácido sulfúrico com entorno urbano onde seus riscos e impactos foram avaliados por meio da técnica Análise Preliminar de Riscos (APR) e sua área afetada pelo software ALOHA. A elaboração da APR foi feita por meio de revisão bibliográfica com caráter exploratório em estudos de casos mais recentes publicados no COBRAS (Congresso Brasileiro de Ácido Sulfúrico) e na Mesa redonda do Chile, de forma a contextualizar os problemas desta indústria e apresentar medidas preventivas e mitigadoras para diminuir a severidade e frequência dos cenários encontrados.

Com a montagem da APR, viu-se que havia uma semelhança de alguns riscos, portanto direcionou-se para a simulação 6 principais subcenários que poderiam ser simulados e que representariam os cenários abrangendo os equipamentos chaves da planta de forma que pudesse validar a classificação do risco feita na APR e entender qual a área seria afetada. Assim, foram escolhidos os subcenários que mesmo após as medidas preventivas e mitigadoras ainda se mantiveram como risco Moderado ou Não-Tolerável.

Portanto, foi visto que o método de análise de risco APR, aplicado em conjunto com o software de modelagem ALOHA, resultaram no conhecimento das possíveis consequências que os subcenários podem gerar aos cenários acidentais e às áreas ao seu redor, bem como aos trabalhadores e a comunidade ao redor. Além de mostrarem a importância da aplicação de medidas preventivas e mitigadoras para diminuir a frequência e a severidade quando aplicadas corretamente.

Palavras-chave: Planta de ácido sulfúrico, APR, ALOHA

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. Objetivo	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1. O Ácido Sulfúrico.....	12
2.2. Aplicações do Ácido Sulfúrico.....	12
2.3. Mercado de Ácido Sulfúrico.....	13
2.4. Panorama Geral de Acidentes no Mundo	14
2.5. Localização das Plantas de Ácido Sulfúrico no Brasil	16
2.6. Software ALOHA	18
3. PROCESSO DE CONTATO	21
3.1. Caracterização do processo	21
4. GERENCIAMENTO DE RISCOS.....	27
4.1. Identificação dos Riscos	27
4.1.1. Risco: Relação entre frequência e severidade	27
4.2. Categoria de Risco.....	32
4.3. Análise de Riscos	32
4.4. Métodos de Análise de Risco	33
4.4.1. APR – Análise Preliminar de Riscos.....	33
5. METODOLOGIA	35
6. ESTUDO DE CASO NA PLANTA DE ÁCIDO SULFÚRICO	42
6.1. Descrição da Planta de Produção.....	42
6.2. Análise Preliminar de Riscos na Planta de Ácido Sulfúrico - APR	42
7. RESULTADOS	47
7.1. Simulação no software ALOHA	47
8. CONCLUSÃO	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	733
APÊNDICE A.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Gráfico da zona ameaçada pelo vazamento de um gás tóxico	19
Figura 2: Gráfico da dispersão de um gás tóxico aplicado no programa MARPLOT, mostrando no mapa a região afetada.....	20
Figura 3: Fluxograma de uma planta de produção de ácido Sulfúrico com sistema 2/2.	24
Figura 4: Aba set-up para preenchimento dos dados químicos, atmosféricos e do cenário.	37
Figura 5: Quadro para preenchimento dos dados químicos e do limite de tolerância do ácido sulfúrico no software ALOHA.....	37
Figura 6: Dados atmosféricos preenchidos: velocidade do vento, tipo de terreno e nebulosidade. ...	38
Figura 7: Dados atmosféricos preenchidos: temperatura, umidade e tipo de inversão térmica.....	38
Figura 8: Resumo com todos os dados adicionados.....	39
Figura 9: Fluxograma da planta produtora de ácido sulfúrico utilizada na elaboração da APR com sistema 2/2. Fonte: Adaptado de Cunha, 2017.....	43
Figura 10: Erro do software ALOHA na simulação de líquido na tubulação	65
Figura 11: Representação da nuvem formada a partir da dispersão atmosférica resultante do subcenário 8.1 contaminação do ar por SO ₂	65
Figura 12: Nuvem formada sobre o mapa da região afetada.....	655

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Tipos de ácido sulfúrico.....	12
Quadro 2: Tipo de acidente por categoria.....	15
Quadro 3: Comparativo de cargas de enxofre e ácido sulfúrico.	15
Quadro 4: Capacidade produtiva de H ₂ SO ₄	17
Quadro 5: Matriz de Risco.....	31
Quadro 6: Descrição das Categorias de Riscos.	32
Quadro 7: Exemplo de planilha para aplicação de APR.	34
Quadro 8: Propriedades Físico-químicas do Ácido Sulfúrico 98%.....	48
Quadro 9: Dados inseridos na simulação 1.	50
Quadro 10: Resultados obtidos na simulação 1.	51
Quadro 11: Dados inseridos na simulação 2.....	52
Quadro 12: Resultados obtidos na simulação 2.	53
Quadro 13: Continuação resultados obtidos na simulação 2.....	54
Quadro 14: Dados inseridos na simulação 3.	55
Quadro 15: Resultados obtidos na simulação 3.	57
Quadro 16: Continuação dos resultados obtidos na simulação 3.....	58
Quadro 17: Simulação 3 com um furo de 3 cm.....	59
Quadro 18: Simulação 3 com um furo de 5 cm.....	60
Quadro 19: Dados inseridos na simulação 5.....	63
Quadro 20: Resultados da simulação 5.....	66
Quadro 21: Dados inseridos na simulação 6.....	66
Quadro 22: Resultados obtidos na simulação 6.	69

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Consumo de ácido sulfúrico por aplicação.	13
Gráfico 2: Balanço de produção e consumo de ácido sulfúrico no Brasil.	14

1. INTRODUÇÃO

Dada as complexidades industriais e o histórico de acidentes mundiais nas décadas de 1970 e 1980, maior importância passou a ser dada a gestão de riscos nas operações de rotina (IAEA, 1998).

Se os riscos puderem ser avaliados e gerenciados de maneira abrangente o desenvolvimento industrial poderá ser implantado de forma eficaz e segura (IAEA, 1998).

Entre as diversas áreas da indústria química, a produção de ácido sulfúrico tem um papel essencial por este ser uma matéria prima para a cadeia de fertilizantes, além de ser utilizado em dezenas de outras áreas, como metalurgia e refino de petróleo. Destaca-se que a produção em larga escala de um ácido forte e corrosivo abrange variados perigos operacionais. Assim, o desenvolvimento de diretrizes a serem tomadas com base na experiência de atividades no setor podem auxiliar no planejamento e condução para mitigação destes (IAEA, 1998).

Existem mais de 650 mil plantas de ácido sulfúrico no mundo, no entanto grande parte é bastante antiga e agora enfrenta desafios adicionais que visam modernização para maximizar a produção de energia e redução do impacto ambiental (KISS; BILDEA; VERHEIJEN, 2006).

A cadeia produtiva do Ácido Sulfúrico apresenta um elevado potencial poluidor, representa risco ao meio ambiente e às populações que moram próximas as fábricas, é necessário fazer um gerenciamento dessas ameaças por meio do uso de ferramentas como a análise preliminar de riscos (APR) para evitar os possíveis danos à população e ao meio ambiente (SANTOS, [s.d.]).

Neste tipo de gerenciamento utiliza-se uma técnica qualitativa que visa a identificação de cenários acidentais para que possam ser sugeridas medidas preventivas ou mitigadoras de forma a reduzir a frequência de um cenário ou até mesmo extingui-lo. (BARCELLOS, 2006).

Podem ser utilizadas também outras ferramentas para auxiliar neste estudo. O software ALOHA, por exemplo, simula cenários acidentais prevendo os possíveis impactos que podem ser gerados sobre as áreas vulneráveis, baseando-se em limites de tolerância estabelecidos (SOARES, 2019).

1.1. Objetivo

Avaliar os riscos associados à segurança em uma planta de Ácido Sulfúrico utilizando-se a técnica de Análise Preliminar de Riscos e simular os cenários de maior risco com auxílio do software ALOHA, apresentando a importância da aplicação de Medidas Preventivas e Mitigadoras para diminuição da severidade e da frequência dos riscos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O Ácido Sulfúrico

O ácido sulfúrico é um composto químico de fórmula H_2SO_4 , classificado como um ácido mineral forte, “oxiácido”, derivado do anidrido sulfúrico. É o produto químico fabricado em maior quantidade em massa no Brasil (APODACA, 2012).

Podemos encontrar três tipos de ácido sulfúrico no mercado, o óleo, também chamado de ácido sulfúrico fumegante, o ácido sulfúrico comercial e o ácido sulfúrico P.A, como mostrado no Quadro 1 (KING; DAVENPORT; MOATS, 2013). Em uma mesma planta industrial é possível obter os três tipos de ácido mencionados.

Quadro 1: Tipos de ácido sulfúrico.

Ácido Sulfúrico	Densidade(g/mL)	Cor
Óleo	1,9	Esbranquiçado
Comercial	1,84	Escura
P.A.	1,84	Incolor

Fonte: ABQUIM, 2018

O Óleo é formado a partir da adição de altas concentrações de SO_3 ao ácido sulfúrico. Vapores de SO_3 , devido a sua alta pressão de vapor, podem se combinar com a umidade do ar para formar ácido sulfúrico com aparência esbranquiçada. Já o ácido sulfúrico comercial contém impurezas, o que resulta na cor escura. Por último, o ácido sulfúrico P.A. é puro e incolor.

2.2. Aplicações do Ácido Sulfúrico

Os principais usos para o ácido sulfúrico são fabricação de fertilizantes, processamento de minérios, síntese química, processamento de efluentes líquidos e refino de petróleo. Em torno de 80% do ácido sulfúrico consumido no Brasil é dedicado para produção de fertilizantes, já a nível mundial esse percentual é de 60% (VALE FERTILIZANTES, 2017).

O enxofre é a principal matéria prima para produção de ácido sulfúrico, no entanto, algumas plantas industriais aproveitam corrente gasosas enriquecidas de SO₂, oriundas de processo de ustulação, como fonte de matéria prima.

2.3. Mercado de Ácido Sulfúrico

A produção mundial anual de H₂SO₄ gira em torno de 200 milhões de toneladas (KING; DAVENPORT; MOATS, 2013). No Brasil, a produção é de 8,5 milhões de toneladas produzidas por ano, pode ser visto no Gráfico 1 as principais aplicações (APODACA, 2012), sendo a produção de ácido fosfórico a responsável pela maior porcentagem. O país não consegue atender seu consumo, visto que o agronegócio cresce consideravelmente aumentando a demanda do ácido para produção de fertilizantes. A projeção da produção nacional de ácido sulfúrico em 2019 foi por volta de 8,5 milhões de toneladas, segundo Gráfico 2, já o consumo foi de 9 milhões de toneladas. Logo, as plantas brasileiras produzem atualmente em torno de 94% do produto consumido no país (VALE FERTILIZANTES, 2017).

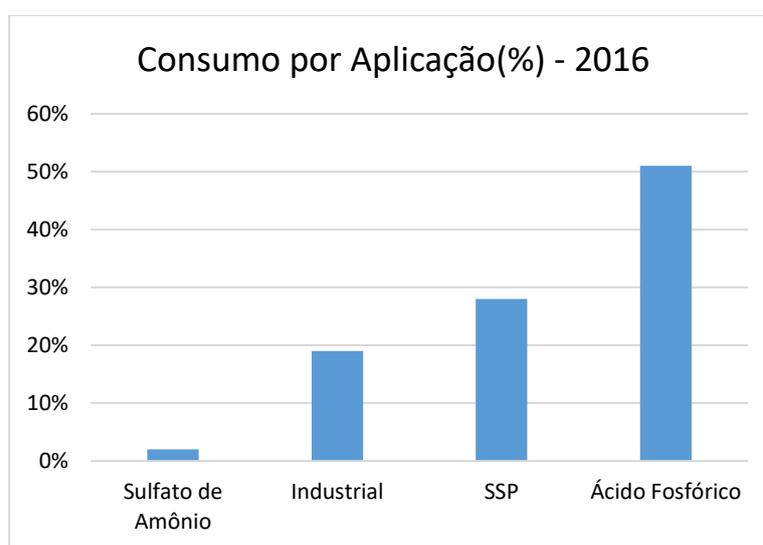


Gráfico 1: Consumo de ácido sulfúrico por aplicação.
Fonte: Vale Fertilizantes, 2017.

O Brasil deve continuar seguindo a tendência de déficit no mercado de ácido sulfúrico, diante do maior crescimento do consumo x produção até 2021 (VALE FERTILIZANTES, 2017), conforme ilustrado no Gráfico 2.

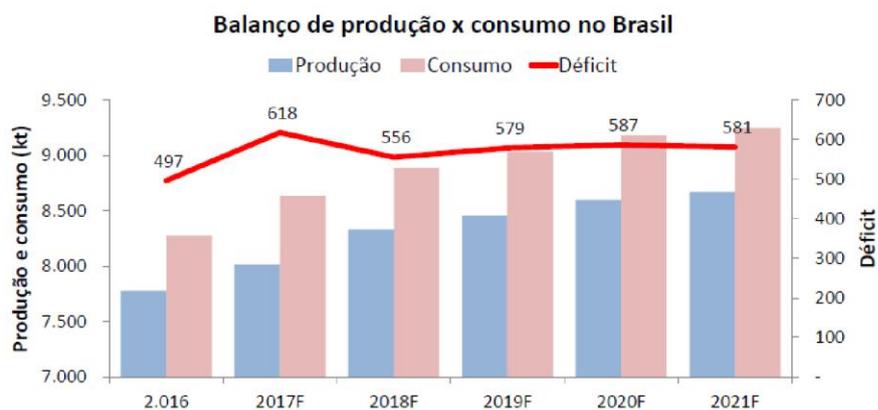


Gráfico 2: Balanço de produção e consumo de ácido sulfúrico no Brasil.
 Fonte: Sulphuric Acid Market Outlook CRU – August 2017, Análise VF

2.4. Panorama Geral de Acidentes no Mundo

Considera-se acidentes químicos, os eventos tais como explosões, incêndios e emissões descontroladas (não intencionais), individualmente ou combinados, envolvendo uma ou mais substâncias perigosas (JUNIOR & GUSMÃO, 2003). Estas têm potencial de causar simultaneamente danos ao meio ambiente e à saúde dos seres humanos expostos.

Vale lembrar, características geográficas também influenciam na ocorrência de acidentes. Tal como a proximidade da fonte emissora aliadas às condições climáticas, como velocidade e direção predominante dos ventos, existência ou não de inversão térmica, contribuem para a gravidade de um acidente maior (MARTINS JUNIOR; LORENZI, 2007).

Após levantamento e análise dos maiores acidentes ocorridos ao redor do mundo no *site* de referência sobre o ácido sulfúrico (“*Sulfuric Acid on the Web*”, 2019), conseguiu-se montar um panorama geral de acidentes ocorridos no período de janeiro de 2015 até 04 de agosto de 2019.

Conforme mostrado no Quadro 2, tais acidentes envolvendo o ácido sulfúrico foram classificados em 5 categorias diferentes: “explosão”, “exposição por contato”, “incêndio”, “derramamento” e “transporte”. A categoria transporte apresentou um total de 71 acidentes, a maior dentre os 120 acidentes relatados no período. Em segundo lugar tem-se a categoria derramamento com 35 acidentes, que resultaram em contaminação do meio ambiente, contaminação da população ao redor e em alguns casos também estavam vinculados ao acidente de transporte, portanto além de ter acontecido um acidente no transporte, houve o derramamento do produto que em outros não ocorreu sendo assim contabilizado separado.

Quadro 2: Tipo de acidente por categoria

Tipo de Acidente	Quantidade de Acidentes	Porcentagem de cada acidente
Explosão	3	2%
Exposição por contato	4	3%
Incêndio	8	7%
Derramamento	35	29%
Transporte	71	59%
Total Geral	121	100%

Fonte: Sulfuric Acid on the Web, 2019

Por estar ligado diretamente ao processo industrial, seja em sua fase inicial de produção (recebimento de matérias-primas ou produtos químicos), como em sua fase final (distribuição para o mercado de tais produtos ou substâncias químicas), o transporte de produtos químicos perigosos apresenta grandes riscos para o homem e para o meio ambiente (INEA, 2018). O Quadro 3 mostra os riscos associados ao transporte de ácido sulfúrico e ao enxofre, matéria prima base de uma grande parcela das plantas industriais.

Quadro 3: Comparativo de cargas de enxofre e ácido sulfúrico.

Carga	Volume/ Peso Transportado	Peso Equivalente	Riscos
Ácido Sulfúrico	15.000 L	27.000 Kg de Sulfúrico	Exposição curta causa vários danos Reage violentamente com água
Enxofre	45.000 Kg	140.000 Kg de Sulfúrico	Pode pegar fogo apenas quando aquecido

Fonte: Clark Solutions - COBRAS, 2017

Em razão do transporte do enxofre ser mais barato (por ser um sólido), mais produtivo e mais seguro, prefere-se o transporte de matéria-prima por longos trechos ao invés do produto final, auxiliando a minimizar os riscos (CLARK SOLUTIONS, 2017).

Portanto, considerando-se a frequência nos acidentes com transporte, mostrado no quadro 2, vemos a necessidade de construção da planta de ácido na proximidade do local final de utilização, ou seja, próximo da distribuição para o mercado, diminuindo a frequência de acidentes.

O risco é uma variável com potencial de causar danos, que podem ser entendidos como lesões a pessoas, danos a equipamentos e instalações, danos ao meio-ambiente, perda de material, em processo ou redução da capacidade de produção. Pode ser medida de perda

econômica e ou de danos a vida humana, resultante da combinação entre a frequência de ocorrência e a severidade. Então, além de se considerar a frequência é necessário fazer uma análise de severidade devida a complexidade do processo, a proximidade de outras instalações fabris e ao aumento da população na proximidade da fábrica. Para isso faz-se necessária a elaboração de estudos como por uma APR, estudo de caso e simulação da planta para que possa ser averiguado tal fato com maior detalhamento.

2.5. Localização das Plantas de Ácido Sulfúrico no Brasil

No Brasil, a maior parte das fábricas instaladas se encontram na região sudeste, principalmente no estado de São Paulo e Minas Gerais. E em relação a região nordeste, no estado da Bahia, como pode ser visto no quadro 4, em que mostra as principais indústrias produtoras de ácido sulfúrico no ano de 2015. Em grande parte, são unidades pertencentes a grandes complexos produtores de fertilizantes, sua produção é parcialmente consumida no próprio local (SOUSA, 1996). A crescente demanda do setor de fertilizantes, estimulou a implantação de um número cada vez maior de fábricas de ácido sulfúrico, numa tentativa de suprir as demandas.

De acordo com o Anuário da Indústria Química Brasileira (2015) da Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM), a indústria com maior capacidade produtiva era a empresa Vale Fertilizantes que possuía três fábricas: uma em Uberaba, Minas Gerais e as outras duas em Cajati e Cubatão, São Paulo, totalizando 4.701.484 t/ano de produção. A Vale Fertilizantes recentemente foi vendida para as empresas Yara e Mosaic, o que aumentou a diversidade no segmento (ABIQUIM, 2015).

A segunda empresa era a Copebras também localizada em Cubatão, São Paulo com 1.164.000 t/ano de produção do Ácido Sulfúrico com localização na Rodovia cênega Domênico Rangoni, 635 próxima a fábrica da antiga Vale, atual Yara Fertilizer Brazil, e a outras grandes indústrias como da Usiminas e da Mosaic Fertilizantes. Utilizando-se a rodovia BR101 esta fábrica fica a 3km do centro urbano de Cubatão.

A terceira organização com maior capacidade produtiva em 2015 era a empresa Galvani localizada em Paulínia, São Paulo com 570.000 t/ano (ABIQUIM, 2015). A Galvani também foi recentemente vendida para o grupo Yara o que alterou a dinâmica de empresas atuantes neste setor (Quadro 4).

Quadro 4: Capacidade produtiva de H₂SO₄.

Empresa	Localização	Estado	Capacidade produtiva (t/ano)
Vale Fertilizantes (atual Mosaic – unidade Cajati e Yara – unidade Uberaba)	Cajati	São Paulo	4.701.484
	Uberaba	Minas Gerais	
Copebras	Cubatão	São Paulo	1.164.000
Galvani (atual Yara)	Paulínia	São Paulo	570.000
Paranapanema	Dias D'Ávila	Bahia	500.000
Nitroquímica	São Miguel Paulista	São Paulo	280.000
Elekeiroz	Várzea Paulista	São Paulo	260.000
Anglo Gold Ashanti	Nova Lima	Minas Gerais	250.000
VMZ – Votorantim Metais Zinco (atual Nexa Resources)	Três Marias	Minas Gerais	245.000
Cristal Brazil	Camaçari	Bahia	132.000
VMN – Votorantim metais (atual Nexa Resources)	Fortaleza de Minas	Minas Gerais	120.000

Fonte: Adaptado de ABIQUIM, 2015. Produtores de ácido sulfúrico no Brasil com capacidade produtiva (t/ano).

Então, após análise da localização das plantas informadas no ABIQUIM (2015), nota-se que grande parte dessas fábricas foram construídas próximas a centros urbanos. Ou formaram-se centros urbanos próximos devido ao crescimento de tais organizações. Logo, é indispensável uma análise e mapeamento de riscos associados a uma planta de ácido sulfúrico

com entorno urbano para minimizar os impactos ou evitar um possível acidente. (HENDERSHOT, 2015) (VARMA, 2005).

2.6. Software ALOHA

Uma grande variedade de *softwares* de simulação de cenários acidentais com diferentes aplicações encontra-se disponíveis atualmente. Por intermédio de modelos matemáticos, esses *softwares* preveem os impactos danosos às pessoas, instalações e ao meio ambiente. São baseados em limites de tolerância estabelecidos para os efeitos de sobrepressão advinda de explosões, radiações térmicas decorrentes de incêndios e efeitos tóxicos oriundos da exposição a uma alta concentração de substâncias químicas por um curto período de tempo (SOARES, 2019).

O *software* ALOHA, do inglês *Arial Locations of Hazardous Atmospheres*, que foi desenvolvido pela Agência Americana de Proteção Ambiental (EPA), pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) e pelo Conselho Nacional de Segurança, serve para auxiliar na modelagem de cenários acidentais envolvendo produtos químicos, desenvolvido pelo governo dos EUA.

Dessa maneira, para este trabalho optou-se a utilização deste *software* dada a sua praticidade na utilização e por termos como referência (LOPES *et al*, 2014), que mostrou a eficiência em simulação com o ALOHA em uma fábrica de produção de amônia no Brasil.

O ALOHA é capaz de simular diferentes cenários acidentais envolvendo agentes químicos/ perigosos. Ao realizar a simulação inicial de cenários emergenciais, o software faz estimativas para dimensionar a zona de ameaça.

Os resultados obtidos na forma gráfica e podem ser exportados e plotados em mapas no MARPLOT[®], no ARCMAP da ESRI, no GOOGLE EARTH e no GOOGLE MAPS. Apesar da possibilidade de plotar nos mapas através dos programas citados, em razão do software ser gratuito, não apresenta o grau de complexidade e sofisticação de ferramentas comerciais (INTERNATIONAL ASSOCIATION OF FIRE CHIEFS, 2020) (“Off-site Consequence Analysis: ALOHA”, [s.d.]) (SOARES, 2020) (“ALOHA | Department of Energy”, 2020) (NATIONAL OCEAN SERVICE, 2015).

O software possui como principais recursos a simulação dos efeitos de dispersão atmosférica com formação de nuvem inflamável ou tóxica, estimativa da radiação liberada

por incêndios em jato, incêndios em poça, formação de bola de fogo e em *BLEVE*¹. A ferramenta é capaz ainda de estimar a sobrepressão gerada por explosões, e pode auxiliar no planejamento de respostas para situações críticas ou ser utilizada para treinamentos.

A ferramenta representa, de forma textual e gráfica, as zonas afetadas pelo evento acidental, contribuindo com o plano de resposta de emergência. Além de estimar a rapidez com que a substância química será liberada de um tanque, poça ou duto e poderá formar uma nuvem de gás perigosa, além de representar como essa taxa de liberação pode mudar com o tempo.

A Figura 1 exibe um gráfico da zona ameaçada pelo vazamento de um gás tóxico conforme é fornecido no ALOHA. As cores vermelho, laranja e amarelo representam, respectivamente, os níveis de toxicidade AEGL-3 (1100 ppm), AEGL-2 (160 ppm) e AEGL-1 (30 ppm). O nível AEGL-1 representa apenas desconforto e sintomas reversíveis, em geral não representando ameaça para a saúde da população vizinha. Por outro lado, a concentração AEGL-3, se superada, pode provocar danos definitivos para a saúde ou mesmo gerar a morte (ACUTE EXPOSURE GUIDELINES LEVEL).

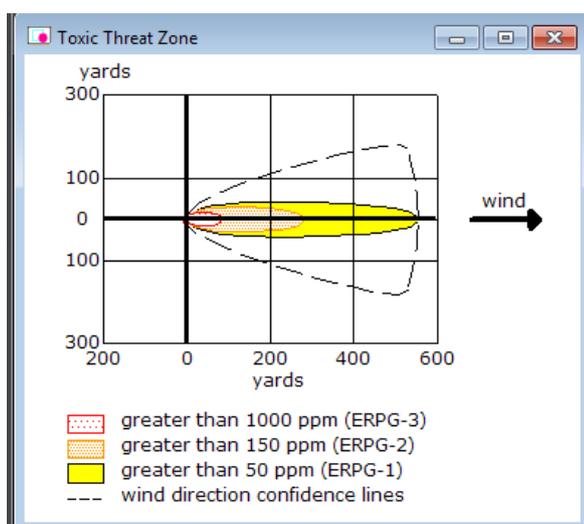


Figura 1: Gráfico da zona ameaçada pelo vazamento de um gás tóxico
Fonte: Adaptado de United States Environmental Protection Agency, ALOHA Software

Em seguida na Figura 2 exibe-se a área atingida pelo vazamento de um gás tóxico no período de 1 hora exportando-se para o Programa MARPLOT[®], do inglês *Mapping Application for Response, Planning, and Local Operational Tasks*. De forma a complementar o cenário desenvolvido no ALOHA, este programa é usado para representar, sobre o mapa

¹ Significado de BLEVE – “*Boiling liquid expanding vapor explosion*”, ou seja, explosão do vapor de expansão de um líquido sob pressão

da região atingida, a saída gráfica gerada pelo ALOHA. Ou seja, é possível visualizar a área que seria afetada caso o cenário acidental proposto realmente viesse a ocorrer.

A versão atual do MARPLOT conta com a base de mapas do Google, dispondo de mapas de todo o território nacional. Nos EUA, essa ferramenta usa ainda os dados do censo americano, permitindo estimar a população afetada. Assim como o ALOHA, o MARPLOT também é desenvolvido pela EPA, e está disponível gratuitamente no site da instituição americana.



Figura 2: Gráfico da dispersão de um gás tóxico aplicado no programa MARPLOT, mostrando no mapa a região afetada.

Fonte: Adaptado de United States Environmental Protection Agency, ALOHA Software

O ALOHA contém os dados químicos de mais de 1.000 produtos químicos puros. Permite ainda que um novo produto químico com seus dados e propriedades seja inserido no banco de dados. Se um produto químico modelado for reativo, o ALOHA comunicará isso ao usuário.

3. PROCESSO DE CONTATO

O processo de contato é o método de produção mais empregado a nível industrial para produção do ácido sulfúrico e envolve três etapas principais: Obtenção do dióxido de enxofre (SO_2), conversão catalítica do dióxido de enxofre a trióxido de enxofre (SO_3) e absorção de trióxido de enxofre. A seguir, tal processo será abordado com maior detalhamento.

3.1. Caracterização do processo

O Processo de Contato é caracterizado de acordo com as operações de absorção e conversão. Tal processo é dividido em Simples Contato ou Simples Absorção e Duplo Contato ou Dupla Absorção (MB CONSULTORES LIDA, 1999). O processo de simples absorção entrou em desuso por ter menor rendimento e alta emissão de poluentes e não será abordado no estudo.

O processo de absorção dupla apresenta absorção intermediária, em razão da inclusão de uma torre de absorção entre os leitos do conversor. A dupla absorção se divide em sistemas 1/3, 2/2 e 3/1, conforme o estágio de absorção intermediária ocorra após o primeiro, segundo ou o terceiro leito catalítico do conversor. O sistema 2/2 tem sido muito difundido por suas vantagens no que se refere a investimento de mudanças de plantas antigas que possuíam apenas uma absorção e foram obrigadas a fazer mudanças operacionais nas unidades já existentes para atender as exigências ambientais.

Quanto a matéria prima básica para a produção de ácido sulfúrico, utiliza-se enxofre muitas vezes obtido do processo de tratamento de gás natural, onde o H_2S presente como contaminante, é separado e posteriormente convertido a enxofre elementar no processo Claus.

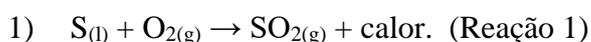
Existe também a possibilidade de se utilizar como matéria prima corrente gasosa enriquecida em SO_2 proveniente de processos de beneficiamento de minérios sulfetados, conhecidos como ustulação. A corrente ácida é previamente tratada e levada ao conversor para produção de ácido sulfúrico.

A seguir será descrito detalhadamente o processo de produção que utiliza enxofre como matéria prima, visto que este foi utilizado no estudo de caso que será apresentado. Tal processo inicia-se com a combustão do enxofre, seguido do conversor e da absorção em três etapas distintas.

1º etapa: Purificação e Combustão do enxofre

Nesta etapa, ocorrem as operações de fusão, sedimentação e filtração do enxofre com o objetivo de remover as impurezas sólidas, já que estas afetam a eficiência do processo no que tange a possibilidade de entupimento dos bicos aspersores do forno de combustão e o acúmulo de cinzas nos leitos do catalisador.

As impurezas são sedimentadas após adição de cal ao tanque de fusão. Antes de entrar no forno, o enxofre deve ser liquefeito para facilitar a transferência de calor e massa. No forno ocorre a queima de enxofre com ar em excesso, conforme Reação 1.



A reação ocorre no forno com temperatura em torno de 1050°C e seu calor de combustão é ($\Delta H^{\circ}_{25^{\circ}\text{C}} = -300 \text{ MJ/ Kg mol de S}_{(l)}$) (KING; DAVENPORT; MOATS, 2013b).

2º etapa: Conversão do SO₂

Após a queima do enxofre no forno ocorre formação de SO₂. Este gás é levado a caldeira de recuperação de calor e, na sequência, ao conversor catalítico, onde é convertido a SO₃, conforme reação 2.



A reação 2 tem calor envolvido ($\Delta H^{\circ}_{25^{\circ}\text{C}} = -100 \text{ MJ/ Kg mol de SO}_3$) (KING; DAVENPORT; MOATS, 2013). O O₂ não oxida SO₂ em SO₃ sem um catalisador, por esta razão é empregado o pentóxido de vanádio (V₂O₅).

Esta conversão ocorre, geralmente, em quatro leitos catalíticos acoplados com entradas e saídas de gases a torres de refrigeração que controlam a temperatura da corrente.

No que diz respeito ao V₂O₅, ele se torna ativo apenas em uma faixa de temperatura que vai de 400-630 °C (KING; DAVENPORT; MOATS, 2013b). A temperatura inicial é necessária para promover a fusão do vanádio que atua em processo de oxi-redução durante a catálise. A temperatura máxima de operação se deve a perdas de vanádio que se torna insolúvel não promovendo a catálise.

Tais características fazem com que o percentual de SO₂ proveniente da queima de enxofre deva ser bem ajustado, visto que acima de 12% de concentração, devido a

exotermicidade reacional, haveria aumento da temperatura e inativação do catalisador no sistema. Do mesmo modo, a temperatura inicial da corrente deve estar ajustada para uma faixa acima da temperatura inicial de operação do V_2O_5 para que ocorra a catálise. Este ajuste de temperatura, para o primeiro leito catalítico, é feito na caldeira. Nos demais leitos se faz necessário a saída da corrente do conversor e seu resfriamento em trocadores de calor acoplados, para sequência do processo. Assim, a oxidação do dióxido de enxofre é comumente realizada em conversores verticais de 4 estágios. Algumas modalidades já empregam 5 leitos.

Após passar pelos conversores, um método eficaz de aumentar a produtividade é através do deslocamento do equilíbrio químico da reação 2. Sendo assim, as plantas de H_2SO_4 levam a corrente gasosa, após um determinado leito catalítico, para um sistema de absorção. Caso a planta opere com absorção após o primeiro leito ela é descrita como do tipo 1x3, se for após o segundo leito ela é descrita como 2x2, e assim por diante, levando-se em consideração que as plantas, em sua maioria apresentam 4 leitos.

3° etapa: absorção do SO_3

Nesta etapa, o gás vindo do conversor, parcialmente convertido, é borbulhado em contracorrente com ácido sulfúrico dentro de uma torre recheada. O SO_3 provindo dos gases reage com água de diluição do ácido, formando novas moléculas de ácido.

Alguns fatores como temperatura, concentração do ácido usado, a umidade do gás a ser absorvido e a distribuição do material de recheio da torre afetam a eficiência da operação de absorção. As baixas temperaturas contribuem com a absorção, já que a pressão de vapor do ácido sulfúrico é função direta da temperatura, logo, a quantidade de ácido vaporizada no gás diminui, gerando o aumento da eficiência da operação (Reação 3).



Tal reação ocorre na faixa de 80-110°C e possui $(\Delta H^\circ_{25^\circ C}) = -130 \text{ MJ/ Kg mol de } SO_3$.

O H_2SO_4 não é produzido pela reação de SO_3 com H_2O pura. Isso ocorre porque a reação 3 é tão exotérmica que o produto da reação de SO_3 com H_2O seria vapor quente de H_2SO_4 , que possui condensação custosa e cara. Então utiliza-se ácido sulfúrico diluído com 98,5% de H_2SO_4 e 1,5% de H_2O (KING; DAVENPORT; MOATS, 2013).

O fluxograma simplificado do processo de produção industrial de ácido sulfúrico consiste em um queimador de enxofre, conversor quatro leitos, trocadores, torres de absorção e flair, como mostrado na Figura 3 uma breve descrição do processo.

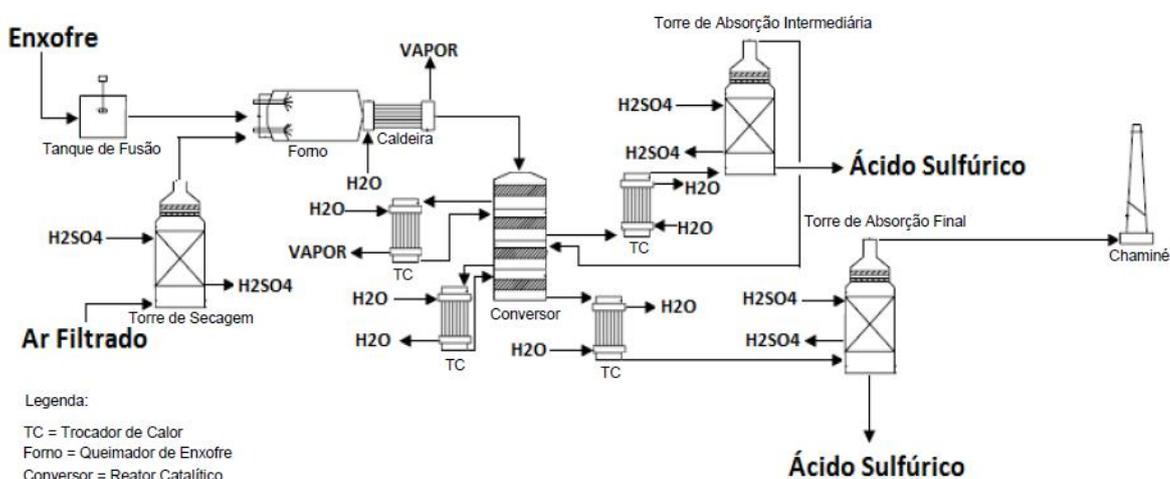


Figura 3: Fluxograma de uma planta de produção de ácido Sulfúrico com sistema 2/2.
Fonte: Adaptado de Cunha, 2017

Na sequência, é apresentada uma descrição dos equipamentos mais utilizados nas plantas de queima de enxofre.

Tanque de Fusão:

Neste equipamento é onde o enxofre é liquefeito. São sedimentadas as impurezas sólidas através da adição de Cal ao tanque e em seguida filtradas, antes do enxofre líquido seguir para o forno.

Queimador de Enxofre (Forno):

Na queima do enxofre, uma turbulência deve ser gerada no forno, por isso é necessário um sistema eficiente de incorporação gás-líquido. A temperatura deve estar acima de 120°C para que o enxofre não se solidifique, causando assim entupimento dos bicos aspersores.

Enxofre líquido entra no forno na forma de spray em um sistema de atomização, em razão de aumentar a transferência de massa e de calor. O forno trabalha em temperaturas em torno de 1000°C. Por isso o ar é inserido em excesso no sistema, com a função dissipar o calor no forno (MB CONSULTORES LIDA, 1999).

No forno controla-se o percentual de 12% de SO₂ da corrente gasosa que será enviado ao conversor.

Caldeira:

É onde ocorre o ajuste de temperatura para a temperatura ideal de entrada no primeiro conversor e onde se aproveita a energia térmica provinda dos gases para gerar vapor

pressurizado que será usado nos geradores de energia. A caldeira tem papel fundamental, pois o aproveitamento energético é essencial para a unidade produtora operar com menores custos.

Conversor:

O gás ácido provindo do forno, após redução da temperatura para 430°C feito na caldeira, é recebido no conversor. O conversor catalítico apresenta quatro leitos isolados em um único equipamento vertical. Após a entrada do gás no leito, passa pelo catalisador e sai do sistema até chegar a uma torre de resfriamento. Após resfriado o gás retorna para entrada no leito seguinte dando continuidade ao processo.

Novos conversores operam com trocador de calor interno, mas estes equipamentos ainda apresentam alta taxa de corrosão e difícil manutenção.

Trocadores de Calor:

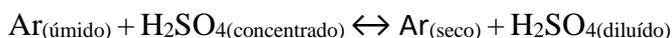
São empregados entre os estágios do conversor, em razão da reação 3 ser exotérmica, sua principal função é aumentar a temperatura do meio reacional (MB CONSULTORES LIDA, 1999).

Torre de Absorção:

Atualmente as plantas possuem duas torres de absorção: Torre de Absorção Intermediária e Torre de Absorção Final. A Torre de Absorção Intermediária, opera entre os leitos catalíticos e sua instalação define o sistema da planta industrial, que neste caso é 2/2. Já a Torre de Absorção Final opera no fim do processo. Estas torres têm como função aumentar a produtividade do sistema.

Torre de Secagem:

Como dito anteriormente, a reação (2) ocorre utilizando-se ar previamente seco, esse processo de secagem acontece na torre de secagem. A torre é recheada para aumentar a turbulência e maior contato do ácido com o ar. O próprio ácido sulfúrico, em concentração 93-98%, atua como agente dessecante. Tal procedimento, ocorre de acordo com a seguinte equação:



O ar seco pode carrear gotículas de ácido, por isso é empregado um sistema de filtro com eliminador de névoa. O H_2SO_4 produzido, mesmo diluído, pode ser vendido para indústria de fertilizantes.

Eliminador de Névoa:

Estão presentes nas torres de secagem, absorção intermediária e absorção final por razões distintas. A primeira evita que gotículas de ácido sulfúrico carregadas pelo ar cheguem no forno de queima do enxofre, a segunda é devido a maior formação de condensado ácido, pois, a velocidade do gás arrasta condensado, gerando uma possível corrosão. Já na torre de absorção final o eliminador de névoas é por razões ambientais. As velas presentes nos eliminadores de névoa impedem que haja emissões de poluentes (CLARK SOLUTIONS, 2015).

Chaminé:

Neste equipamento é onde ocorre o descarte de rejeitos gasosos ao meio ambiente, após esgotadas todas as possibilidades de tratamento dos gases.

4. GERENCIAMENTO DE RISCOS

Gerenciamento de Risco é o processo no qual utiliza-se o resultado da análise de risco para tomada de decisões. Esta análise pode ser usada em todos os estágios de projeto; no desenvolvimento, construção e operação de sistemas de engenharia (MODARRES, 2006). Os processos básicos para gerenciamento de riscos são: identificação dos riscos, análise de riscos, avaliação de riscos e tratamento de riscos (CAMARGO, 2011).

4.1. Identificação dos Riscos

Para identificar os riscos, é necessário conhecimento do fluxograma, etapas do processo de produção, funcionamento dos equipamentos e condições de operação de uma fábrica de produção de ácido sulfúrico. Pode-se utilizar os seguintes meios: Checklists e Roteiros, Inspeção de Segurança, Investigação de Acidentes e Fluxogramas (SOUZA, [s.d.]). Na prática, a melhor estratégia seria combinar mais de um método e obter o maior número de informações sobre riscos para evitar o acidente.

Neste trabalho, utilizou-se dos meios “Investigação de Acidentes” e “Fluxogramas” para identificar os riscos. Pois, considerou-se que a planta hipotética estava com o Roteiro e Inspeção de Segurança ajustados. A Investigação de acidentes aborda a descrição do acidente a partir de informações recolhidas junto ao encarregado da área e de um estudo do local do acidente. Assim, pode-se determinar as causas do acidente e propor medidas necessárias para a sua prevenção. Tal abordagem, foi a partir de estudos de caso mais recentes publicados em congressos. Tais acidentes foram aplicados aos Fluxogramas presentes nas publicações e escolheu-se a planta que abrangesse maior parte dos problemas relatados.

4.1.1. Risco: Relação entre frequência e severidade

O risco é uma variável com potencial de causar danos, que podem ser entendidos como lesões a pessoas, danos a equipamentos e instalações, danos ao meio-ambiente, perda de material, em processo ou redução da capacidade de produção. Pode ser medida de perda econômica e ou de danos a vida humana, resultante da combinação entre a frequência de ocorrência e a severidade (CAMARGO, 2011). Desse modo, está ligado diretamente ao fato e a possibilidade da ocorrência de um evento não desejado, sendo função da frequência da ocorrência das hipóteses acidentais e das suas consequências. O risco pode ser calculado

como o produto entre frequência e severidade atribuídos a determinado cenário, conforme a equação a seguir (LINE, 2008):

$$\text{Risco} = (\text{Frequência em que ocorre a perda}) \times (\text{Severidade da perda})$$

A frequência de perdas se refere à quantidade de vezes que a mesma perda, ou perda similar, pode ocorrer. Já a severidade de perdas se refere ao dano ou custo da perda (MORRISON, 1988).

As análises de frequência e severidade podem ser realizadas a partir de dados de acidentes ocorridos no passado. Baseando-se em dados, deve-se desenvolver uma previsão de frequência e severidade de perdas futuras na construção de estudos de análises de riscos (AVEN, 2016). Tal abordagem foi aplicada para confecção da APR (Análise Preliminar de Riscos) deste estudo. A seguir, são definidos os passos para análise de frequência e severidade.

4.1.1.1. Passos para análise de frequência e severidade

Para cada cenário acidental, os passos seguintes devem ser seguidos para classificar o risco (RISTIC, 2013).

Passo 1. Classificar o cenário em categoria relacionada à sua frequência de ocorrência. Definida (Quadro 5) como: A (Extremamente Remota), B (Remota), C (Pouco Provável), D (Provável) e E (Frequente).

Passo 2. Classificar o cenário em categoria relacionada à sua severidade. Definida (Quadro 5) como: I (Desprezível), II (Marginal), III (Crítica) e IV (Catastrófica).

Passo 3. Especificar o risco de acordo com a linha e coluna da Matriz de Tolerabilidade de riscos (Quadro 5). O produto resultante é a avaliação qualitativa da combinação entre frequência e severidade para dada exposição à perda. A seguir, no Quadro 6 pode-se ver a descrição do nível de controle necessário para cada categoria de risco e no Quadro 5 é apresentado os resultados correspondentes ao risco associado (em cores) quando cruzados as categorias de frequência e severidade.

Passo 4. Organizar em ordem de prioridade as avaliações para cada exposição à perda. As exposições que recebem uma classificação de E (Frequente) para frequência e de IV (Catastrófica) para severidade combinadas, devem receber a mais alta prioridade no gerenciamento do controle de risco, especificada como NT (Não Tolerável). Já uma classificação de "B (Remota)/ II (Marginal)" para frequência/severidade é a mais baixa

categoria, T (Tolerável) e deve receber a menor atenção no desenvolvimento de estratégias de controle de risco.

Passo 5. Aplicar medidas preventivas e mitigadoras para posterior classificação do risco, após a efetivação de tais medidas. Então, aplica-se novamente os passos de 1 a 4, obtendo uma nova classificação para a frequência, severidade e risco.

Quadro 5: Matriz de Risco

				MATRIZ DE TOLERABILIDADE DE RISCOS							
				CATEGORIAS DE FREQUÊNCIA							
				A Extremamente remota < 1 em 10 ⁵ anos	B Remota: 1 em 10 ³ a 1 em 10 ⁵ anos	C Pouco Provável: 1 em 30 a 1 em 10 ³ anos	D Provável: 1 por ano a 1 em 30 anos	E Frequente > 1 por ano			
DESCRIÇÃO / CARACTERÍSTICAS											
Segurança Pessoal		Instalações	Meio Ambiente	Imagem	Conceitualmente possível, mas extremamente improvável na vida útil da instalação. Sem referências históricas.	Não esperado ocorrer durante a vida útil da instalação, apesar de haver referências históricas.	Possível de ocorrer até 1 (uma) vez durante a vida útil da instalação.	Esperado ocorrer mais de 1 (uma) vez durante a vida útil da instalação.	Esperado ocorrer muitas vezes durante a vida útil da instalação.		
CATEGORIAS DE SEVERIDADE	I	Desprezível	Sem lesões, ou no máximo casos de primeiros socorros sem afastamento.	Sem danos ou danos insignificantes aos equipamentos ou instalações	Sem danos ou com danos mínimos ao meio ambiente	Sem Impacto na mídia municipal	T	T	T	T	M
	II	Marginal	Lesões leves em empregados e terceiros. Ausência de lesões extramuros	Danos leves aos equipamentos ou instalações (os danos são controláveis e/ou de baixo custo de reparo)	Danos devido a situações ou valores considerados toleráveis entre níveis mínimo e médio	Impacto Local na mídia estadual	T	T	M	M	M
	III	Crítica	Lesões de gravidade moderada em pessoas intramuros. Lesões leves em pessoas extramuros	Danos severos a equipamentos ou instalações	Danos devido a situações ou valores considerados toleráveis entre níveis médio e máximo	Impacto Regional na mídia nacional	M	M	M	NT	NT
	IV	Catastrófica	Provoca morte ou lesões graves em uma ou mais pessoas intra ou extramuros	Danos irreparáveis a equipamentos ou instalações (reparação lenta ou impossível)	Danos devido a situações ou valores considerados acima dos níveis máximos toleráveis	Impacto nacional e/ou internacional	M	M	NT	NT	NT

Fonte: Adaptado de Barbosa Filho, 2011 e da Política e Diretrizes de QSSMA da Empresa Rio Polímeros/Quattor

Legenda: T= Tolerável, M= Moderado, NT= Não Tolerável

4.2. Categoria de Risco

Os riscos foram classificados em diferentes categorias conforme descrições no Quadro 6: T (Tolerável), M (Moderado) e NT (Não Tolerável).

Quadro 6: Descrição das Categorias de Riscos.

CATEGORIAS DE RISCOS	
Categoria de Risco	Descrição do Nível de Controle Necessário
Tolerável (T)	Não há necessidade de medidas adicionais. A monitoração é necessária para assegurar que os controles sejam mantidos.
Moderado (M)	Controles adicionais devem ser avaliados com o objetivo de obter-se uma redução dos riscos e implementados aqueles considerados praticáveis.
Não Tolerável (NT)	Os controles são insuficientes. Métodos alternativos devem ser considerados para reduzir a probabilidade de ocorrência e, adicionalmente, as consequências, de modo a trazer os riscos para regiões de menor magnitude de riscos.

Fonte: Adaptado de Barbosa filho, 2011.

4.3. Análise de Riscos

Conjunto de técnicas e ferramentas com a finalidade de identificar, estimar, avaliar, monitorar e administrar os possíveis cenários que colocam em risco a segurança das instalações e da população (CAMARGO, 2011).

Os métodos de análise de riscos são divididos em duas classes; análise qualitativa e análise quantitativa. Análise qualitativa de riscos avalia a prioridade dos riscos, depois de identificados e classificados de acordo com sua frequência e severidade correspondentes. Tal análise é influenciada pela experiência, percepção e conhecimento técnico operacional (BARCELLOS, M. J.; PAIVA, 2009).

Já as técnicas quantitativas, visam promover maior objetividade no tratamento de questões relacionadas a acidentes, calculam os riscos através de modelagem matemática. Tais técnicas permitem obter informações sobre o comprometimento dos resultados previstos para o projeto, trazendo uma abordagem quantitativa para a tomada de decisões.

4.4. Métodos de Análise de Risco

As técnicas mais utilizadas para análise qualitativa são a Hazard and Operability study (HAZOP), ou Estudo de Perigos e Operabilidade e a Análise Preliminar de Riscos (APR), que será vista com mais detalhes neste trabalho.

Já na análise quantitativa as duas técnicas mais comuns são a Fault Tree Analysis (FTA), ou Análise de Árvore de Falhas, e a Events Tree Analysis (ETA), ou Análise de Árvore de Eventos (BARCELLOS, M. J.; PAIVA, 2009).

4.4.1. APR – Análise Preliminar de Riscos

É uma técnica qualitativa conhecida internacionalmente pelo nome PHA – *Preliminary Hazard Analysis*, e tem como objetivo a identificação dos cenários acidentais. A APR identifica estes cenários suas causas e consequências. A aplicação da técnica consiste em reunir um grupo multidisciplinar de especialistas associados ao projeto e à operação da instalação para sugerir adequações, correções e a inclusão de salvaguardas para cada risco identificado (BARCELLOS, M. J.; PAIVA, 2009).

Governo e indústria reconhecem a necessidade de identificar, avaliar e controlar os riscos para instalações, pessoas e meio ambiente. Localização apropriada, uma avaliação de risco abrangente e uma gestão de segurança são, portanto, essenciais para garantir desenvolvimento e, ao mesmo tempo, a segurança (IAEA, 1998).

Segundo Esteves (2004), a Análise Preliminar de Riscos (APR) é uma metodologia estruturada para identificar os riscos que podem ser causados devido à ocorrência de eventos indesejáveis. Também conhecida como análise preliminar de perigos (APP), essa metodologia pode ser realizada em qualquer etapa do ciclo de vida da instalação (projeto conceitual, básico, detalhamento, implantação, operação), como também em qualquer etapa da realização da atividade/tarefa (SANTOS, WILSON; THEOBALD, 2013).

A APR é própria para ser empregada na fase inicial de concepção e desenvolvimento da planta de processo, na determinação dos riscos que possam existir. Ela não exclui a necessidade de outros tipos de avaliações de riscos. Ao contrário, é uma precursora de outras análises. As principais vantagens da APR são: identificação com antecedência e conscientização dos perigos em potencial por parte da equipe de projeto e identificação e/ou desenvolvimento de diretrizes e critérios para a equipe de desenvolvimento do processo seguir. Assim, à medida que o projeto se desenvolve, os perigos principais podem ser eliminados, minimizados ou controlados logo de início. (AMORIM, 2010)

A análise é centrada na identificação dos riscos existentes para as pessoas, o meio ambiente, o patrimônio, a continuidade operacional e a imagem da empresa. Para isso são consideradas possíveis falhas de sistemas, equipamentos, operações e seus respectivos impactos. As recomendações que surgem de uma análise abrangente da APR deveriam ser capazes de eliminar ou controlar os riscos de processo durante toda a vida útil da planta (LOEWE, 2007).

O primeiro e mais importante passo em qualquer avaliação de risco é a identificação de todos os cenários acidentais (IAEA, 1998).

Uma Análise Preliminar de Riscos deve compreender as etapas (LOEWE, 2007):

- (i) Identificação dos riscos em potencial;
- (ii) Avaliação dos controles aplicáveis aos eventuais riscos de processos (incluindo a avaliação de erros humanos);
- (iii) Identificação das possíveis consequências devido a falhas no controle.

A seguir no Quadro 7 de forma simplificada, os passos que devem ser seguidos para a realização de uma APR.

Quadro 7: Exemplo de planilha para aplicação de APR.

Análise Preliminar de Riscos (APR) Planilha							Nova Classificação do Risco		
Projeto: Planta de Ácido Sulfúrico							Após aplicar medidas		
Risco em Questão:							Mitigadoras		
Data:							Passo 6a	Passo 6b	Passo 6c
Passo 1	Passo 2	Passo 3	Passo 4a	Passo 4b	Passo 4c	Passo 5			
Cenário acidental O que poderia dar errado?	Causas em potencial Como o perigo pode ocorrer?	Dano/Conseq. Impacto em potencial?	Frequência de ocorrência Qual é a frequência de ocorrer?	Severidade da Consequência Quão significativa é o impacto?	Nível de Risco (FxS) Relação entre Frequência e Severidade	Possível Controle adicional O que pode ajudar a controlar ou mitigar o perigo?	Nova Frequência Qual é a nova frequência?	Nova Severidade Qual é a nova severidade?	Novo Risco (FxS) Qual é o novo risco?

Fonte: Adaptado BLUESYNERGY, 2016

A abordagem integrada de avaliação de risco baseia-se na noção de que todos os riscos devem ser sistematicamente identificados, analisados e avaliados (IAEA, 1998).

Portanto, é essencial identificar o tipo e origem do evento indesejado associados à operação de uma planta e dos eventos iniciais e contribuintes que podem levar a ocorrência de acidentes. Sem tal entendimento, a formulação e implementação de qualquer gestão de risco é certamente ineficiente.

5. METODOLOGIA

Foi feito um levantamento dos acidentes mais comuns envolvendo ácido sulfúrico no domínio internacional *sulfphuric-acid.com*. Tais acidentes foram divididos nas seguintes categorias: “explosão”, “exposição por contato”, “incêndio”, “derramamento” e “transporte”. Essa última categoria apresentou 59% dos acidentes relatados no período de janeiro de 2015 até 04 de agosto de 2019. A partir disso, para diminuir a frequência dos acidentes envolvendo o transporte localizou-se a planta hipotética mais próxima da etapa de utilização final do produto, de forma a diminuir o percurso do transporte. No entanto, é importante considerar o leve aumento da severidade em razão da proximidade da planta com as populações vizinhas e em razão da quantidade de ácido em uma fábrica ser muito maior que em uma carreta. Então, o estudo foi direcionado para a análise de riscos na planta de produção do ácido para entendimento dos riscos associados à sua produção e quais medidas preventivas ou mitigadoras poderiam ser tomadas.

Para a escolha da planta a ser estudada, sua capacidade produtiva, localização e montagem da APR, foi feita uma revisão bibliográfica das informações técnicas das plantas dos estudos de caso dos arquivos: Mesa redonda – Chile – Outubro 2018 e do X Congresso Brasileiro de Ácido Sulfúrico – COBRAS – Guarujá-SP – Outubro 2017 presentes no site da empresa MB Consultores. Tendo-se também as informações da ABIQUIM 2015 pode-se comparar os dados com uma planta real brasileira. Assim, foi montada uma tabela com as maiores empresas produtoras de ácido sulfúrico, suas localizações e capacidades produtivas. Optou-se pelo ano de 2018 para a Mesa Redonda do Chile e pelo ano de 2017 para o COBRAS, pois eram os de publicação mais recente e por apresentarem informações relevantes para o estudo.

A pesquisa foi realizada seguindo um caráter exploratório para montagem de um trabalho científico original e relevante para gestão de riscos em plantas de produção de ácido sulfúrico. Entendeu-se a contextualização de cada problema apresentado nos estudos de casos, de forma a conseguir aplicar a simulação no ALOHA de alguns cenários, para também validar a análise de riscos montada. Analisando-se os problemas dos estudos de caso, separou-se os dados: equipamento, dimensão, características do equipamento, problema encontrado, motivo, solução/sugestão de melhoria. Dentre os equipamentos encontrados foram selecionados os que possuíam maior recorrência e são equipamentos chaves para dimensionamento da planta. Após uma leitura minuciosa e individual de 48 estudos de caso foram escolhidos os dados, e foi montada a APR em um quadro com as seguintes

informações: cenário, causa, consequência, frequência e severidade para classificar o risco e medida preventiva/ mitigadora.

Na análise qualitativa de risco, em primeiro lugar foram classificados em diferentes categorias a frequência e severidade de cada cenário utilizando-se como referência as características descritas no Quadro 5. Então, multiplicou-se tais valores para classificar o risco como: “Tolerável”, “Moderado” ou “Não Tolerável” (Quadro 6). Após classificação, implementou-se Medidas Preventivas e Mitigadoras sugeridas nos trabalhos que foram utilizados como base com o objetivo de diminuir tais riscos. Assim, obteve-se novas categorias de frequência e severidade que resultaram em novo nível de risco.

Após nova classificação dos riscos, foram escolhidos alguns dos cenários que mesmo após as medidas preventivas ou mitigadoras continuavam na classificação “Moderado” ou “Não Tolerável” para serem comparados com os resultados da simulação no software. Utilizando-se o software ALOHA foi possível simular de forma a gerar dados para se comparar com a APR elaborada e validar as classificações feitas para os cenários encontrados.

Pela simulação pode-se determinar a distância e a região a ser impactada no caso de vazamento do produto, ou liberação de gases além do permitido. Acessando o software ALOHA, no painel inicial seleciona-se a opção “*chemical*”, tal opção é usada para selecionar o produto químico, na aba *Setup*, conforme Figura 4. Nesta aba, também adicionamos informações meteorológicas, de localização e do cenário acidental.

Após selecionada a aba “*chemical*”, obtivemos o quadro com a listagem dos produtos da biblioteca. Constatada a ausência do ácido sulfúrico em tal quadro, fez-se uma revisão bibliográfica dos dados químicos e seu limite de tolerância para acréscimo na biblioteca. Utilizou-se as referências *LOUIE* (2005) e *SMITH, VAN NESS, ABBOTT* (2009) para completar as informações químicas e o site Environmental Protection Agency Sulfuric Acid Results - AEGL Program (2020) para as informações de limite de tolerância. Na Figura 5, tem-se o quadro para preenchimento dos dados químicos.

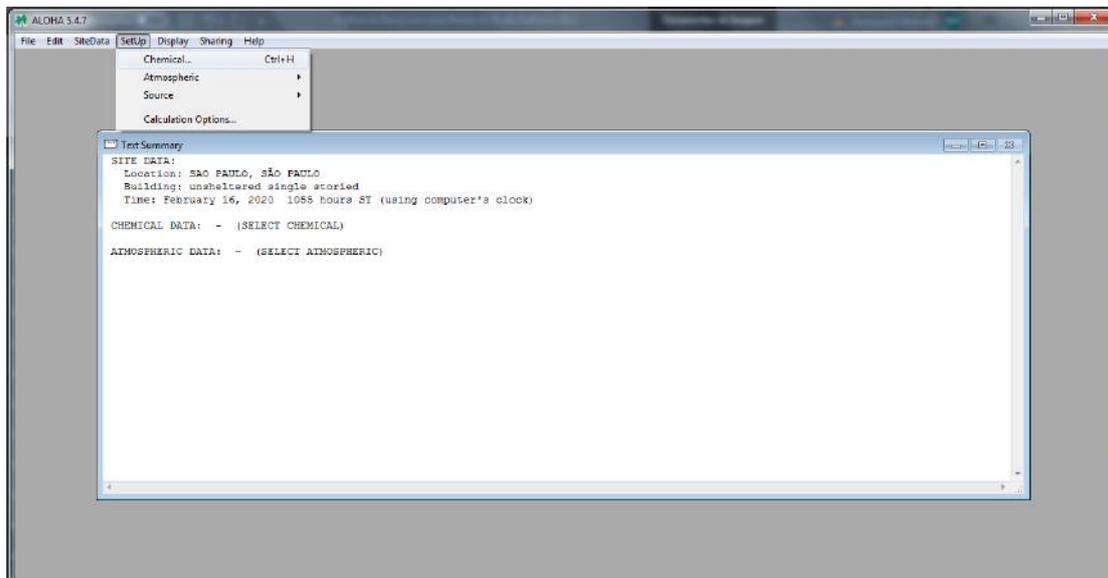


Figura 4: Aba set-up para preenchimento dos dados químicos, atmosféricos e do cenário.
 Fonte: Print da tela do Software ALOHA, elaboração própria

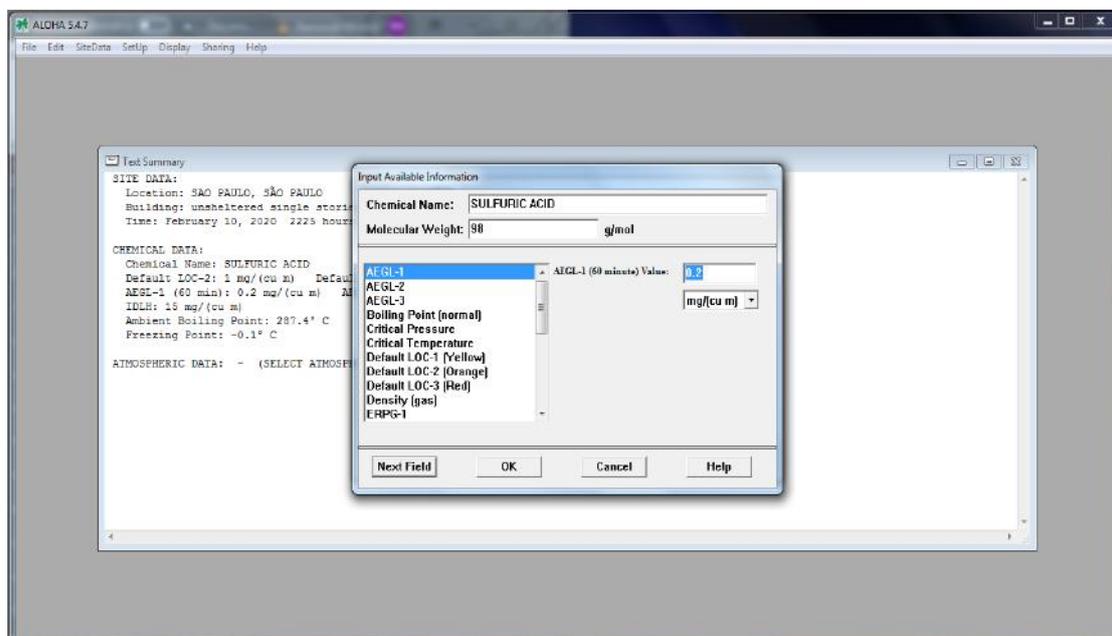


Figura 5: Quadro para preenchimento dos dados químicos e do limite de tolerância do ácido sulfúrico no software ALOHA.
 Fonte: Print da tela do Software ALOHA, elaboração própria

Após preenchimento dos dados químicos e de tolerância, deve-se incluir as coordenadas ortográficas como latitude, longitude e elevação para situar a localização da planta/cenário a ser estudado. Para encontrá-las foi empregado o site *mapcoordinates.net/pt*. Tais dados são essenciais para o programa fazer o cálculo de dispersão e área afetada. Estes dados juntamente com os dados atmosféricos como: velocidade do vento, temperatura do dia, quantitativo de nebulosidade e as características da região de simulação, ajudam o programa no momento da simulação. No dia em que foi feita a simulação, fez-se uma pesquisa no site:

climatempo.com.br/vento/ e considerando área urbana, foram utilizados os dados: velocidade do vento a 2,22 m/s e temperatura a 26°C e temperatura ambiente a 28°C como pode ser visto nas Figuras 6 e 7.

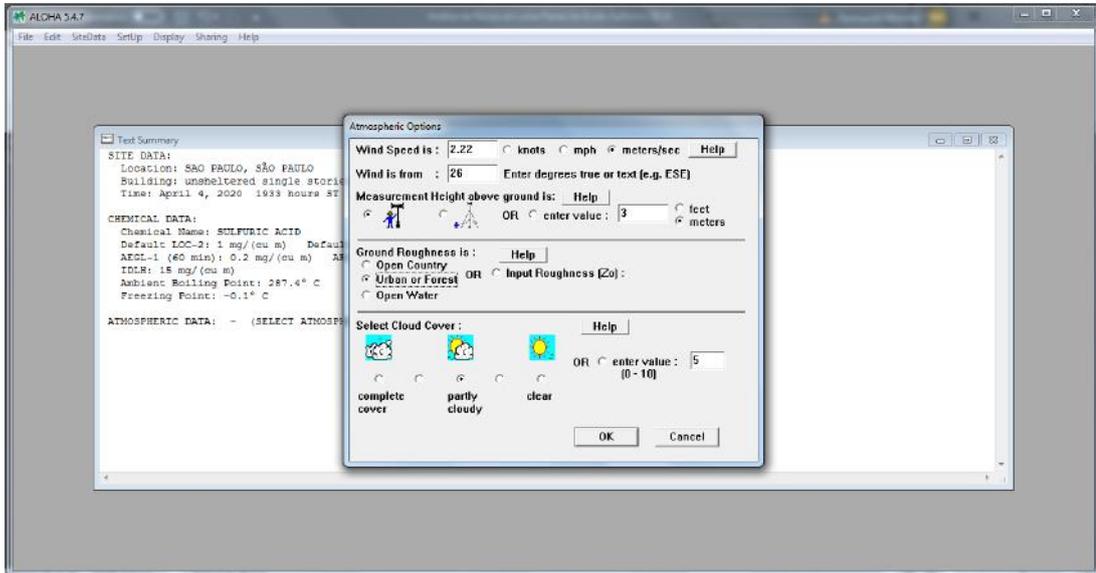


Figura 6: Dados atmosféricos preenchidos: velocidade do vento, tipo de terreno e nebulosidade.
Fonte: Print da tela do Software ALOHA, elaboração própria

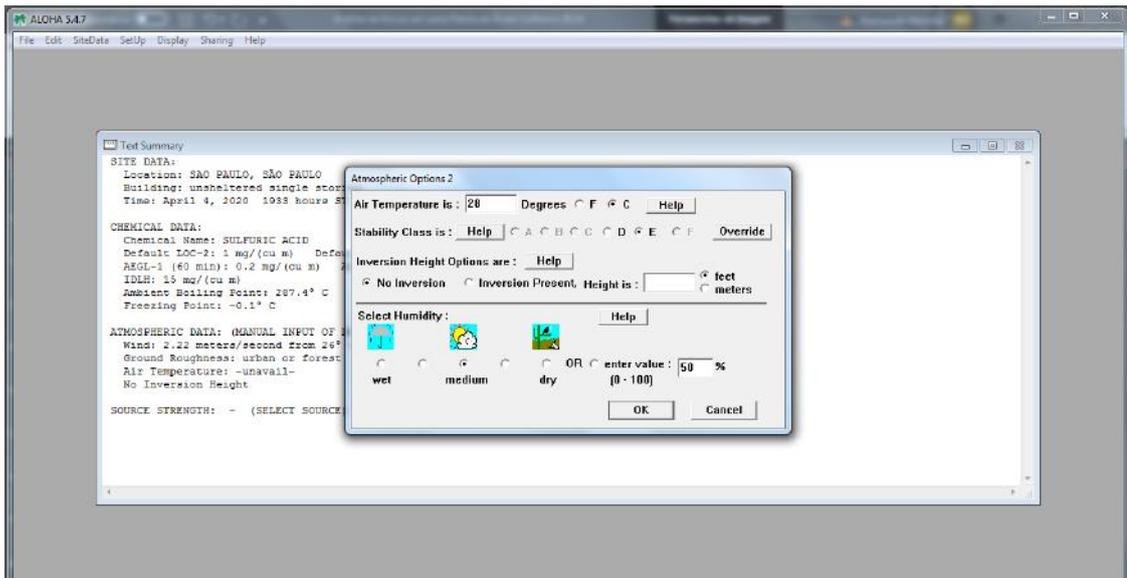


Figura 7: Dados atmosféricos preenchidos: temperatura, umidade e tipo de inversão térmica.
Fonte: Print da tela do Software ALOHA, elaboração própria

Tendo-se completadas as informações anteriores, obtêm-se um quadro resumo com todos os dados que foram acrescentados, conforme pode ser visto na Figura 8.

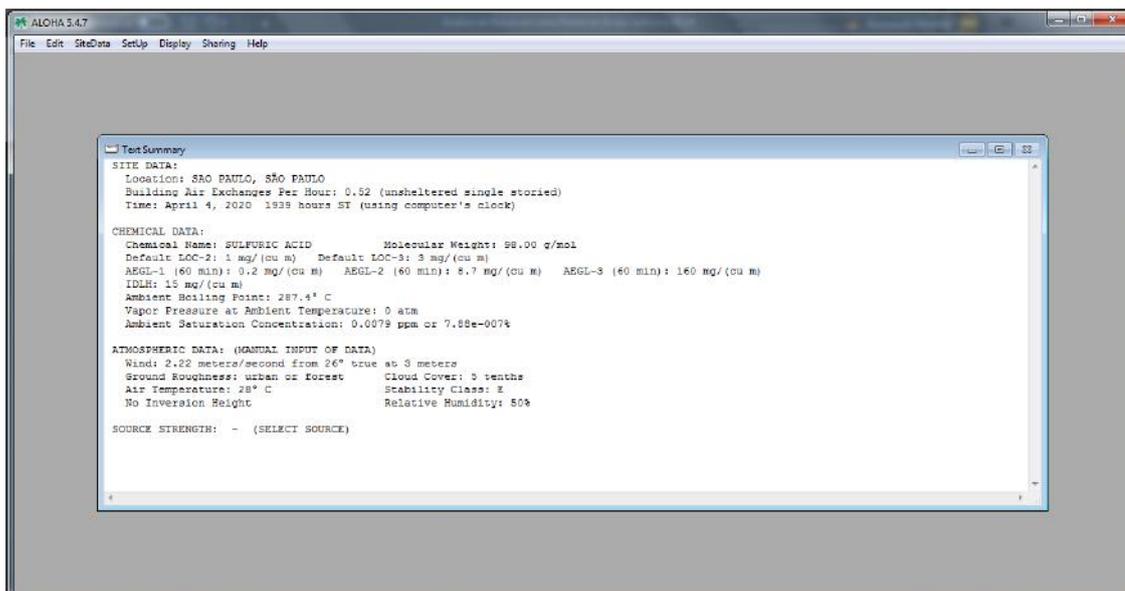


Figura 8: Resumo com todos os dados adicionados. Fonte: Print da tela do Software ALOHA, elaboração própria.

Por fim, após adicionar as informações químicas, de localização e os dados atmosféricos, deve-se informar o cenário da simulação, escolhendo-se a causa de origem do vazamento. Dentre as causas que receberam a nova classificação de risco, após as medidas preventivas e mitigadoras, foram selecionadas aquelas que permaneceram nas categorias “Moderado” ou “Não Tolerável” para projeção dos riscos associados a planta.

Após conferência dos dados inseridos no sistema, descritos na Figura 8, inicia-se a simulação do cenário/ subcenários escolhido. Na aba “Setup”, opção “Source”, existe a opção para modelagem de quatro tipos de fonte: “direct”, “puddle”, “tank” e “gas pipeline”. A seguir, suas definições:

- Direct: liberação de produto químico diretamente na atmosfera (usando taxa/quantidade determinada pelo usuário e ignorando os cálculos da fonte do ALOHA). Deve-se escolher a opção direct quando se sabe a quantidade de gás liberado para o ar ou quando não dispôr das informações devidas para empregar outra opção de fonte.

Nesse caso, é necessário estimar a quantidade de poluente que entra diretamente na atmosfera na forma gasosa para inserir tais informações. Assim, ignora-se os cálculos de intensidade da fonte do ALOHA.

O gás liberado pode ser originado pela evaporação de uma poça, vazamento de gás de uma tubulação ou escapamento de gás pela ruptura de um tanque. Ao utilizar a opção Direct para modelar o vazamento de líquido no tanque, deve-se estimar a taxa na qual o gás entra na atmosfera, ou seja, taxa de evaporação da poça resultante e não a taxa na qual o líquido está derramando do tanque (o líquido não entra diretamente na atmosfera).

Ao escolher a opção “direct”, adiciona-se a unidade de força da fonte, forma de liberação (instantâneo ou contínuo), quantidade de produto químico que entra na atmosfera (para liberações contínuas, isso deve ser inserido como uma taxa e ter uma duração), altura da fonte e (se necessário) entradas de volume adicionais (EPA,2016).

- Puddle: é usado para modelar um líquido que já tenha derramado completamente e formou uma poça no chão. O ALOHA pode fazer a modelagem como a evaporação de uma poça ou formação de incêndio na poça, quando o produto químico é inflamável.

No caso de produto químico não inflamável, o ALOHA seleciona automaticamente a opção de poça em evaporação. Em tal opção insere-se o tamanho da poça (volume, profundidade média ou massa), tipo de solo, temperatura do solo e temperatura inicial da poça. Neste estudo simularemos apenas substâncias não inflamáveis.

- Tank: o produto químico está escapando de um tanque de armazenamento, é o cálculo de vazamento de um tanque.

Ocorre liberações de líquidos não pressurizados, líquidos pressurizados ou gases nos tanques. Para líquido pressurizado, o ALOHA assume que a gravidade drenará o tanque e se formará uma poça abaixo do tanque. Já quando contém gás ou líquido pressurizado, o programa assume escape do produto para o ar na forma de gás ou aerossol. (EPA, 2016)

O ALOHA não pode simular uma liberação em que exista uma poça pré-existente no chão e o líquido continue vazando de um tanque para a poça. Caso esteja nesta situação e a poça continuar se espalhando, pode ser modelada como o vazamento de um tanque.

Ao escolher a opção “tank” adiciona-se o tamanho e a orientação do tanque (cilindro horizontal, cilindro vertical ou esfera), o estado físico do produto químico (líquido, gás ou desconhecido), a temperatura do produto químico dentro do tanque e a sua massa. O ALOHA assume que qualquer tanque esteja no nível do solo. Opta-se pelo tipo de tanque com vazamento e insere-se a altura do tanque em que ocorre o vazamento. Caso haja formação de poça, é necessário dizer o tamanho máximo da poça, o tipo de solo e a temperatura do solo.

- Gas pipeline: vazamento de gás em tubulação.

O ALOHA pode ser utilizado para simular dois tipos de cenários: uma tubulação conectada a um reservatório muito grande (infinito) ou uma tubulação de comprimento finito que é fechada na extremidade (ex: válvula de fechamento). O ALOHA não pode modelar uma liberação de gás de um tubo que quebrou no meio e está vazando pelas duas

extremidades quebradas. É necessário inserir as entradas da fonte do tubo: diâmetro, comprimento, conexão do tubo (ou seja, se a extremidade não quebrada do tubo está conectada a uma fonte infinita ou fechada), rugosidade, pressão, temperatura e tamanho do furo.

Para cada fonte, o ALOHA permitirá a seleção das características das causas dos cenários que se deseja modelar, adequando-se assim os dados do cenário a simulação. O número de cenários disponíveis depende da fonte e do produto químico liberado. Depois de inserir as informações sobre a origem e o cenário da liberação, o ALOHA fará seus cálculos de intensidade da fonte e será possível visualizar os seguintes resultados: duração prevista da liberação, taxas de liberação e quantidade total liberada.

Assim, após realizada a Análise Preliminar de Risco na planta de ácido sulfúrico utilizou-se o software ALOHA como uma ferramenta de apoio e validação das classificações feitas aos cenário encontrados.

6. ESTUDO DA PLANTA DE ÁCIDO SULFÚRICO

O estabelecimento hipotético utilizado para estudo é classificado como uma planta de ácido sulfúrico de dupla absorção. Tal planta utiliza enxofre como matéria prima por meio do processo de contato. Os seus riscos foram levantados a partir de Estudos de casos apresentados nos dados da Mesa redonda – Chile – Outubro de 2018 e do X Congresso Brasileiro de Ácido Sulfúrico COBRAS – Guarujá-SP – Outubro de 2017.

6.1. Descrição da Planta de Produção

A primeira tarefa do processo de avaliação de riscos envolve reunir todas as informações necessárias e disponíveis sobre a instalação a ser analisada. Isso inclui detalhes sobre o design, construção e operação da unidade e situações normais e/ou emergenciais (IAEA,1998).

Como dito anteriormente, plantas de produção de ácido sulfúrico são estrategicamente localizadas próximas ao ponto de uso do produto, em razão do enxofre elementar ser mais barato para transportar e menos perigoso do que o ácido sulfúrico, o que norteou o nosso estudo para a simulação.

Para efeitos de análise e elaboração da APR a partir dos dados coletados da Mesa redonda – Chile – Outubro 2018, do X Congresso COBRAS – Guarujá-SP – Outubro 2017 e ABIQUIM, 2015, para o estudo foram selecionados alguns dos equipamentos presentes na planta: Conversor (Reator Catalítico) do tipo 2x2 com volume 97,5 m³, com 3 m de diâmetro e 13,80 m de altura; uma Torre de Absorção Intermediária e uma Torre de Absorção Final com capacidade de 76,71 m³/hora cada e 3 tanques de estocagem com 628 m³, com 10 m de diâmetro e 8 m de altura cada tanque, tubulações presente ao longo da planta de 8 cm de diâmetro. A planta tem uma capacidade produtiva em torno de 280.000 toneladas/ano, com 10 horas de produção diárias, com emissão máxima de 0,01% de SO₂ na chaminé e formação de 98% de H₂SO₄. São utilizados para o transporte caminhões transportadores de 29 m³ de capacidade. Na Figura 9 pode ser visto o fluxograma da planta fictícia utilizada. A localização escolhida foi próxima a um centro urbano.

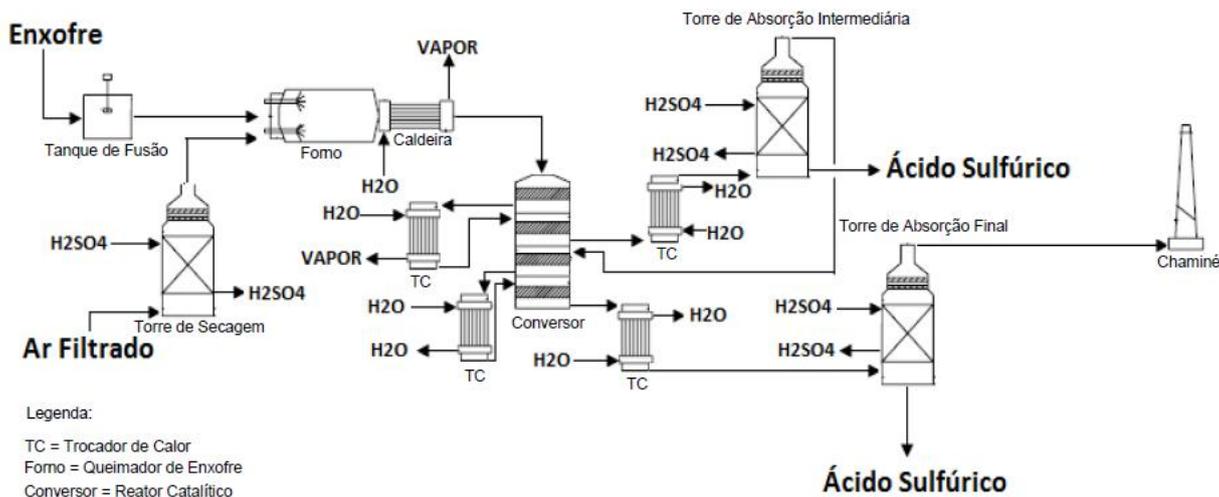


Figura 9: Fluxograma da planta produtora de ácido sulfúrico utilizada na elaboração da APR com sistema 2/2. Fonte: Adaptado de Cunha, 2017

6.2 Análise Preliminar de Riscos na Planta de Ácido Sulfúrico - APR

A partir da elaboração da APR com a categorização da frequência, da severidade e dos riscos, e a seleção das medidas mitigadoras e preventivas, observou-se que foram obtidos inicialmente para esta planta fictícia 30 cenários que foram subdivididos totalizando 88 subcenários. Destes subcenários, 41 foram classificados como associados a perda de produtividade de processo e 5 foram realocados dentro de algum outro subcenário por possuir elevada similaridade.

Portanto, foram mantidos na APR apenas os cenários que envolviam riscos, e que após uma reorganização ficaram resumidos em 10 cenários com 42 subcenários associados. Os cenários escolhidos para análise de causas, consequência, classificação de categorias e medidas preventivas e mitigadoras foram:

1. Vazamento de produto corrosivo ao longo do processo de produção, na transferência do tanque de armazenagem de 628 m³ para o caminhão transportador de 29 m³, no tanque de estocagem ou no caminhão transportador;
2. Inundação de ácido nos trocadores de calor e perda do controle do nível de ácido na torre de absorção intermediária;
3. Rompimento nos tubos devido a corrosão pela névoa ácida;
4. Corrosão na boca do flange do trocador de calor da entrada de gases vindos do forno;
5. Corrosão em bombas;
6. Ranhuras de 11 mm no tanque de estocagem a 30°C (espessura do tanque de 12,5 mm para 1,5 mm);
7. Incêndio/ Explosão;

8. Contaminação do ar;
9. Contaminação de efluentes;
10. Contaminação de solo;

Como poderá ser visto, na APR, no Apêndice A, após a classificação dos 42 subcenários nas categorias de frequência e severidade, 19 foram classificados como Moderado (coloração amarela) e 23 subcenários como Não Toleráveis (coloração vermelha). Aplicando-se as medidas mitigadoras e preventivas, retiradas do COBRAS e Mesa Redonda do Chile, obteve-se uma nova classificação, onde dos 19 subcenários Moderados, 16 tornaram-se Toleráveis e 3 mantiveram-se Moderados. Já os 23 subcenários que foram classificados como Não Toleráveis, 22 adquiriram nova classificação como Moderado e 1 foi mantido na classificação Não Tolerável.

A largura da trinca, dos furos e da ruptura do cenário 1 e seus subcenários foram escolhidas adequando-se os dados coletados da Mesa redonda – Chile – Outubro 2018, do X Congresso COBRAS – Guarujá-SP – Outubro 2017 e ABIQUIM, 2015, de forma que pudessem ser aplicadas a planta escolhida e pudessem ser simuladas no software ALOHA gerando dados mais próximos da realidade.

Para o cenário: 1.Vazamento de produto corrosivo ao longo do processo de produção, ou na transferência do tanque de armazenagem de 628 m³ para o caminhão transportador de 29m³, foram associados 12 subcenários, dentre estes, o subcenário 1.3, “Furo de 3mm em tubulação de aço inoxidável de 8cm de diâmetro ou no trocador de calor ou forno ou no tanque de estocagem”, inicialmente foi incluída na APR com um furo de 3mm, porém no momento da simulação não foi obtido um resultado que se esperava. Então, foi alterado para uma medida um tanto quanto absurda de 3 cm com o objetivo de comparar tal diferença ao tamanho do furo. Porém, aplicando-se esta unidade de medida nas simulações apesar de ser uma unidade de medida absurda para um furo, não foram apresentadas subcenários diferentes dos obtidos com menor medida, não obtendo-se grande diferença nos resultados, portanto para as demais unidades de medida para os subcenários associados as causas: Trinca, Ruptura ou Furo manteve-se a unidade milímetros para simular um contexto de acidente mais próximo da realidade.

O cenário 6 que é referente a ranhuras de 11 mm no tanque de estocagem a 30°C, significa que devido aos subcenários descritos diminui-se a espessura da parede do tanque em alguns pontos inicialmente de 12,5 mm para 1,5 mm fragilizando-o. Devido a formação de uma camada superficial de ácido diluído (concentração inferior a 65%), aumento

localizado de temperatura, resíduos de ácido ou sua borra mantidos no equipamento por um longo período de tempo, entrada de água na forma de vapor ou umidade ou erosão pelo hidrogênio (MB Consultores, 2000).

A respeito dos 3 subcenários que mesmo após as medidas mitigadoras e preventivas mantiveram-se na classificação Moderada, duas pertencem ao cenário 7. Incêndio/Explosão, que foram os subcenários 7.1 e 7.2, e um pertence ao cenário 8, subcenário 8.8. Em relação aos subcenários 7.1 e 7.2, que provocam Incêndio/Explosão, inicialmente suas frequências e severidades foram classificadas como Provável e Marginal, e após o cumprimento das recomendações, apesar da frequência ser alterada para Pouco Provável, a severidade permaneceu Marginal, então a nova classificação permaneceu Moderada. Suas causas estavam ligadas a mal funcionamento dos equipamentos, devido ao bloqueio do suspiro e a falha no posicionamento do suspiro do tanque. Este suspiro deve ser colocado na parte superior do tanque de forma que haja uma liberação para o meio ambiente dos gases que ficam presos na parte superior do tanque. Portanto, se há um entupimento desta tubulação ou uma colocação de maneira equivocada poderá gerar um grande estrago como a explosão ou incêndio pelo acúmulo de gases. Já o subcenário 8.8, também mantido na classificação Moderada, que gera a contaminação do ar está associado ao Catalisador desativado ou fora da faixa operacional de temperatura, assim, há um aumento das emissões além do permitido por lei. Este subcenário teve a classificação de frequência como Provável e a severidade como Marginal. Mesmo após as recomendações, apesar de alterada a frequência para Pouco Provável, a severidade foi mantida como Marginal, devido a criticidade do quantitativo na emissão, pois mesmo que diminua-se a frequência, se a emissão estiver fora do permitido as consequências serão as mesmas mas com menor recorrência. Dentre algumas das medidas que podem diminuir esta frequência estão: o controle e ajuste da vazão de gás de entrada, especificação do catalisador para a temperatura de utilização, testes de emissão de gases, implantação de programa de inspeções, manutenção preventiva e corretiva, troca do catalisador em todas as camadas quando necessário e lavagem ou substituição do recheio do reator Catalítico para catalisadores mais modernos que adsorvem a poeira, mas mantém a distribuição do fluxo do gás adequado.

O subcenário 1.12, relacionado ao vazamento de produto, foi o mais crítico por gerar formação de incêndio/explosão, danos à estrutura dos equipamentos e patrimônios, risco de vida, de processo civil/criminal e contaminação do ambiente. Ele se manteve na classificação de risco Não Tolerável, por estar relacionado a vazamento/ derramamento de produto e o seu contato com produtos inflamáveis, água, metais alcalinos, ácido perclórico. O ácido sulfúrico

sozinho não é um produto explosivo, porém é um forte oxidante e muito higroscópico. O ácido reage violentamente com água, bases, cloratos, picratos, nitratos, substâncias inflamáveis e combustíveis podendo causar fogo e explosão, bem como o contato com metais pode gerar gás hidrogênio que é explosivo (THE REAL SOCIETY OF CHEMISTRY, MSDS, 1990). Para este subcenário, a classificação inicial foi da frequência como Frequente e a severidade como Catastrófica, resultando em um risco Não Tolerável. Após a implementação de algumas medidas como: programa de inspeções internas e externa regulares e plano de ação, ações corretivas, determinação de medidas de segurança, treinamento dos funcionários, pode-se ver que a frequência é reduzida para Pouco Provável, mas a severidade continua como Catastrófica, mantendo este subcenário na Classificação de Risco “Não Tolerável”.

Em diversos cenários a implementação das medidas sugeridas diminuem a categoria de risco, com isso vemos a importância de serem tomadas as devidas ações para cada situação, e a importância de uma análise minuciosa dos riscos presentes em cada situação.

O padrão comum da classificação de um cenário acidental seria associar a ele apenas uma causa e uma consequência. No entanto, na elaboração da APR é usual associar para o mesmo cenário acidental mais de uma causa e mais de uma consequência. Fez-se a APR, presente no Apêndice A, de modo que, cada cenário possui mais de uma causa e mais de uma consequência associada.

7. RESULTADOS

Na classificação final do risco, após aplicação das medidas preventivas e mitigadoras, retiradas do COBRAS e Mesa Redonda do Chile foram obtidos 42 subcenários nas categorias “Tolerável”, “Moderada” ou “Não Tolerável”. Após uma análise qualitativa, que por sua vez é influenciada pela experiência e área de estudo do analista responsável. Viu-se que havia uma semelhança de alguns riscos, portanto direcionou-se para a simulação 6 principais subcenários que poderiam ser simulados e que representariam os cenários abrangendo os equipamentos chaves da planta para validar a classificação do risco baseando-se no quadro 5, Matriz de Risco. Destes escolhidos, 1 foi mantido na categoria “Não Tolerável” e os outros 5 que tiveram suas classificações alteradas da categoria “Não Tolerável” para a categoria “Moderada”, enumerados abaixo:

- 1 – Vazamento de produto corrosivo por furo de 3 mm em tubulação de aço inoxidável de 8 cm de diâmetro (subcenário 1.3)
- 2 – Vazamento de produto corrosivo por furo de 3 em tanque de estocagem (subcenário 1.3)
- 3 – Vazamento de produto corrosivo por furo de 3 mm em tanque do caminhão transportador (subcenário 1.8)
- 4 – Incêndio/Explosão devido a derramamento do produto e contato com produtos inflamáveis, água, metais alcalinos, ácido perclórico (subcenário 1.12)
- 5 – Liberação de gases (SO_2 ou SO_3) pela chaminé gerando contaminação do ar (subcenário 8.1)
- 6 – Descarte indevido de produto líquido (H_2SO_4) contaminando o solo (subcenário 9.1)

7.1. Simulação no software ALOHA

Para simulação no programa ALOHA, foram escolhidos alguns dos subcenários que mesmo após as Medidas Preventivas e Mitigadoras ainda se mantiveram como risco Moderado ou Não-Tolerável, assim, foi necessário simular tais problemas para visualização gráfica do seu impacto, entender melhor os riscos associados e validar a classificação do risco feita na APR.

Após procura na biblioteca de produtos químicos não foi encontrado o material de estudo em questão, o ácido sulfúrico, então para conseguir utilizá-lo na simulação foi necessário

buscar na literatura os dados químicos deste produto. Os dados utilizados estão listados no Quadro 8.

Quadro 8: Propriedades Físico-químicas do Ácido Sulfúrico 98%.
Propriedades Físico-químicas do Ácido Sulfúrico 98%

Peso Molecular	98g/mol
AEGL-1	0,2 mg/m ³
AEGL-2	8,7 mg/m ³
AEGL-3	160 mg/m ³
Ponto de Ebulição	563,15K
Pressão Crítica	64000000 Pa
Temperatura Crítica	924K
Densidade do gás	1,835Kg/ m ³ a 293,15K e 101325Pa
ERPG-1	2 mg/m ³
ERPG-2	10 mg/m ³
ERPG-3	120 mg/m ³
Ponto de congelamento	273K (este dado foi suposto)
Capacidade de aquecimento (gás)	1518,2J/Kg K a 2280K e 101325Pa
Capacidade de aquecimento (líquido)	846,96/Kg K a 298K e 101325Pa
IDLH	15 mg/m ³
PAC-1	0,2 mg/m ³
PAC-2	8,7 mg/m ³
PAC-3	160 mg/m ³
Pressão de Vapor	2,18x10 ⁻⁴ a 293,15K

Fonte: (LOUIE 2005) (SMITH, VAN NESS, ABBOTT, 2009).

Como já dito anteriormente, além dos dados do produto químico é necessário informar a localização da Planta que será utilizada, para tal foram escolhidas as coordenadas: Latitude: 23,48, Longitude: 46,45 e Elevação: 730m, Localização hemisfério Sul e Leste. As informações atmosféricas foram retiradas de um site climático no momento da simulação e as características de cada cenário foi aplicado no momento da montagem de cada simulação. Foram selecionados 6 subcenários, dos quais foram obtidos diferentes resultados que serão apresentados a seguir.

- Simulação 1: Vazamento de produto corrosivo ao longo do processo de produção devido a um furo de 3 mm em tubulação de aço inoxidável de 8cm de diâmetro (Subcenário 1.3)

O subcenário 1.3 teve inicialmente a classificação de frequência como Provável e a severidade como Crítica resultando em uma classificação de risco Não-Tolerável. Após as

medidas preventivas e mitigadoras, a frequência tornou-se Pouco Provável e a severidade apesar de ter sido mantida como Crítica, a classificação de risco teve uma nova classificação sendo alterada para Moderada. Como trata-se de uma tubulação, a primeira tentativa de simulação foi a opção “Gas Pipeline Input”, o sistema permite preencher todos os dados: diâmetro, comprimento, pressão e temperatura da tubulação, porém quando pede-se para simular aparece um erro informando que devida a temperatura e pressão escolhidas não pode ser feita a simulação para este produto químico escolhido, pois o mesmo estará em estado líquido e não gasoso nas condições do processo. O erro descreve que nesta opção do software não é possível simular vazamento de líquido em tubulação e sugere-se utilizar as opções: tanque ou fonte direta, como pode ser visto na Figura 10.

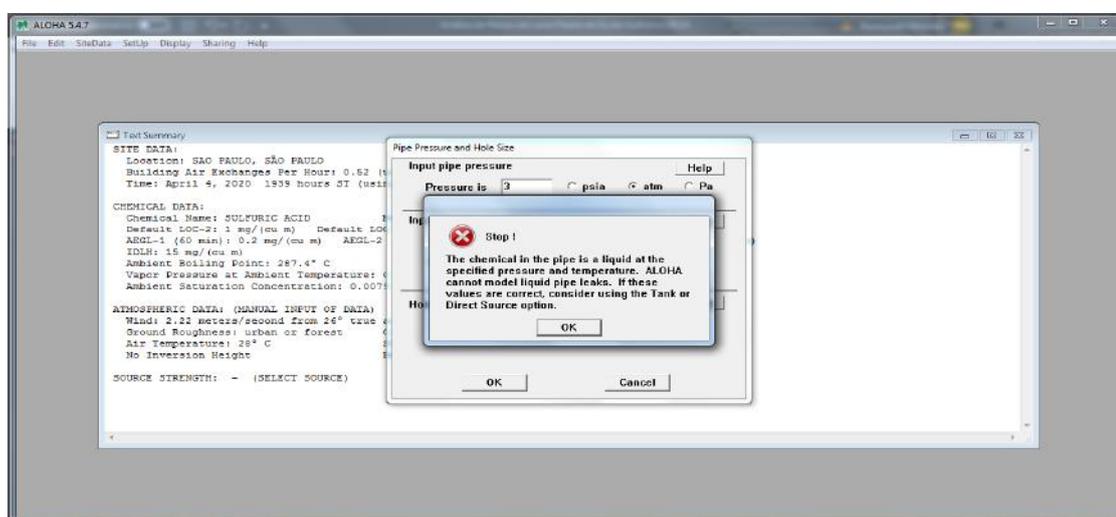


Figura 10: Erro do software ALOHA na simulação de líquido na tubulação.
Fonte: Adaptado do Software ALOHA, elaboração própria

Mesmo supondo-se que o ácido sulfúrico evapore no forno, este não chegaria na forma de vapor na tubulação, já que logo após a etapa do forno temos uma caldeira que diminui significativamente a temperatura e induziria a mudança de estado físico, voltando ao estado líquido. Portanto, buscou-se utilizar das opções sugeridas pelo software para simular o subcenário e visualizar a criticidade de tal situação.

Utilizando-se a opção Tank, foi selecionada a orientação horizontal que seria a posição da tubulação e colocado o diâmetro do tubo, porém o programa apresentou um erro, informando que o tamanho do diâmetro mínimo que poderia ser utilizado é de 0,2 m, ou seja, 20 cm, como esta não é a medida mínima da tubulação presente na planta escolhida então descartou-se esta opção de simulação e tentou-se a outra opção sugerida pelo software, a “fonte direta”. Supôs-se o vazamento de 20% do quantitativo produzido por hora após a absorção intermediária, com isso têm-se um quantitativo de 15,35 m³/hora de produto

vazando pelo furo de 3 mm na tubulação de 8 cm de diâmetro de forma contínua por um período de 60 minutos, que está a 30 cm de distância do chão, visto que esta tubulação se localiza na parte de baixo do equipamento selecionado. Abaixo no quadro 9 seguem as informações que foram preenchidas para esta simulação.

Quadro 9: Dados inseridos na simulação 1.

Set up → Source → Direct	
Source Strength units of volume	Cubic meters
Type of source	Continuous source
Amount of pollutant	15,34 m ³ /hora
Time	60 minutes
Source Height	0,3 meters
Chemical Storage	Liquid
Temperature Storage	28 °C

Fonte: Adaptado do Software ALOHA, elaboração própria

Ao simular, o programa exibiu uma nota de que a opção “Fonte direta” se aplica apenas aos gases liberados diretamente na atmosfera. E que inserindo-se uma temperatura de armazenamento de líquido, o ALOHA calculará o volume de gás a partir do volume de líquido inserido (assumindo que o líquido se vaporiza instantaneamente). Como o produto em estudo é líquido e o quantitativo ao se vaporizar para o meio ambiente não é significativo, apesar de ser obtido um resultado com figura de zona afetada, esta opção não é pertinente a este subcenário. Abaixo no quadro 10 seguem os resultados obtidos, na seção “*Threat Zone*” pode-se ver que o modelo utilizado é de gás pesado pois o software considera que o líquido vai se vaporizar instantaneamente, porém por ser pesado se mantém perto do solo.

SITE DATA:

Location: SAO PAULO, SÃO PAULO

Building Air Exchanges Per Hour: 0.52 (unsheltered single storied)

Time: April 5, 2020 0040 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: SULFURIC ACID Molecular Weight: 98.00 g/mol

Default LOC-2: 1 mg/(cu m) Default LOC-3: 3 mg/(cu m)

AEGL-1 (60 min): 0.2 mg/(cu m) AEGL-2 (60 min): 8.7 mg/(cu m) AEGL-3 (60 min): 160 mg/(cu m)

IDLH: 15 mg/(cu m)

Ambient Boiling Point: 287.4° C

Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0 atm

Ambient Saturation Concentration: 0.0079 ppm or 7.88e-007%

Total Amount Released: 201,410 kilograms

THREAT ZONE:

Model Run: Heavy Gas

Red: 5.8 kilometers --- (120 mg/(cu m) = ERPG-3)

Orange: greater than 10 kilometers --- (10 mg/(cu m) = ERPG-2)

Yellow: greater than 10 kilometers --- (2 mg/(cu m) = ERPG-1)

Fonte: Adaptado do Software ALOHA, elaboração própria

Desse modo, tal cenário seria o de maior criticidade encontrada por atingir em torno de 10 km de extensão. No entanto, dificilmente tal cenário existirá em uma fábrica de produção de ácido sulfúrico. Pois, o ácido efluente da torre de absorção intermediária permanece no estado líquido até mesmo após o vazamento em razão da sua alta temperatura de ebulição ($T_e = 335^\circ\text{C}$), impossibilitando a simulação pela opção “Fonte direta”, que foi empregada de maneira a se tentar adequar o subcenários a uma opção disponível no software. Portanto, não é possível simular tal subcenário neste software. Já que o ALOHA não simula vazamento de líquido em tubulação, apenas para gás e a opção “Fonte direta” somente para o caso do produto evaporar instantaneamente. Assim, o resultado obtido de 10km de extensão não condiz com o real, pois o software assume que o líquido vai evaporar completamente e sérum gás pesado, porém tal resultado não condiz com a realidade, dadas as suas propriedades físico-químicas do produto.

- Simulação 2: Vazamento de produto corrosivo por furo de 3 mm em tanque de estocagem (subcenário 1.3).

Nesta simulação é empregado o mesmo subcenário da simulação 1, porém é aplicada em um equipamento distinto. Portanto, tem a mesma classificação de frequência e severidade, e a classificação de risco após as medidas preventivas e mitigadoras alterada para Moderada. Para este equipamento, utilizou-se a opção *tank* na simulação e foi selecionado um tanque de estocagem na posição vertical por ser o formato mais comum de tanque de estocagem, por ocupar menos espaço horizontalmente. Foram preenchidas as medidas: Diâmetro =10 m e Altura= 8 m, resultando no volume de 628,319 Litros. Considerou-se para o cálculo que o tanque continha 70% de líquido, ou seja, 439,823 Litros de ácido sulfúrico e que havia um furo de 3 mm a 4 m do fundo do tanque, estando na temperatura ambiente pois o mesmo se encontra no tanque de estocagem que é mantido a esta temperatura, e o tipo de solo escolhido foi o “*default soil*”. Abaixo no quadro 11 segue um resumo dos dados preenchidos e no quadro 12 e 13 os resultados obtidos após a simulação.

Quadro 11: Dados inseridos na simulação 2

Set up → Source → Tank	
Tipo do Tanque e Orientação	Cilindro Vertical
Diâmetro	10 metros
Altura	8 metros
Volume	628,319 Litros
Estado do produto químico	Líquido
Temperatura do tanque	28 °C
Volume de Líquido dentro do tanque	439,82 Litros = 70% do tanque
Tipo do furo por onde está vazando	Abertura Circular
Diâmetro da abertura	3 mm = 0,3 cm
Local do Vazamento	Buraco
Altura do buraco do fundo do tanque	4 m
Tipo de solo	Solo padrão
Temperatura do solo	Desconhecido
Diâmetro ou área máxima da poça	Desconhecido

Quadro 12: Resultados obtidos na simulação 2.

SITE DATA:

Location: SAO PAULO, SÃO PAULO
Building Air Exchanges Per Hour: 0.52 (unsheltered single storied)
Time: April 5, 2020 0040 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: SULFURIC ACID Molecular Weight: 98.00 g/mol
Default LOC-2: 1 mg/(cu m) Default LOC-3: 3 mg/(cu m)
AEGL-1 (60 min): 0.2 mg/(cu m) AEGL-2 (60 min): 8.7 mg/(cu m) AEGL-3 (60 min): 160 mg/(cu m)
IDLH: 15 mg/(cu m)
Ambient Boiling Point: 287.4° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0 atm
Ambient Saturation Concentration: 0.0079 ppm or 7.88e-007%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 2.22 meters/second from 26° true at 3 meters
Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 5 tenths
Air Temperature: 28° C Stability Class: E
No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in vertical cylindrical tank
Non-flammable chemical is escaping from tank
Tank Diameter: 10 meters Tank Length: 8 meters
Tank Volume: 628,319 liters
Tank contains liquid Internal Temperature: 28° C
Chemical Mass in Tank: 6,366 tons Tank is 70% full
Circular Opening Diameter: 0.3 centimeters
Opening is 4 meters from tank bottom
Ground Type: Default soil
Ground Temperature: equal to ambient
Max Puddle Diameter: Unknown
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
Max Average Sustained Release Rate: 9.58e-05 grams/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 0.0033 grams
Note: The chemical escaped as a liquid and formed an evaporating puddle.
The puddle spread to a diameter of 4.1 meters.

Fonte: Adaptado do Software ALOHA, elaboração própria

Quadro 13: Continuação resultados obtidos na simulação 2.

THREAT ZONE:

Model Run: Gaussian

Red: less than 10 meters (10.9 yards) --- (160 mg/(cu m) = AEGL-3 [60 min])

Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness make dispersion predictions less reliable for short distances.

Orange: less than 10 meters (10.9 yards) --- (8.7 mg/(cu m) = AEGL-2 [60 min])

Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness make dispersion predictions less reliable for short distances.

Yellow: less than 10 meters (10.9 yards) --- (0.2 mg/(cu m) = AEGL-1 [60 min])

Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness make dispersion predictions less reliable for short distances.

Fonte: Adaptado do Software ALOHA, elaboração própria

Utilizando-se os AEGL's como parâmetros dos níveis estabelecidos de concentração química, os resultados obtidos após a simulação podem ser vistos na parte "Threat Zone", que significa "zona de ameaça", ou zona ameaçada por esta causa. Este resultado mostra que neste subcenário a zona afetada seria menor do que 10 metros. Em função disso, o software não consegue gerar gráfico mostrando os efeitos que poderiam ser ocorridos. Isso nos mostra que apesar deste subcenário ter tido uma classificação de risco Moderada, as medidas preventivas e mitigadoras auxiliaram para não ocorrer contaminação na região externa a fábrica. E que a classificação da severidade deste subcenário pode ter sido superestimada, ou seja, com alguma outra medida de contenção e uma rápida resposta ao problema quando ocorrido pode-se contornar e sanar o problema com mais facilidade do que se avaliou na APR. Pois, na Matriz de Risco a classificação de uma severidade crítica considera consequências leves nos extramuros, o que não ocorre neste caso, já que para uma zona afetada menor que 10 m, as consequências atingiriam somente o terreno da fábrica. Logo, a severidade mais adequada seria a Marginal, pois não considera lesões nos extramuros e a classificação da frequência seria mantida Pouco Provável. No entanto, mesmo alterando a severidade após as medidas preventivas e mitigadoras de Crítica para Marginal, a classificação de risco será Moderada, o que mostra que as medidas adotadas poderão diminuir a severidade mas não a frequência.

- Simulação 3: Vazamento de produto corrosivo por furo de 3 mm no tanque do caminhão transportador de 29 m³ (subcenário 1.8).

No momento da avaliação deste subcenário, como nos anteriores, foi feita uma comparação e análise utilizando-se a matriz de risco do Quadro 5. Assim, para a frequência esperava-se que este tipo de problema deve ocorrer mais de 1 (uma) vez durante a vida útil da instalação, no período entre 1 por ano a 1 em 30 anos, ou seja, este problema tem uma chance muito grande de ocorrer se não tiver manutenção adequada, visto que transporta um produto altamente corrosivo. Por isso, mesmo após as medidas preventivas e mitigadoras este subcenário manteve-se na frequência Provável.

Já na severidade, inicialmente a classificação foi dada como Crítica, pois poderia gerar lesões de gravidade moderada em pessoas intramuros e extramuros devida a mobilidade do caminhão, porém após as medidas preventivas e mitigadoras houve uma diminuição na severidade passando-se para Marginal, podendo gerar lesões leves em empregados e terceiros e ausência de lesões extramuros pois entende-se que as medidas tomadas como: a implantação de programas de inspeções, manutenção preventiva e corretiva, a criação de checklist no carregamento e descarregamento e o treinamento adequado dos operadores e reciclagem dos que já possuem treinamento ajudarão a não deixar o caminhão sair da empresa com um problema de vazamento de produto corrosivo devido a um furo no tanque do caminhão. Assim, o problema seria encontrado e poderia ser remediado ainda dentro da empresa. Com isso, a classificação de risco que inicialmente estava como Não Tolerável, passou para Moderada, sendo escolhida para ser feita a simulação de forma a se comparar com o vazamento no tanque de armazenamento do subcenário 1.3.

Para a simulação deste subcenário utilizou-se a opção tank, com o tanque do caminhão transportador na posição horizontal, visto que este posicionamento é o mais comum para o transporte, e com as medidas: Diâmetro= 2 m e Comprimento= 6 m, resulta no volume de 19.000 Litros. Considerou-se para o cálculo que o tanque continha 90% de líquido, ou seja, 17.100 Litros de ácido Sulfúrico e que havia um furo de 3 mm a 0,5 m do fundo do tanque, na temperatura ambiente pois o mesmo quando vai para o tanque do caminhão sai do tanque de estocagem que é mantido a temperatura ambiente, como o caminhão pode estar em diferentes tipos de solo, foi escolhido a opção “default soil” como tipo de solo e como desconhecida a temperatura do solo e o diâmetro máximo da poça. No Quadro 14, segue um resumo das informações preenchidas nesta simulação.

Quadro 14: Dados inseridos na simulação 3.

Set up → Source → Tank	
Tipo do Tanque e Orientação	Cilindro Horizontal
Diâmetro	2 metros

Comprimento	6,05 metros
Volume	19.000 Litros
Estado do produto químico	Líquido
Temperatura do tanque	28 °C
Volume de Líquido dentro do tanque	17.100 Litros = 90% do tanque
Tipo do furo por onde está vazando	Abertura Circular
Diâmetro da abertura	3 mm = 0,3cm
Local do Vazamento	Buraco
Altura do buraco do fundo do tanque	0,5m
Tipo de solo	Solo padrão
Temperatura do solo	Desconhecido
Diâmetro ou área máxima da poça	Desconhecido

Fonte: Adaptado do Software ALOHA, elaboração própria

Após a simulação foram obtidas as informações do Quadro 15, onde pode-se observar o mesmo resultado da simulação 2, onde a maior distância obtida com o vazamento foi de 10 metros não atingindo uma zona fora da área industrial, impossibilitando um desenho da zona afetada. Portanto, comparando-se a simulação 3 com a classificação do risco após a aplicação das medidas sugeridas confirmamos que haverá uma diminuição da severidade e não haverá lesão extramuros. Por curiosidade, como para este tamanho de furo não foi possível simular uma zona afetada com gráfico, apesar de absurda, optou-se por fazer uma simulação utilizando-se os mesmos dados já citados, porém com o diâmetro do furo maior, sendo 3 cm e 5 cm. Os resultados encontram-se nos Quadros 16 e 17 para a simulação de 3 cm e no Quadro 18 para a simulação de 5 cm. Para estas 2 simulações também não foram obtidos desenhos da zona afetada, atingiu-se a distância do vazamento respectivamente, 20 metros e 33 metros, mostrando mais uma vez que apesar de ser um produto altamente corrosivo, tomando-se as medidas preventivas e mitigadoras de forma correta o problema pode ser rapidamente contornado.

Quadro 15: Resultados obtidos na simulação 3.

SITE DATA:

Location: SAO PAULO, SÃO PAULO

Building Air Exchanges Per Hour: 0.52 (unsheltered single storied)

Time: April 21, 2020 2302 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: SULFURIC ACID Molecular Weight: 98.00 g/mol

Default LOC-2: 1 mg/(cu m) Default LOC-3: 3 mg/(cu m)

AEGL-1 (60 min): 0.2 mg/(cu m) AEGL-2 (60 min): 8.7 mg/(cu m) AEGL-3 (60 min): 160 mg/(cu m)

IDLH: 15 mg/(cu m)

Ambient Boiling Point: 287.4° C

Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0 atm

Ambient Saturation Concentration: 0.0079 ppm or 7.88e-007%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 2.22 meters/second from 26° true at 3 meters

Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 5 tenths

Air Temperature: 28° C Stability Class: E

No Inversion Height Relative Humidity: 50%

Fonte: Adaptado do Software ALOHA, elaboração própria

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank

Non-flammable chemical is escaping from tank

Tank Diameter: 2 meters Tank Length: 6.05 meters

Tank Volume: 19000 liters

Tank contains liquid Internal Temperature: 28° C

Chemical Mass in Tank: 247 tons Tank is 90% full

Circular Opening Diameter: 0.3 centimeters

Opening is 0.5 meters from tank bottom

Ground Type: Default soil

Ground Temperature: equal to ambient

Max Puddle Diameter: Unknown

Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour

Max Average Sustained Release Rate: 7.06e-05 grams/min

(averaged over a minute or more)

Total Amount Released: 0.0024 grams

Note: The chemical escaped as a liquid and formed an evaporating puddle.

The puddle spread to a diameter of 3.4 meters.

THREAT ZONE:

Model Run: Gaussian

Red: less than 10 meters (10.9 yards) --- (160 mg/(cu m) = AEGL-3 [60 min])

Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
make dispersion predictions less reliable for short distances.

Orange: less than 10 meters (10.9 yards) --- (8.7 mg/(cu m) = AEGL-2 [60 min])

Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
make dispersion predictions less reliable for short distances.

Yellow: less than 10 meters (10.9 yards) --- (0.2 mg/(cu m) = AEGL-1 [60 min])

Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
make dispersion predictions less reliable for short distances.

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank
Non-flammable chemical is escaping from tank
Tank Diameter: 2 meters Tank Length: 6.05 meters
Tank Volume: 19000 liters
Tank contains liquid Internal Temperature: 28° C
Chemical Mass in Tank: 247 tons Tank is 90% full
Circular Opening Diameter: 3 centimeters
Opening is 0.5 meters from tank bottom
Ground Type: Default soil
Ground Temperature: equal to ambient
Max Puddle Diameter: Unknown
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
Max Average Sustained Release Rate: 0.00444 grams/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 0.16 grams
Note: The chemical escaped as a liquid and formed an evaporating puddle.
The puddle spread to a diameter of 30 meters.

THREAT ZONE:

Model Run: Gaussian
Red: 15 meters --- (160 mg/(cu m) = AEGL-3 [60 min])
Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
make dispersion predictions less reliable for short distances.
Orange: 15 meters --- (8.7 mg/(cu m) = AEGL-2 [60 min])
Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
make dispersion predictions less reliable for short distances.
Yellow: 15 meters --- (0.2 mg/(cu m) = AEGL-1 [60 min])
Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
make dispersion predictions less reliable for short distances.

Fonte: Adaptado do Software ALOHA, elaboração própria

Quadro 18: Simulação 3 com um furo de 5 cm.

SOURCE STRENGTH:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank

Non-flammable chemical is escaping from tank

Tank Diameter: 2 meters Tank Length: 6.05 meters

Tank Volume: 19000 liters

Tank contains liquid Internal Temperature: 28° C

Chemical Mass in Tank: 247 tons Tank is 90% full

Circular Opening Diameter: 5 centimeters

Opening is 0.5 meters from tank bottom

Ground Type: Default soil

Ground Temperature: equal to ambient

Max Puddle Diameter: Unknown

Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour

Max Average Sustained Release Rate: 0.00693 grams/min

(averaged over a minute or more)

Total Amount Released: 0.30 grams

Note: The chemical escaped as a liquid and formed an evaporating puddle.

The puddle spread to a diameter of 37 meters.

THREAT ZONE:

Model Run: Gaussian

Red: 19 meters --- (160 mg/(cu m) = AEGL-3 [60 min])

Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
make dispersion predictions less reliable for short distances.

Orange: 19 meters --- (8.7 mg/(cu m) = AEGL-2 [60 min])

Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
make dispersion predictions less reliable for short distances.

Yellow: 18 meters --- (0.2 mg/(cu m) = AEGL-1 [60 min])

Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
make dispersion predictions less reliable for short distances.

Fonte: Adaptado do Software ALOHA, elaboração própria

- Simulação 4: derramamento do produto e contato com produtos inflamáveis, água, metais alcalinos, ácido perclórico (subcenário 1.12)

O cenário mais crítico na APR foi o de derramamento de produto e contato com reagentes inflamáveis, água, metais alcalinos e ácido perclórico, por apresentar consequências drásticas como explosão e perda de equipamentos. Por esta razão, a classificação de risco “Não Tolerável” foi mantida mesmo após as medidas preventivas e mitigadoras.

Inicialmente, a classificação da frequência deste subcenário foi Frequente, pois sem medidas para evitar o problema, é esperado que ele ocorra muitas vezes durante a vida útil da instalação. E a severidade foi classificada como Catastrófica, pois o incêndio ou explosão quando ocorre provavelmente provocará morte ou lesões graves em uma ou mais pessoas intra ou extramuros e danos irreparáveis a equipamentos ou instalações (reparação lenta ou impossível). Portanto, foi importante pensar em medidas preventivas e mitigadoras que diminuíssem drasticamente a frequência que poderia ocorrer este cenário, visto que a severidade será de alto impacto de qualquer forma, dado o cenário acidental.

Assim, com a implementação das medidas sugeridas como: implantar programa de inspeções internas e externa regulares e plano de ação, implantar ações corretivas necessárias, determinar medidas de segurança, treinar os funcionários e fazer reciclagem do treinamentos, selecionar materiais de construção apropriados para cada serviço e criar checklist para cada procedimento espera-se que a frequência seja diminuída para Pouco Provável, ou seja, que sua ocorrência seja de apenas 1 vez durante a vida útil da instalação. Estas medidas trazem mais segurança para a instalação da indústria e mostram a importância de serem aplicadas. É importante também lembrar que o Ácido Sulfúrico não é considerado inflamável, porém o seu contato com água ou alguns produtos químicos pode ser explosivo e gerar incêndio, daí a importância deste possível cenário.

Para esta simulação pensou-se na utilização da opção “*puddle*”, ou seja, a formação de uma poça como fonte sugerindo-se como se tivesse ocorrido um derramamento e este produto entrasse em contato com água ou algum produto químico não compatível, mas o software não consegue simular misturas, apenas produtos puros. Portanto não foi possível dar continuidade nesta simulação. O resultado que poderia ser encontrado com esta opção de simulação seria a área afetada, ou seja, a distância que o líquido derramado iria afetar, porém isso será apresentado na simulação 6, sobre descarte indevido de produto, em que é necessário entender a distância que o produto irá atingir se for descartado de forma incorreta e não é este o resultado que estava sendo esperado para a simulação 4. Logo, não foi viável obter o risco real deste subcenário, já que não foi possível realizar a simulação neste software.

- Simulação 5: Liberação de excesso de (SO_2 e SO_3) na chaminé (subcenário 8.1).

Na análise deste subcenário, a frequência obtida, em um primeiro momento, a categoria Frequente pois sem medidas preventivas, de processo e de contenção é esperado ocorrer a liberação desses gases muitas vezes durante a vida útil da instalação, principalmente em países que não possuem uma legislação ambiental/fiscalização rigorosa. O CONAMA 436/06 estabelece o limite máximo de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Tais limites são fixados por poluente e por tipologia da fonte. A emissão de poluentes como SO_2 e SO_3 para uma unidade de produção de ácido sulfúrico de dupla absorção, têm limites estabelecidos por lei de 2kg/tonelada e 0,15kg/tonelada, respectivamente, com H_2SO_4 a 100%. O gás SO_2 é o principal poluente emitido em uma planta pelo processo de contato e provém de uma conversão incompleta de SO_2 a SO_3 , durante a catálise, devido ao rendimento da planta não apresentar 100% de eficiência. Em seguida, a emissão de SO_3 ocorre devido a absorção incompleta pelo ácido sulfúrico de todo o produto da catálise.

Em relação a severidade, foi classificada inicialmente como Catastrófica, pois, considerou-se que a emissão de SO_2 estaria acima dos níveis máximos permitidos pela legislação. Posteriormente, aplicando-se medidas como manutenção preventiva, corretiva e programa de inspeção, a frequência decaiu para Pouco Provável, sendo sua possibilidade de ocorrência de até uma vez durante a vida útil da instalação. Do mesmo modo, a severidade também teve um decréscimo, passando a ser classificada como Marginal, por ter sido considerado que geraria danos ambientais toleráveis entre o nível mínimo e médio. Logo, a aplicação das recomendações foi de forma eficaz, diminuindo a categoria do risco de Não Tolerável para Moderada.

Aplicando-se na simulação, o tipo de fonte mais adequada seria a “Fonte Direta”, por se tratar de uma liberação de produto químico gasoso diretamente na atmosfera. Portanto, para a utilização deste tipo de fonte, foi necessário estimar a taxa de SO_2 liberado no meio ambiente.

Nas plantas de simples absorção a taxa de emissão de poluentes é em torno de 2%, já nas plantas de dupla absorção, tal taxa cai para 0,03% (MB CONSULTORES,1999). Para ser feita a simulação, foi necessário considerar apenas o SO_2 como gás residual na chaminé, em razão do software não fazer simulação com misturas. Inicialmente, selecionou-se a substância dióxido de enxofre na aba “chemical”, nas mesmas condições atmosféricas das simulações anteriores. Em seguida, para saber qual a taxa de SO_2 , estimou-se pela capacidade produtiva multiplicada pelo percentual de gás liberado na Chaminé, ou seja, (280.000 toneladas/ano)*0,03%. Foi considerado o funcionamento diário da fábrica durante 10h/dia, sendo obtidos 23,01 Kg/h de SO_2 . Supos-se que esta taxa foi liberada de forma contínua. No

Quadro 19 segue um resumo das informações preenchidas e no Quadro 20 os resultados obtidos nesta simulação.

Quadro 19: Dados inseridos na simulação 5

Set up → Source → Direct	
Source Strength units of mass	Kilograms
Type of source	Continuous source
Amount of pollutant	23,01 Kilograms/hr
Time	60 minutes
Source Height	10 meters

Fonte: Adaptado do Software ALOHA, elaboração própria

Ao simular, no programa apareceu um alerta informando que quando a fonte de origem tem altura maior que zero o software considera como uma dispersão Gaussiana. Já no caso de gás pesado, o programa considera nula a altura da fonte de origem. O software ALOHA considera o dióxido de enxofre como um gás pesado nesta simulação. Além disso, o programa informou um alerta de que o produto químico em questão poderia evaporar facilmente e formar um fluxo bifásico.

Os AEGLS estimam as concentrações para exposição a dado produto químico que podem causar danos a população ao longo do tempo. São os níveis-padrão de exposição aguda, expressados em partes por milhão (ppm) ou em miligrama por metro cúbico (mg/m³).

Todas as três camadas (AEGL-1, AEGL-2 e AEGL-3) são desenvolvidas para cinco períodos de exposição: 10 minutos, 30 minutos, 60 minutos, 4 horas e 8 horas. Os AEGLS no ALOHA são todos valores para 60 min de exposição.

A seguir estão suas definições para exposição ao dióxido de enxofre:

AEGL-3 é 30 ppm para o dióxido de enxofre, quando a população é exposta acima desta concentração pode ter problemas de saúde com risco de morte.

AEGL-2 é de 0,75 ppm para o dióxido de enxofre, quando a população é exposta acima desta concentração pode causar efeitos graves e irreversíveis na saúde.

AEGL-1 é de 0,2 ppm para o dióxido de enxofre, quando a população é exposta cima desta concentração pode causar desconforto, irritação ou ter efeitos assintomáticos.

Em relação a toxicologia, a classificação de acordo com o regulamento (CE) N°1272/2008 nos mostra que este gás tem uma toxicidade aguda, contém risco de explosão sob ação do calor, é tóxico por inalação, podendo provocar queimaduras na pele e lesões oculares graves.

Na “Threat Zone”, que quer dizer “zona de ameaça”, foram apresentando os seguintes resultados da simulação considerando o dióxido de enxofre como um gás pesado:

a zona “Red”, alcança uma distância de até 74 m, a zona “Orange” alcança até 558 m e a zona “Yellow” atinge até 1.100 m.

A partir do resultado gráfico no ALOHA, foi possível plotar o resultado no MARPLOT. A zona “Red” foi obtido um perímetro de 1,13 km e a área de 0,018 km². Já a zona “Orange”, teve um perímetro de 2,27 km e 0,066 km². Por último, a zona “Yellow” teve um perímetro de 2,91 km e área de 0,428 km². Este resultado apresentou que, observando-se o perímetro por zona, que neste subcenário ocorre uma contaminação na área exterior a fábrica. Podendo atingir a 1,13 km para a área de maior risco, possibilitando a ocorrência de mortes, atinge 2,27 km de perímetro na zona intermediária, causando efeitos graves e irreversíveis na saúde e alcança o perímetro de 2,91 km causando desconforto e irritação para a população.

No entanto, a ferramenta não possibilita a observação do número de pessoas e de residências nas redondezas para o Brasil. Pois, tal recurso está disponível somente para cenários simulados em território norte americano. Portanto, em razão da localização da fábrica encontrar-se em meio urbano, os riscos gerados pela nuvem tóxica atingem diretamente a população no entorno. Tal cenário foi baseado sem nenhuma contenção, nem tratamento o que mostra a necessidade e importância da aplicação das recomendações. Por saber que tal cenário poderia causar graves consequências como poluição, explosão, risco de processo civil/criminal ou até mesmo risco de morte da população do entorno, deve-se estabelecer um plano de emergência de forma a se conter esta liberação o quanto antes.

Em relação a avaliação de risco da APR, nota-se que o resultado atingido pelo software sem considerar a aplicação de medidas de prevenção, concorda com a APR na classificação Não Tolerável, em um primeiro momento já que a severidade catastrófica provoca morte ou lesões graves em uma ou mais pessoas intra ou extramuros, e a zona “Red” atinge até 74 m, logo poderia causar morte no exterior a fábrica. No entanto, com um programa de contenção e manutenção preventiva pode-se sanar tal situação, para que a chaminé não libere SO₂ de forma contínua e nessas concentrações. Assim, a severidade passaria a ter a classificação como Crítica por não atingir os extramuros e a classificação de risco final decresceria para Moderada.

A Figura 11 exhibe uma estimativa da nuvem formada em um cenário acidental, nela é possível visualizar a área atingida. As cores na figura representam a concentração do agente químico em cada ponto, tendo como referência o indicador de toxicologia de emergência AEGL.

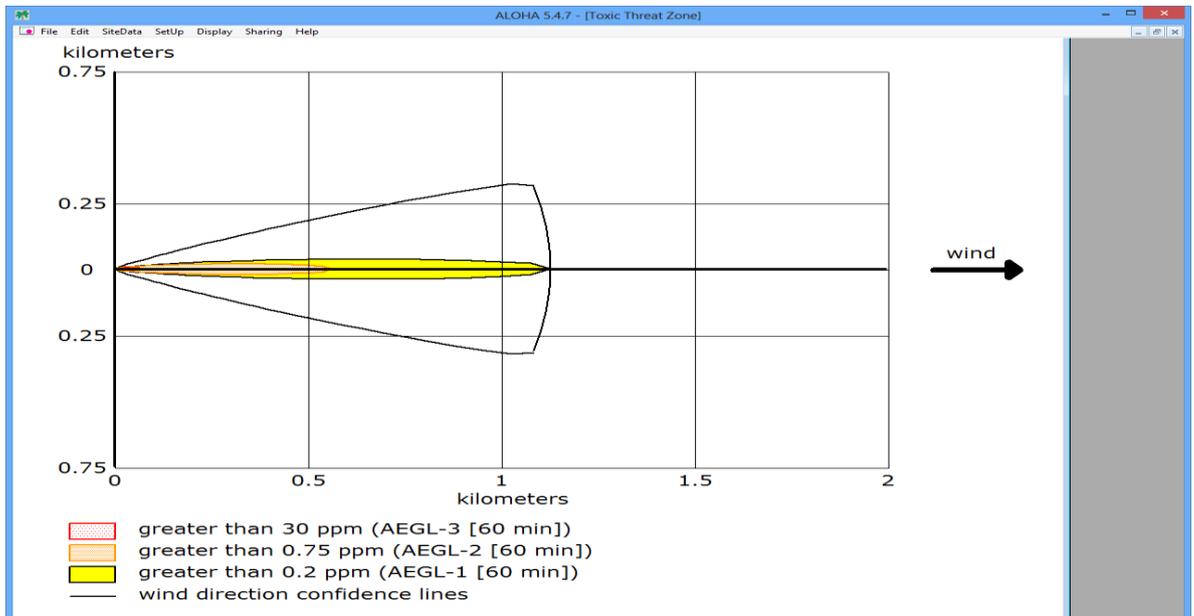


Figura 11: Representação da nuvem formada a partir da dispersão atmosférica resultante do subcenário 8.1 contaminação do ar por SO_2 .
Fonte: Adaptado do Software ALOHA, elaboração própria

Na Figura 12, para complementar o cenário desenvolvido no ALOHA, utilizou-se o MARPLOT para representar a saída gráfica gerada pelo ALOHA sobre o mapa da região afetada, como já descrito anteriormente.

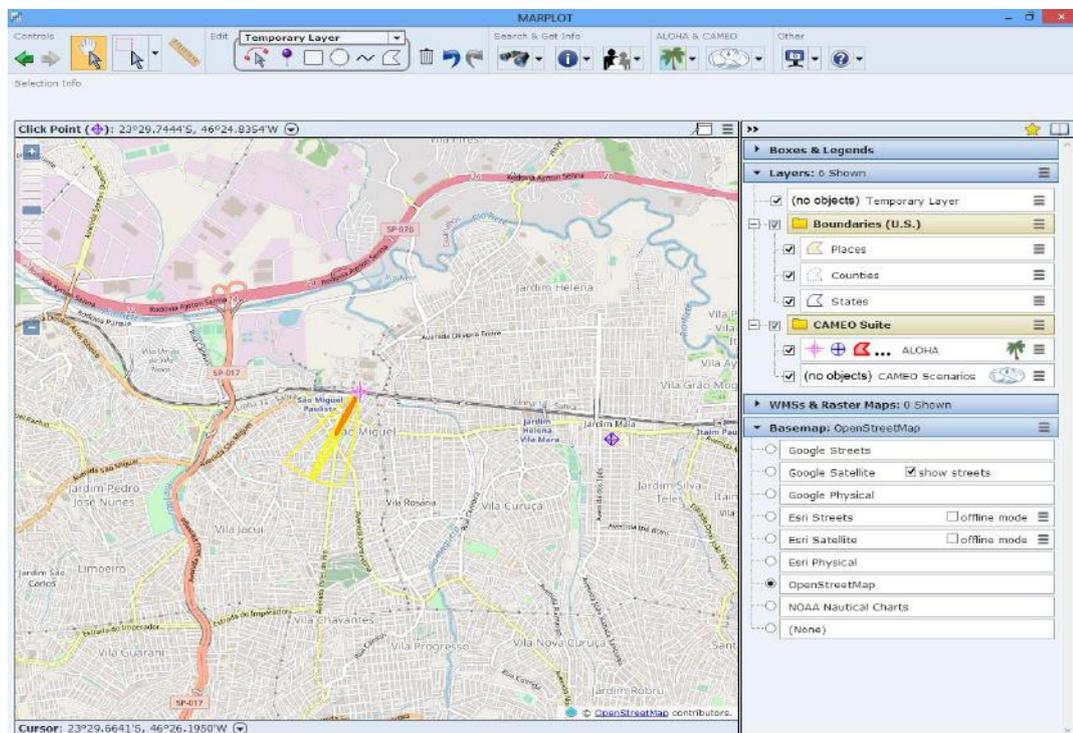


Figura 102: Nuvem formada sobre o mapa da região afetada.
Fonte: Adaptado do Software ALOHA, elaboração própria

SITE DATA:

Location: SAO PAULO, BRASIL

Building Air Exchanges Per Hour: 0.52 (unsheltered single storied)

Time: April 15, 2020 1601 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: SULFUR DIOXIDE

CAS Number: 7446-9-5 Molecular Weight: 64.06 g/mol

AEGL-1 (60 min): 0.2 ppm AEGL-2 (60 min): 0.75 ppm AEGL-3 (60 min): 30 ppm

IDLH: 100 ppm

Ambient Boiling Point: -11.9° C

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: 2.22 meters/second from 26° true at 3 meters

Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 5 tenths

Air Temperature: 28° C Stability Class: E

No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Direct Source: 23.01 kilograms/hr Source Height: 10 meters

Release Duration: 60 minutes

Release Rate: 384 grams/min

Total Amount Released: 23.0 kilograms

Note: This chemical may flash boil and/or result in two phase flow.

THREAT ZONE:

Model Run: Heavy Gas

Red: 74 meters --- (30 ppm = AEGL-3 [60 min])

Orange: 558 meters --- (0.75 ppm = AEGL-2 [60 min])

Yellow: 1.1 kilometers --- (0.2 ppm = AEGL-1 [60 min])

Fonte: Adaptado do Software ALOHA, elaboração própria

• Simulação 6: Descarte indevido de resíduos de enxofre ou ácido sulfúrico ocasionando contaminação do solo (subcenário 10.1)

Para avaliação da severidade e frequência deste subcenário, levou-se em consideração 2 principais pontos, o quantitativo que poderia ser descartado e o local onde seria descartado, neste caso no solo. Assim, utilizando-se a matriz de risco do quadro 5, avaliou-se que independente do quantitativo a ser descartado a frequência sem as medidas preventivas e mitigadoras seria como frequente, ou seja, seria esperado acontecer diversas vezes durante a vida útil da instalação. E a severidade caso acontecesse geraria lesões de gravidade moderada em pessoas intramuros, lesões leves em pessoas extramuros pois já não teria tanto produto ou já estaria mais diluído que no local onde ocorreu o descarte, e poderia gerar danos severos a equipamentos ou instalações pela proximidade ao local do descarte. Após a implementação das medidas sugeridas como: a determinação logística e destinação de resíduos, a criação de um checklist para cada procedimento e o treinamento dos funcionários, teve-se a frequência diminuída para provável, ou seja, a frequência é diminuída da ocorrência de diversas vezes para apenas 1 vez durante a vida útil da instalação, visto que tem-se medidas complementares que aplicadas corretamente diminuirão significativamente esta frequência. A severidade será diminuída para marginal, ocasionando lesões leves em empregados e terceiros, ausência de lesões extramuros e danos leves aos equipamentos ou instalações (os danos são controláveis e/ou de baixo custo de reparo), passando assim a classificação do risco de Não Tolerável para Moderada, o que nos mostra que apesar de ações efetivas serem aplicadas, dada a gravidade do produto em estudo a classificação do risco ainda fica em uma classificação de atenção, na coloração amarela.

Para a simulação deste subcenário, aplicou-se a opção puddle supondo a formação de uma poça que gera a contaminação do solo. Esta seleção foi baseada na opção da formação de uma poça após a lavagem do tanque de armazenamento, supondo-se a princípio o descarte de 4,5 litros, tendo-se como área: 1,2m X 0,75m e 0,005m de altura. Estes dados foram escolhidos após diversas tentativas no programa, pois aparecia uma mensagem de erro que a espessura da poça estava muito fina ou que o quantitativo de líquido era muito pouco. Abaixo no quadro 18 os dados que foram inseridos nesta simulação.

Quadro 21: Dados inseridos na simulação 6.

Set up → Source → Puddle	
Area	0,9 metros
Volume	4,5 litros
Tipo de solo	Desconhecido
Temperatura do solo	28 °C

Temperatura inicial da poça	28 °C
-----------------------------	-------

Fonte: Adaptado do Software ALOHA, elaboração própria

Com os resultados obtidos nesta simulação, pode-se ver que a avaliação feita da severidade e da frequência condiz com o resultado obtido pelo software ALOHA, visto que após as medidas aplicadas o quantitativo a ser descartado não irá atingir região fora da fábrica, pois irá atingir uma distância menor que 10 metros, portanto as medidas aplicadas nos mostram que são eficientes e que quando aplicadas corretamente diminuem a região a ser impactada.

Quadro 21: Dados obtidos na simulação 6.

SITE DATA:

Location: SAO PAULO, SÃO PAULO
Building Air Exchanges Per Hour: 0.52 (unsheltered single storied)
Time: April 9, 2020 1923 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:

Chemical Name: SULFURIC ACID Molecular Weight: 98.00 g/mol
Default LOC-2: 1 mg/(cu m) Default LOC-3: 3 mg/(cu m)
AEGL-1 (60 min): 0.2 mg/(cu m) AEGL-2 (60 min): 8.7 mg/(cu m) AEGL-3 (60 min): 160 mg/(cu m)
IDLH: 15 mg/(cu m)
Ambient Boiling Point: 287.4° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0 atm
Ambient Saturation Concentration: 0.0079 ppm or 7.88e-007%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 2.22 meters/second from 26° true at 3 meters
Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 5 tenths
Air Temperature: 28° C Stability Class: E
No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:

Evaporating Puddle
Puddle Area: 0.9 square meters Puddle Volume: 4.5 liters
Ground Type: Default soil Ground Temperature: 28° C
Initial Puddle Temperature: 28° C
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
Max Average Sustained Release Rate: 8.93e-06 grams/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 5.15e-004 grams

THREAT ZONE:

Model Run: Gaussian
Red: less than 10 meters (10.9 yards) --- (160 mg/(cu m) = AEGL-3 [60 min])
Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
make dispersion predictions less reliable for short distances.
Orange: less than 10 meters (10.9 yards) --- (8.7 mg/(cu m) = AEGL-2 [60 min])
Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
make dispersion predictions less reliable for short distances.
Yellow: less than 10 meters (10.9 yards) --- (0.2 mg/(cu m) = AEGL-1 [60 min])
Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
make dispersion predictions less reliable for short distances.

Fonte: Adaptado do Software ALOHA, elaboração própria

8. CONCLUSÃO

O aumento da demanda por novos materiais e produtos químicos, desde a Segunda Guerra Mundial, acompanhado pela mudança da base de carvão para o petróleo, conduziu ao desenvolvimento e expansão do complexo químico industrial, levando ao crescimento dessas atividades em nível global cada vez maiores e mais intensas. Isto provocou um aumento na magnitude potencial dos acidentes e incidentes ambientais e exposição dos seres humanos aos seus riscos, por isso o estudo para a minimização destes fez-se necessária (FREITAS, C. M., PORTE, 1995).

Após a análise dos acidentes com maior ocorrência mundial envolvendo o ácido sulfúrico, notou-se que a frequência dos acidentes envolvendo transporte era maior, por isso optou-se por localizar a planta próximo a utilização final do produto, visto que o enxofre é mais barato e mais fácil de ser transportado do que o ácido. A partir disso e da análise da localização das plantas informadas no Anuário, ABIQUIM, no ano de 2015, pôde-se observar que tais fábricas foram construídas próximas a centros urbanos ou estes se expandiram ao redor dessas fábricas o que mostrou a necessidade de uma análise e mapeamento de riscos associados a uma planta de ácido sulfúrico com entorno urbano.

As informações da Mesa redonda – Chile – Outubro 2018 e do X Congresso COBRAS – Guarujá-SP – Outubro 2017 presentes no site da empresa MB Consultores, foram de suma importância para a elaboração da APR, visto que dos estudos de caso foram levantados os 88 subcenários relacionados aos 30 cenários de risco descobertos inicialmente. Além de terem sido a base para entender as causas, as consequências pertinentes a cada cenário, e as soluções que poderiam ser aplicadas.

Notou-se que dos 88 subcenários, a metade estava associado a problemas de processo e não poderia ser utilizado para a elaboração da APR. Assim, utilizou-se apenas 42 subcenários que foram relacionados aos 10 principais cenários escolhidos. Após a classificação dos 42 subcenários nas categorias de frequência e severidade, 19 foram classificados como Moderado (coloração amarela) e 23 subcenários como Não Toleráveis (coloração vermelha). E aplicando-se as medidas mitigadoras e preventivas obteve-se uma nova classificação, onde dos 19 subcenários Moderados, 16 tornaram-se Toleráveis e 3 mantiveram-se Moderados. Já os 23 subcenários que foram classificados como Não Toleráveis, 22 adquiriram nova classificação como Moderado e 1 foi mantido na classificação Não Tolerável. Viu-se uma

grande redução na classificação dos subcenários o que nos mostra a importância da aplicação de tais medidas.

O software ALOHA foi importante para representar de forma textual e gráfica, as zonas afetadas pelo evento acidental causado por tal subcenário, contribuindo com o plano de resposta de emergência e para validar a classificação feita dos cenários na APR. Além de ter ajudado na previsibilidade da distância que afetaria o derramamento, vazamento e liberação de gases. No entanto, o programa possui algumas limitações tais como: simular reações químicas, particulados, misturas químicas, relevo e fragmentos perigosos. Portanto, vê-se a importância da utilização de ferramentas comerciais mais completas. Desta forma, são adquiridas melhores medidas de prevenção e mitigação diminuindo a severidade e a frequência de ocorrência de tal cenário.

Em relação aos riscos associados a planta de ácido sulfúrico, nota-se que a maior parte dos acidentes envolvendo a produção do ácido obtiveram uma área atingida menor que 10m. Logo, o problema poderia ser sanado no interior da fábrica, sem atingir a população no entorno. Portanto, há menor risco de acidente em uma fábrica localizada em meio urbano do que transportar ácido sulfúrico por grandes distâncias.

No entanto, não foi possível realizar a simulação 1: vazamento de produto corrosivo na tubulação que é muito similar a simulação 2 em que ocorre o mesmo vazamento, mudando apenas o equipamento para tanque de estocagem. Em razão da similaridade da simulação 1 com a simulação 2 e da quantidade de ácido no tanque de estocagem ser muito maior que na tubulação, infere-se que a simulação 1 teria uma área atingida menor que a simulação 2 mas que da mesma forma não seria obtido um gráfico com a zona afetada. Bem como a área afetada dos subcenários das simulações 2, 3 e 6 ser menor que 10 m afetando somente os intramuros da fábrica. Com relação a simulação 4, de incêndio/explosão, não foi viável obter a zona afetada em razão do programa não efetuar simulação com misturas e nem dimensionar a zona afetada por não ter similaridade com os outros cenários. Tal simulação seria muito relevante para o estudo por ser o único subcenário classificado com Não Tolerável antes e após a aplicação das recomendações. Isso mostra a necessidade do uso de mais de uma ferramenta para simulação.

Em relação a simulação 5, liberação de excesso de SO₂ na chaminé, para poder fazer a simulação supôs-se não ter nenhuma medida de tratamento ou contenção dos gases provindos da chaminé. Logo, tal subcenário dificilmente ocorreria em uma fábrica que realiza tratamento adequado de gases. Pois, por mais que ocorra uma conversão incompleta de SO₂

a SO_3 , durante a catálise, com o tratamento adequado, os gases não seriam lançados na atmosfera, trazendo risco para os trabalhadores da fábrica e da população do entorno.

Conclui-se que o método de Análise Preliminar de Riscos prevê as possíveis causas que possam gerar cenários acidentais, e que associado ao software de modelagem ALOHA, foi possível simular as áreas vulneráveis e afetadas onde estão expostos os trabalhadores e a comunidade. Além da importância da aplicação das Medidas Preventivas e Mitigadoras que quando aplicadas corretamente reduzem os riscos associados a esta planta e às áreas afetadas por eles. Outro ponto foi de ter mostrado que apesar de se ter uma visão que uma planta de ácido sulfúrico é extremamente perigosa e que geraria acidentes/danos graves até externamente, aplicando-se corretamente as medidas sugeridas têm-se uma grande diminuição nas consequências e nas zonas afetadas, mantendo-se dentro da fábrica de forma controlável até os cenários mais críticos classificados na APR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALOHA | Department of Energy. Disponível em: <<https://www.energy.gov/ehss/aloha>>. Acesso em: 12 jan. 2020.

AMORIM, E. L. C. DE. **Apostila de ferramentas de análise de risco**, 2010.

AVEN, T. Foundational Issues in Risk Assessment and Risk Management. **Risk Analysis**, v. 32, n. 10, p. 1647–1656, 2012.

AVEN, T. Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. **European Journal of Operational Research**, v. 253, n. 1, p. 1–13, 2016.

BARBOSA FILHO, Antônio Nunes. **Segurança do trabalho & gestão ambiental**. In: Conhecimentos de Gestão, 4 ed., capítulo 3, São Paulo: Atlas, 2011.

BARCELLOS, M. J.; PAIVA, O. S. **Gerenciamento De Risco Em Projetos**. [s.l: s.n.].

BLUESYNERGY. **Avaliação Preliminar de Riscos, Preliminary Risk Assessment (PRA)**.

LLC 8137 Autumn Lane, 2016. Disponível em:

<http://www.bluesynergyassociates.com/preliminary-risk-assessment.html>

Acesso em 19 de julho de 2019

CARDELLA, Benedito. **Segurança no trabalho e prevenção de acidentes: uma abordagem holística**. In: Técnicas de Análise de Riscos, 1 ed., capítulo 7, São Paulo: Atlas, 2011

CARDOSO, E. F. et al. Recuperação de Gases Residuais de Enxofre (s) e Reaproveitamento como Matéria Prima na Síntese de Ácido Sulfúrico (H₂SO₄). **vol. 18**, p. 163–172, 2014.

CHAZIN, E. DE L. Método de Preparção Industrial de Solventes e Reagentes Químicos:.

CLARK SOLUTIONS. **Fiberbed: VELAS e suas aplicações no Ácido Sulfúrico**.

COBRAS (congresso brasileiro de ácido sulfúrico). **Anais...2015** Disponível em:

<www.h2so4.com.br>

CLARK SOLUTIONS. **Plantas modulares: pequenas plantas modulares se enquadram em um mundo de megaplantas ?** COBRAS - Congresso Brasileiro de Ácido Sulfúrico. **Anais...2017** Disponível em: <www.h2so4.com.br>. Acesso em: 10 jan. 2020

CLIMA TEMPO. Disponível em: < www.climatempo.com.br/vento/>. Acessado em: 04 de jan de 2020.

CUNHA, A. **Notas de Aula: Ácido Sulfúrico**, 2017.

ESTEVES, Alan da Silva. **Gerenciamento de riscos de processo em plantas de petroquímicos básicos – uma proposta de metodologia estruturada**. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão), Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2004

FREITAS, C. M., PORTE, M. F. S. Acidentes químicos ampliados : um desafio para a saúde pública The increase in chemical accidents : a challenge for public health. **Revista de Saúde Pública**, n. 021, p. 503–514, 1995.

GARDONI, P.; MURPHY, C. A Scale of Risk. **Risk Analysis**, v. 34, n. 7, p. 1208–1227, 2014.

Gestão e análise de Risco. Gestão e análise de risco. **Anais...2014** Disponível em: <http://www.tpn.usp.br/seminario/slides/dia2/Palestra6_Schenk.pdf>

INEA. **Diagnóstico dos Acidentes Ambientais no Estado do Rio de Janeiro Enfoque no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <www.inea.rj.gov.br>.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF FIRE CHIEFS. **ALOHA Software**. Disponível em: <<https://www.iafc.org/topics-and-tools/resources/resource/aloha-software>>. Acesso em: 12 jan. 2020.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Guidelines for integrated risk assessment and management in large industrial areas** Austria, 1998.

Introdução a termodinâmica da engenharia química, J. M. Smith & H. C. Van Ness, 7ª edição, Acute Exposure Guideline Levels for Sulfuric Acid - Federal Advisory Committee Act (FACA), 2009

KARPENKO, V.; NORRIS, J. A. Vitriol in the history of chemistry. **Chemicke Listy**, v. 96, n. 12, p. 997–1005, 2002.

KING, M. J.; DAVENPORT, W. G.; MOATS, M. S. Overview. **Sulfuric Acid Manufacture**, v. 3, p. 1–9, 2013a.

KING, M. J.; DAVENPORT, W. G.; MOATS, M. S. Sulfur burning. **Sulfuric Acid Manufacture**, p. 19–29, 2013b.

KISS, A. A.; BILDEA, C. S.; VERHEIJEN, P. J. T. Optimization studies in sulfuric acid production. **Computer Aided Chemical Engineering**, v. 21, n. C, p. 737–742, 2006.

LINE, P. **RISK ASSESSMENT OF THE SULPHURIC ACID PLANT AS PART OF THE PROPOSED EXPANSION**, 2008.

LOEWE, K.; KARIUKI, S.G. **Integração de fatores humanos em processos de análises de risco; Integrating human factors into process hazard analysis. Reliability Engineering and System Safety**, Technische Universität Berlin, Institute of Process and Plant Technology. Estados Unidos n. 92, p. 1764-1773, 2007.

MARTINS JUNIOR, L.; LORENZI, R. L. Acidente químico com dióxido de enxofre em um populoso distrito de uma grande metrópole: cenários de exposição a partir de um modelo Gaussiano de dispersão. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 32, n. 116, p. 31–37, 2007.

MB CONSULTORES LIDA. **Manual de ácido sulfúrico**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <www.h2so4.com.br>.

MODARRES, M. **Análises de Risco em Engenharia: Técnicas, Ferramentas e Tendências, Risk Analysis in Engineering: Techniques, Tools, and Trends**. Boca Raton: Taylor & Francis Group, Estados Unidos, 2006

MORRISON, D. **Gestão de Risco e Perda de Controle Manual para o Governo Local, Risk Management and Loss Control Manual for Local Government.** The Local Government Institute, p. 4, Estados Unidos, 1988.

NATIONAL OCEAN SERVICE. **How ALOHA Works.** Disponível em: <<https://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/aloha.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2020.

Off-site Consequence Analysis: ALOHA. Disponível em: <<http://www.chemicalspill.org/OffSite/aloha.html%0A>>. Acesso em: 12 jan. 2020.

PEREIRA, R. T. S. ET AL. **Design of a Plant to Manufacture Sulfuric Acid from Sulfur.** [s.l: s.n.].

SALLES JR. C A C, SOLER. M. A, VALLE. S. A. J, RABECHINI JR. R. **Gerenciamento de riscos em projetos.** FGV. Rio de Janeiro. 2006.

SANTOS, WILSON; THEOBALD, R. **Micro-Ondas Usando Apr.** 2013

SANTOS, E. L. SOS. **Estudo sobre problemas ambientais das indústrias de ácido sulfúrico e a sua influência na saúde do trabalhador** São Paulo, [s.d.].

SOARES, P. R. **ALOHA: Software Gratuito para Análise de Consequências de Acidentes Industriais.** Disponível em: <<https://soepinaobasta.com/aloha-software-gratuito-para-analise-de-consequencias-de-acidentes-industriais/>>. Acesso em: 12 jan. 2020.

SOARES, P. R. **Software Gratuito - Representa Gráficamente Zonas de Ameaça.** Disponível em: <<https://soepinaobasta.com/aloha-software-gratuito-para-analise-de-consequencias-de-acidentes-industriais/>>. Acesso em: 12 jan. 2020.

SOUSA, M. BATISTA DE. **otimização de sistema de conversão de uma fábrica de ácido.** [s.l: s.n.].

STATES, M. **ECONOMIC EUROPEAN COMMUNITIES (EEC).** Disponível em: <[https://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31999Y1012\(01\):EN:H](https://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31999Y1012(01):EN:H)>

TML>. Acesso em: 10 jan. 2020.

Sulfuric Acid on the Web. Disponível em: <http://www.sulphuric-acid.com/techmanual/Plant_Safety/safety_accidents.ht>. Acesso em: 5 ago. 2019.

Sulfuric Acid Results- AEGL Program. Disponível em: <epa.gov/aegl/sulfuric-acid-results-aegl-program>. Acesso em: 12 jan. 2020

“Sulphuric acid”; Chemical Safety Data Sheets, Vol 3, Corrosives and Irritants, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, 1990

“Sulphuric acid; oil of vitriol”, MSDS, Canadian Centre for Occup. Health and Safety, 1995

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Acute Exposure Guidelines Levels (AEGLs)*. Disponível em: <<https://www.epa.gov/aegl/about-acute-exposure-guideline-levels-aegls>>. Acesso em: 10 Jan.2020

VALE FERTILIZANTES. Perspectivas do mercado de ácido sulfúrico na visão da Vale Fertilizantes. COBRAS - Congresso Brasileiro de Ácido Sulfúrico. **Anais...2017** Disponível em: <http://www.h2so4.com.br/downloads/Download/COBRAS-2017/COBRAS_2017_-_Vale_Fertilizantes_-_Perspectivas_do_mercado_de_ácido_sulfúrico.pdf>

WESTWATER, J. W. The Beginnings of Chemical Education in the USA: Department of Chemical Engineering, University of Illinois, Urbana, IL 61801. p. 141–152, 1980.

APÊNDICE A

Análise Preliminar de Riscos na Planta de Ácido Sulfúrico

Cenário Acidental	Subcenário	Consequências	Categoria Frequência	Categoria Severidade	Classificação do Risco	Medidas Preventivas e Mitigadoras	Nova Frequência	Nova Severidade	Nova Classificação do Risco
1. Vazamento de produto corrosivo ao longo do processo de produção, na transferência do tanque de armazenagem de 628m ³ para o caminhão transportador de 29m ³ , no tanque de estocagem ou no caminhão transportador	1.1 Falha na vedação de tubulação (flanges) ou nas válvulas e conexões		Provável	Marginal	M	<ul style="list-style-type: none"> R1- Troca por tubulação de CPVC (cloreto polivinil clorado) R2- Estabelecer frequência de inspeção R3- Lista de verificação de inspeção R4- Ações corretivas necessárias R5- Estabelecer frequência de limpeza dos equipamentos e das tubulações R6- Determinação de medidas de segurança R7- Selecionar materiais de construção apropriados para cada equipamento 	Pouco Provável	Marginal	T
	1.2 Desgaste por corrosão e fadiga dos materiais	<ul style="list-style-type: none"> Possibilidade de formação de nuvem ácida Perda de produto Corrosão do equipamento Perda de equipamentos e patrimônios 	Provável	Marginal	M		Pouco Provável	Marginal	T
	1.3 Furo de 3mm em tubulação de aço inoxidável de 8cm de diâmetro ou no trocador de calor ou no forno ou no	<ul style="list-style-type: none"> Contaminação do ambiente 	Provável	Crítica	NT		Pouco Provável	Crítica	M

	tanque de estocagem									
	1.4 Trinca de 1mm no tanque de estocagem ou no trocador de calor ou no reator catalítico ou na torre de absorção/secagem		Provável	Marginal	M		Pouco	Provável	Marginal	T

<p>1.5 Ruptura de 2mm no tanque de estocagem de 628m³ ou no trocador de calor ou no reator catalítico ou na torre de absorção/secagem</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilidade de formação de nuvem ácida • Perda de produto • Corrosão do equipamento • Perda de equipamentos e patrimônios 	<p>Provável</p>	<p>Crítica</p>	<p>NT</p>	<ul style="list-style-type: none"> • R1- Troca por tubulação de CPVC (cloreto polivinil clorado) • R2- Estabelecer frequência de inspeção • R3- Lista de verificação de inspeção • R4- Ações corretivas necessárias 	<p>Pouco Provável</p>	<p>Crítica</p>	<p>M</p>
<p>1.6 Falta de bucha interna de proteção do bocal de saída do tanque de ácido</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminação do ambiente • Vazamento de produto 	<p>Provável</p>	<p>Marginal</p>	<p>M</p>	<ul style="list-style-type: none"> • R5- Estabelecer frequência de limpeza dos equipamentos e das tubulações • R6- Determinação de medidas de segurança 	<p>Pouco Provável</p>	<p>Marginal</p>	<p>T</p>
<p>1.7 Trinca de 1mm no tanque de estocagem de 628m³</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Transbordamento do tanque de ácido com perda de produto 	<p>Provável</p>	<p>Marginal</p>	<p>M</p>	<ul style="list-style-type: none"> • R1- Selecionar materiais de construção apropriados para cada equipamento 	<p>Provável</p>	<p>Desprezível 1</p>	<p>T</p>

1.8 Furo de 3mm no tanque do caminhão transportador de 29m³.	<ul style="list-style-type: none"> Danos à estrutura dos equipamentos e patrimônios Geração de resíduos químicos; 	Provável	Crítica	NT	<ul style="list-style-type: none"> R2- Implantar programa de inspeções, manutenção preventiva e corretiva R3- Criar checklist no carregamento e descarregamento R4 – Treinamento adequado dos operadores e reciclagem do treinamento R5- Utilização de Epi's adequados 	Provável	Marginal	M
1.9 Desconexão do mangote de 8cm de transferência	<ul style="list-style-type: none"> Contaminação do ambiente Gastos na manutenção do tanque e equipamentos; 	Provável	Marginal	M		Provável	Desprezível 1	T
1.10 Furo de 2 mm no mangote de transferência	<ul style="list-style-type: none"> Gastos na descontaminação do local 	Provável	Crítica	NT		Provável	Marginal	M
1.11 Erros operacionais		Provável	Marginal	M		Provável	Desprezível 1	T
1.12 derramamento de produto e contato com produtos inflamáveis, água, metais alcalinos, ácido perclórico	<ul style="list-style-type: none"> Formação de incêndio/ explosão Decomposição de H₂ e SO₂ que junto a umidade gera a explosão 	Frequente	Catastrófica	NT	<ul style="list-style-type: none"> R1- Implantar programa de inspeções internas e externa regulares e plano de ação. R2- Implantar ações corretivas necessárias R4-Determinação de medidas de segurança 	Pouco Provável	Catastrófica	NT

		<ul style="list-style-type: none"> Risco de processo civil/criminal Contaminação do ambiente Risco de vida Danos à estrutura dos equipamentos e patrimônios 				<ul style="list-style-type: none"> R3- Treinamento dos Funcionários R4-Buscar certificação externa pela ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção) dos processos de manutenção mecânica e procedimento R5- Selecionar materiais de construção apropriados para cada serviço R6- Criar checklist para cada procedimento 				
2. Inundação de ácido nos trocadores de calor e perda do controle do nível de ácido na torre de absorção intermediária	2.1 Corrosão de tubulação do trocador de calor por acúmulo de ácido condensado quente (Ataque ácido)	<ul style="list-style-type: none"> Perda de produto e do equipamento (Desgaste) Piscinas de ácido quente condensado na folha de tubos 	Provável	Marginal	M	<ul style="list-style-type: none"> R1- Selecionar materiais de construção apropriados de acordo com as normas R2- Implantar programa de inspeções internas e externa da tubulação regulares R3- Criar a revisão preventiva em paradas gerais R4- Manter um programa de inspeção da tubulação. 	Pouco	Provável	Marginal	T
	2.2 Estresse mecânico extremo	<ul style="list-style-type: none"> Rompimento dos tubos por terem de paredes 	Frequente	Marginal	M		Pouco	Provável	Marginal	T

		<p>finas comparado ao equipamento</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aumento da pressão na tubulação e por consequência aumento da corrosão • Perda de calor 				<ul style="list-style-type: none"> • R5- Implantar proteção anódica e manter a manutenção • R6- Simplificar o arranjo dos tubos • R7- Eliminar ou minimizar tensões diferenciais dentro do trocador de calor • R8- Trocar a tubulação e/ou equipamento • R9- Adição de um intertravamento que detém ambos os Blowers quando o sensor de nível detectar nível elevado na torre de absorção intermediária, parando o processo no reator catalítico. • R10- Treinamento dos operadores para melhor controle do processo 			
3. Quebras nos tubos devido a corrosão pela névoa ácida	3.1 Ataque ácido	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da pressão na tubulação e por consequência aumento da corrosão 	Frequente	Crítica	NT	<ul style="list-style-type: none"> • R1- Troca do equipamento • R2- Adequar o processo de acordo com o gás de entrada, avaliando a variabilidade do processo. 	Provável	Marginal	M

	3.2 Bloqueio da passagem do fluxo de gás devido ao acúmulo de sulfato	<ul style="list-style-type: none"> Desgaste do equipamento Perda de calor 	Frequente	Crítica	NT	<ul style="list-style-type: none"> R3- Implantar proteção anódica R4- Troca por tubulação de CPVC (cloroeto polivinil clorado) R5- Estabelecer frequência de inspeção e uma lista de verificação R6- Estabelecer frequência de limpeza dos equipamentos e das tubulações 	Provável	Marginal	M
	3.3 Serpentina de ferro fundido sem proteção anódica		Provável	Crítica	NT		Provável	Marginal	M
4. Corrosão na boca do flange do trocador de calor da entrada de gases vindos do forno	4.1 Estresse mecânico extremo	<ul style="list-style-type: none"> Perda de produto 	Provável	Marginal	M	<ul style="list-style-type: none"> R1- Criar a revisão preventiva em paradas gerais R2- Manter um programa de inspeção no trocador de calor R3- Selecionar materiais de construção apropriados de acordo com as normas 	Pouco Provável	Marginal	T
	4.2 Uso de material inadequado	<ul style="list-style-type: none"> Parada de produção 	Provável	Marginal	M		Pouco Provável	Marginal	T
	4.3 Falta de manutenção preventiva	<ul style="list-style-type: none"> Diminuição da vida útil do trocador de calor 	Provável	Marginal	M		Pouco Provável	Marginal	T
5. Corrosão em bombas	5.1 Formação de ácido diluído e sulfato de ferro	<ul style="list-style-type: none"> Parada de produção 	Provável	Crítica	NT	<ul style="list-style-type: none"> R1 -Contenção de umidade na entrada da caixa de gaxetas (alimentação de ar seco ou purga nitrogênio) 	Provável	Marginal	M

		<ul style="list-style-type: none"> • Diminuição da vida útil da bomba 							
6. Ranhuras de 11mm no tanque de estocagem a 30°C (espessura do tanque de 12,5mm para 1,5mm)	6.1 Formação de uma Camada Superficial de Ácido Diluído (concentração inferior a 65%)	<ul style="list-style-type: none"> • Perda de produto e matéria prima • Corrosão localizada • Perda de equipamento 	Provável	Marginal	M	<ul style="list-style-type: none"> • R1- Ajustar a concentração do ácido para que não seja inferior a 65% • R2- Introduzir o ácido frio no tanque • R3- inspeção regular e a manutenção preventiva • R4- Revestimento interno com resina fenólica • R5- Proteção Anódica • R1- Troca por tubulação de CPVC (cloreto polivinil clorado) • R2- Estabelecer frequência de inspeção • R3- Lista de verificação de inspeção 	Provável	Desprezível 1	T
	6.2 Aumento localizado de temperatura		Provável	Marginal	M		Provável	Desprezível 1	T
	6.3 Resíduos de Ácido ou sua Borra Mantidos no Equipamento por um Longo Período de Tempo		Provável	Marginal	M		Provável	Desprezível 1	T

	6.4 Entrada de água na forma de vapor ou umidade		Provável	Marginal	M	<ul style="list-style-type: none"> R4- Ações corretivas necessárias R5- Estabelecer frequência de limpeza dos equipamentos e das tubulações R6- Determinação de medidas de segurança 	Provável	Desprezível	T
	6.5 Erosão pelo hidrogênio		Frequente	Catastrófica	NT		Provável	Marginal	M
7.Incêndio/ Explosão	7.1 Bloqueio do suspiro do tanque de armazenagem	<ul style="list-style-type: none"> Entupimento de tubulação Perda de produto e matéria prima Contaminação do ambiente Danos à estrutura dos equipamentos e patrimônios Colapso do tanque por vácuo 	Provável	Marginal	M	<ul style="list-style-type: none"> R1- Implantar programa de inspeções, manutenção preventiva e corretiva R2- Abertura de solda do teto para expansão dos gases R3- Dispositivo de exaustão para renovação e resfriamento da atmosfera interna R4- Contenção de umidade na entrada, alimentar com ar seco ou purga de nitrogênio 	Pouco Provável	Marginal	M

<p>7.2 Falha no posicionamento do suspiro do tanque de armazenagem</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Acúmulo de hidrogênio no teto • Perda de produto e matéria prima • Formação de nuvem explosiva/ ácida • Danos à estrutura dos equipamentos e patrimônios 	<p>Provável</p>	<p>Marginal</p>	<p>M</p>		<p>Pouco Provável</p>	<p>Marginal</p>	<p>M</p>
<p>7.3 Pane elétrica/Curto circuito e geração de fagulhas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Perda de equipamentos e patrimônios 	<p>Provável</p>	<p>Catastrófica</p>	<p>NT</p>	<ul style="list-style-type: none"> • R1- Implantar programa de inspeções, manutenção preventiva e corretiva 	<p>Pouco Provável</p>	<p>Marginal</p>	<p>M</p>

8. Contaminação do ar	8.1 Liberação de excesso de SO ₂ na chaminé	<ul style="list-style-type: none"> • Contribuição a poluição atmosférica • Formação de nuvem ácida • Risco de processo civil/criminal • Aumento da corrosão 	Frequente	Catastrófica	NT	<ul style="list-style-type: none"> • R1- Implantar programa de inspeções, manutenção preventiva e corretiva, trocando o catalisador em todas as camadas quando necessário • R2- Selecionar materiais de construção apropriados para cada serviço • R3- Treinamento dos Operadores • R4- Especificar catalisador para a temperatura de utilização (Buscando o ponto ótimo do reator catalítico) para aumentar a conversão - Ajuste adequado do sistema para cada operação • R5- Manter Limpeza e Rotinas Operacionais bem definidos • R6- Peças Sobressalentes (necessárias para continuidade operacional segura dos equipamentos na ocorrência de falha da peça instalada (caso inserts e bicos corroídos); 	Pouco	Provável	Marginal	M
	8.2 Queima de vapores residuais na chaminé		Frequente	Catastrófica	NT		Pouco	Provável	Marginal	M
	8.3 Excesso de SO ₂ no reator catalítico	<ul style="list-style-type: none"> • Sinterização no primeiro leito catalítico (não ocorre a conversão a SO₃), sai SO₂ no final do processo • Risco de processo civil/criminal 	Frequente	Catastrófica	NT		Pouco	Provável	Marginal	M

	<ul style="list-style-type: none"> • Catalisador desativado/impregnação do recheio • Queda de pressão • Aumento do gasto energético • Maior arraste de névoa ácida para os equipamentos adjacentes ou chaminé, emitindo mais gases poluentes 					<ul style="list-style-type: none"> • R7- Gestão de Mudanças: Toda mudança deve ter os seus riscos analisados previamente. O que aparenta ser uma solução pode se transformar em um novo problema (caso das válvulas inseridas na alimentação dos inserts e bicos). • R8- Trocar por equipamentos mais modernos com trocadores de calor integrados permitindo um melhor layout, feitos de ácido inoxidável, com maior eficiência > a 99,7% e com menores emissões de SO₂(200ppmv) 				
8.4	Temperatura da torre de absorção intermediária desajustada	<ul style="list-style-type: none"> • Excesso de SO₂ na saída para a absorção final e tanque de estocagem 	Frequente	Catastrófica	NT		Pouco	Provável	Marginal	M
8.5	Concentração de SO ₂ menor que 12%	<ul style="list-style-type: none"> • Excesso de SO₃ na saída para a absorção final e tanque de estocagem 	Frequente	Catastrófica	NT		Pouco	Provável	Marginal	M

	8.6 Baixo rendimento no Lavador de gases (quench venturi)	<ul style="list-style-type: none"> Paralisação da torre de lavagem dos gases Alto consumo energético 	Provável	Catastrófica	NT	<ul style="list-style-type: none"> R1- Implantar programa de manutenção e inspeções internas e externa. R2- Selecionar materiais de construção apropriados de acordo com as normas com PP R3- Criar a revisão preventiva em paradas gerais R4- Adicionar uma etapa prévia de eliminação de pós na entrada do equipamento 	Provável	Marginal	M
--	---	--	----------	--------------	----	--	----------	----------	---

<p>8.7 Falha mecânica interna no Reator Catalítico, gerando grande saída de gases nas torres de absorção</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento dos gases na saída • Aumento da emissão de SO3 	<p>Provável</p>	<p>Crítica</p>	<p>NT</p>	<p>Recomendações para planta em operação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • R1- Avaliação do ponto de orvalho • R2- Controle e ajuste da vazão de gás de entrada • R3- Controle e ajuste da temperatura do ácido • R4- Teste de emissão de SO3, fumaça branca, se não tiver emitindo é porque está com algum problema na planta <p>Recomendações para planta parada: parâmetros a serem avaliados:</p> <ul style="list-style-type: none"> • R1- Substituição das velas nas torres de absorção • R2- Verificação da vedação e fixação das velas • R3- Limpeza ou inspeção dos distribuidores de ácido • R4- Lavagem ou substituição do recheio do reator Catalítico para catalisadores mais modernos que 	<p>Provável</p>	<p>Marginal</p>	<p>M</p>
<p>8.8 Catalisador do reator catalítico desativado ou fora da faixa</p>		<p>Provável</p>	<p>Marginal</p>	<p>M</p>		<p>Pouco Provável</p>	<p>Marginal</p>	<p>M</p>

	operacional de temperatura					adsorvem a poeira, mas mantém a distribuição do fluxo do gás adequado			
						<ul style="list-style-type: none"> • R5- Troca por filtros de vela auto limpantes • R6- Distribuidores de ácido inoxidável especiais e com alta eficiência • R7- Recheios estruturados com maior área superficial e menor perda de carga 			
9. Contaminação de efluentes	9.1 Limpeza do tanque de armazenagem	<ul style="list-style-type: none"> • Poluição de rios • Morte de animais marinhos 	Frequente	Crítica	NT	<ul style="list-style-type: none"> • R1- Implantar programa de inspeções internas e externa e plano de ação. 	Provável	Marginal	M
	9.2 Limpeza do caminhão tanque	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminação dos lençóis freáticos 	Frequente	Crítica	NT	<ul style="list-style-type: none"> • R2- Determinação de logística e destinação de resíduos • R3-Determinação de medidas de segurança 	Provável	Crítica	M
	9.4 Descarte inadequado de resíduos	<ul style="list-style-type: none"> • Risco de processo civil/criminal • Risco de vida 	Frequente	Crítica	NT	<ul style="list-style-type: none"> • R4- Treinamento dos Funcionários • R5- Criar checklist para cada procedimento 	Remota	Crítica	M

		<ul style="list-style-type: none"> Danos à estrutura dos equipamentos e patrimônios 							
10. Contaminação de solo	10.1 Descarte indevido de resíduos de enxofre ou ácido sulfúrico	<ul style="list-style-type: none"> Contaminação dos lençóis freáticos Alteração da qualidade do solo 	Frequente	Crítica	NT	<ul style="list-style-type: none"> R1- Determinação de logística da destinação de resíduos R2 - Criar checklist para cada procedimento 	Provável	Marginal	M
	10.2 Descarte indevido de materiais contaminados	<ul style="list-style-type: none"> Risco de processo civil/criminal 	Frequente	Crítica	NT	<ul style="list-style-type: none"> R3 - Treinamento dos Funcionários 	Provável	Marginal	M