

Otimização de Rotas para Atendimento Emergencial em um Cenário de Nuvem Tóxica Presente numa Refinaria de Petróleo

Paulo Renato F. T. Soares, Isis D. Lins, Márcio J. C. Moura

Centro de Estudos e Ensaaios em Risco e Modelagem Ambiental/Departamento de Engenharia de Produção/Universidade Federal de Pernambuco

Enrique A. L. Droguett

Departamento de Engenharia Mecânica/Universidade do Chile

RESUMO

Este trabalho apresenta uma proposta de otimização de rotas para atendimento emergencial em um cenário de nuvem tóxica de H_2S (sulfeto de hidrogênio ou ácido sulfídrico) previsto em uma refinaria de petróleo. A unidade industrial sujeita à análise será a de hidrotratamento de diesel presente na instalação. Para isso, será realizada uma análise preliminar de riscos de forma a levantar as hipóteses acidentais, selecionando o cenário citado. Em sequência será realizado um estudo de dispersão utilizando o *software* ALOHA, observando o possível alcance e as concentrações da emissão de acordo com as características operacionais e de projeto. Após isso, entre a base do comando da brigada de emergência e o local da ocorrência, será definida a rota ótima em termos de distância por meio da construção de grafos e utilizando o algoritmo de Floyd-Warshall. Com o trabalho, espera-se contribuir com a organização no tocante ao seu planejamento em respostas a emergências e à melhoria da eficiência no deslocamento das equipes para atendimentos a sinistros deste tipo na unidade industrial.

Palavras-chaves: *Planejamento de resposta a emergência, Otimização, Nuvem tóxica, Refinaria*

1. INTRODUÇÃO

Devido às suas características de projeto e à presença do petróleo líquido sob a forma de petróleo bruto e seus produtos refinados, a indústria de refinação se encontra propensa a uma série de acidentes graves, como explosões, incêndios, emissões de materiais perigosos, entre outros. [1]. De acordo com a Convenção nº 174 da OIT – Organização Internacional do Trabalho – a expressão “acidente maior” designa todo evento subitâneo, como emissão, incêndio ou explosão de grande magnitude, no curso de uma atividade em instalação sujeita a riscos de acidentes maiores, envolvendo uma ou mais substâncias perigosas e que implica grave perigo, imediato ou retardado, para os trabalhadores, a população ou o meio ambiente. [2].

Conforme Chettouh [3], acidentes maiores possuem uma natureza multidimensional, decorrentes de uma ampla gama de fatores que interagem de forma aleatória e sofisticada para resultar em grandes desastres tecnológicos. Muitos desses fatores contribuintes são desenvolvidos desde a concepção do projeto, compreendendo questões técnicas e não técnicas e, finalmente, incluindo a influência de erros humanos.

Todos os anos, inúmeras emergências tecnológicas ocorrem, impactando o meio ambiente, comunidades e propriedades. Grande parte desses eventos são contabilizados em vidas e cifras monetárias. As organizações podem limitar as perdas, retomar de forma mais rápida a normalidade das operações e reduzir os efeitos negativos dos potenciais eventos, desenvolvendo um adequado planejamento emergencial. [4].

Entre os eventos mais comuns está a dispersão accidental de gases nocivos como o H_2S (sulfato de hidrogênio). De acordo Guidotti [5] o sulfato de hidrogênio é a segunda causa mais comum de mortalidade quando há exposição à inalação de gases no local de trabalho, representando 7,7% do total de acidentes. Esse produto possui características únicas que fazem com que os casos de inalação de sulfeto de hidrogênio sejam toxicologicamente incomuns, distintivos e muito parecido de um caso a outro. Unidades industriais que podem conter em alguma de suas fases o H_2S cresceram na última década. No Brasil, considerando as refinarias da Petrobras, o aumento da relação de hidrotratamento sobre a capacidade de refino foi de 35% para 56%, no período de 2010 a 2014. Esse aumento se deve ao compromisso de atendimento da qualidade de combustíveis, do diesel com 10ppm de enxofre a partir de 2013 e da gasolina C com 50ppm de enxofre a partir de 2014. [6].

Uma das premissas básicas para o atendimento eficiente está no tempo de deslocamento até o cenário accidental. A ABNT NBR 15219:2005 - Plano de emergência contra incêndio, orienta que sempre após a realização de exercícios simulados seja observado o tempo gasto até o local e que se avalie a possibilidade de melhorias de percurso e durante o deslocamento. Dessa maneira, surge a necessidade de otimizar o percurso, levando-se em consideração o caminho mais curto e seguro.

O problema da minimização da distância entre a base do comando da brigada de emergência e o local da ocorrência do acidente pode ser caracterizado como um problema do caminho mais curto (PCMC). De acordo com Alves [7], esse problema está intimamente relacionado à solução de problemas combinatórios como os de roteamento, programação e sequenciamento de tarefas. Segundo Arenales [8], o algoritmo de Floyd-Warshall encontra o caminho mais curto entre dois nós, mesmo que haja arcos com comprimentos negativos. O mesmo difere-se dos demais algoritmos pois atualiza as distâncias para todos os nós, não somente para o nó mais próximo, como por exemplo o algoritmo de Dijkstra. Conforme Aini e Salehipour [9], o algoritmo de Floyd-Warshall é um dos melhores algoritmos disponíveis para o tratamento do PCMC.

De acordo com Takeda [10], a rápida realização de atendimento é uma das maiores exigências, e o tempo decorrido entre o instante da ocorrência da solicitação pelo e o início do atendimento junto às vítimas, denominado tempo de resposta, é um dos principais fatores que influenciam o nível de serviço desses sistemas. Conforme Serpa [11], os planos de emergência devem adotar de procedimentos lógicos, técnicos e administrativos, estruturados de forma a propiciar resposta rápida e eficiente em situações emergenciais.

Publicações como as de Alves [7] e de Pereira [12] levam em consideração o atendimento emergencial vinculado à segurança pública. Ainda existem outros trabalhos que utilizam o algoritmo de Floyd-Warshall ou parte dele para problemas de transporte em rede ferroviária como Dou et al. [13] ou ainda de transporte escolar como Steiner [14]. Neste trabalho, a aplicação considerada incluiu um cenário de nuvem tóxica dentro de uma refinaria, bem como as restrições de caminho que este pode causar durante o deslocamento da equipe de emergência.

O trabalho está organizado como segue. A Seção 2 apresenta os objetivos geral e específicos do. Na Seção 3, descreve-se o trabalho realizado, levando em consideração as técnicas aplicadas. Na Seção 4, apresentam-se os resultados obtidos e a Seção 5 contém as conclusões.

2. OBJETIVOS DO TRABALHO

O trabalho tem como objetivo principal definir os caminhos mais curtos para atendimento emergencial em um cenário de nuvem tóxica presente em uma refinaria de petróleo, mais especificamente, em uma Unidade de Hidrotratamento de Diesel. Para isso, foram realizadas as seguintes etapas:

- Estudo das condições operacionais e de projeto da Unidade de Hidrotratamento de Diesel
- Análise e classificação de um cenário de nuvem tóxica, através de técnica apropriada;
- Análise de vulnerabilidade, identificando-se as consequências do cenário determinado;
- Implementação do algoritmo de Floyd-Warshall de modo a encontrar a menor distância entre os pontos de interesse, considerando as restrições ligadas ao cenário.

3. DESCRIÇÃO DO TRABALHO REALIZADO

3.1 Classificação de Perigos

Para a classificação do perigo “nuvem tóxica”, foi realizada a análise através da técnica Análise Preliminar de Perigos (APP). A técnica teve origem no programa de segurança militar do Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América, tendo por objetivo identificar os perigos presentes numa instalação que podem ser ocasionados por eventos indesejáveis. Esta técnica pode ser utilizada em instalações na fase inicial de desenvolvimento, nas etapas de projeto ou mesmo naquelas já em operação, permitindo, nesse caso, a realização de uma revisão dos aspectos de segurança existentes. A APP deve incorporar todos os eventos perigosos cujas falhas tenham origem na instalação em análise, contemplando tanto as falhas intrínsecas de equipamentos, de instrumentos e de materiais, como erros humanos. [15]

Na APP devem ser identificados os perigos, as causas e as consequências, as categorias de severidade correspondentes (tabela 1), bem como as observações e recomendações pertinentes aos perigos identificados, sendo que os resultados devem ser apresentados em planilha padronizada, como a indicada na Tabela 2.

Categoria de Severidade	Efeitos
I – Desprezível	Nenhum dano ou dano não mensurável
II – Marginal	Danos irrelevantes ao meio ambiente e à comunidade externa.
III – Crítica	Possíveis danos ao meio ambiente devido a liberações de substâncias químicas tóxicas ou inflamáveis, alcançando áreas externas à instalação. Pode provocar lesões de gravidade moderada na população externa ou impactos ambientais com reduzido tempo de recuperação.
IV – Catastrófica	Impactos ambientais devido a liberações de substâncias químicas, tóxicas ou inflamáveis, atingindo áreas externas às instalações. Provoca mortes ou lesões graves na população externa ou impactos ao meio ambiente com tempo de recuperação elevado.

Tabela 1 – APP – Categoria de severidade

Fonte: CETESB [15]

Perigo	Causa	Efeito	Categoria de severidade	Observações e recomendações

Tabela 2 – Modelo de planilha para APP

Fonte: CETESB [15]

3.2 Análise de Vulnerabilidade

De acordo a CETESB [15], a análise de vulnerabilidade é um estudo realizado por intermédio de modelos matemáticos para a previsão dos impactos danosos às pessoas, instalações e ao meio ambiente, baseado 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.

A análise de vulnerabilidade visa quantificar os efeitos de uma possível emissão de nuvem tóxica, realizados a partir de cenários encontrados na APP. A quantificação foi expressa através dos dados químicos do sulfeto de hidrogênio puro (H_2S), dos dados da atmosfera à qual a Unidade de Hidrotratamento de Diesel está instalada, bem como a inclusão dos dados referentes à operação do equipamento ou sistema sujeito ao vazamento na refinaria. O objetivo desta análise é determinar a distância e as concentrações causadas pela emissão de ácido sulfídrico sobre as áreas vulneráveis no caso de vazamento.

Para a análise, foi utilizado o *software* de domínio público, chamado ALOHA – Areal Locations of Hazardous Atmospheres editado pela NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration (EUA). O *software* usa o modelo de dispersão Gaussiano desenvolvido por Palazzi [16] que descreve o comportamento de liberação do estado estacionário de curta duração. O *software* ALOHA usa o modelo de Gauss para prever como os gases que são mais dinâmicos do que ar se dispersam na atmosfera. Segundo este modelo, o vento e as turbulências atmosféricas são as forças que movem as moléculas de um gás liberado no ar. De acordo com o modelo Gaussiano, qualquer seção da nuvem de gás em movimento tem forma de sino (ver Figura 1), alta no centro e mais baixa nas laterais.

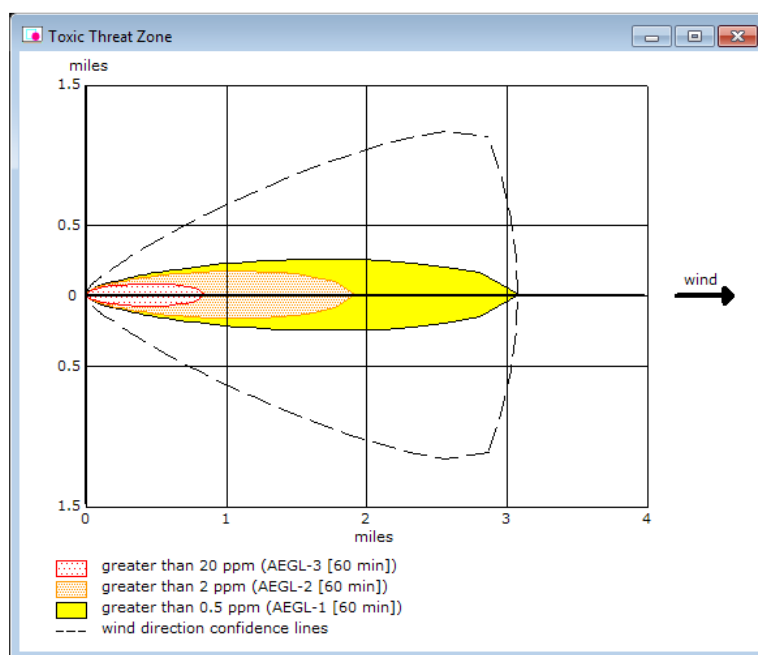


Figura 1 – Zona de Risco para nuvem tóxica – Exemplo
Fonte: NOAA [17]

Após o estudo das áreas vulneráveis, será feita a otimização das rotas considerando os possíveis pontos do percurso que possam ser atingidos pela nuvem tóxica durante o deslocamento das equipes de emergência

3.3 Algoritmo de Floyd-Warshall

Para se determinar o caminho mais curto para atendimento emergencial, foi utilizado o algoritmo de Floyd-Warshall. Este algoritmo utiliza a técnica de programação dinâmica para resolver o problema do caminho mais curto entre todos os pares de nós (todos para todos) em uma rede dirigida. [18, 19].

O algoritmo de Floyd-Warshall recebe como entrada a matriz de adjacências $M[i, j]$, que representa o grafo $G = (V, E)$. A matriz de adjacências $M[i, j]$ é uma matriz quadrada $n \times n$, onde n é o número de vértices e seus elementos representam os pesos das arestas (distâncias) entre os vértices i e j .

De acordo com Alves [7], o valor de um caminho entre dois vértices é a soma dos valores de todas as arestas ao longo desse caminho. As arestas E do grafo podem ter valores negativos, mas o grafo não pode conter nenhum ciclo de valor negativo. O algoritmo calcula a menor distância e a rota entre cada dois nós arbitrários i e j .

O algoritmo se baseia nos seguintes passos:

- Assumindo que os vértices de um grafo orientado G são $V = \{1, 2, 3, \dots, n\}$, considere um subconjunto $\{1, 2, 3, \dots, k\}$;
- Para qualquer par de vértices (i, j) em V , considere todos os caminhos de i a j cujos vértices intermediários pertencem ao subconjunto $\{1, 2, 3, \dots, k\}$, e p como o mais curto de todos eles;
- O algoritmo explora um relacionamento entre o caminho p e os caminhos mais curtos de i a j com todos os vértices intermediários em $\{1, 2, 3, \dots, k\}$;
- O relacionamento depende de k ser ou não um vértice intermediário do caminho p .

Uma vez que a cada iteração o algoritmo verifica se a inclusão de um nó intermediário k entre dois nós i e j reduz o caminho (diminui a distância associada), tem-se como solução final do algoritmo de Floyd-Warshall uma matriz que contém os valores do caminho mais curto entre todos os pares de vértices, denominada matriz de distância D , e uma matriz que armazena a rota do caminho mais curto, denominada matriz de sequência S . Abaixo segue quadro com código simplificado de Ford-Warshall:

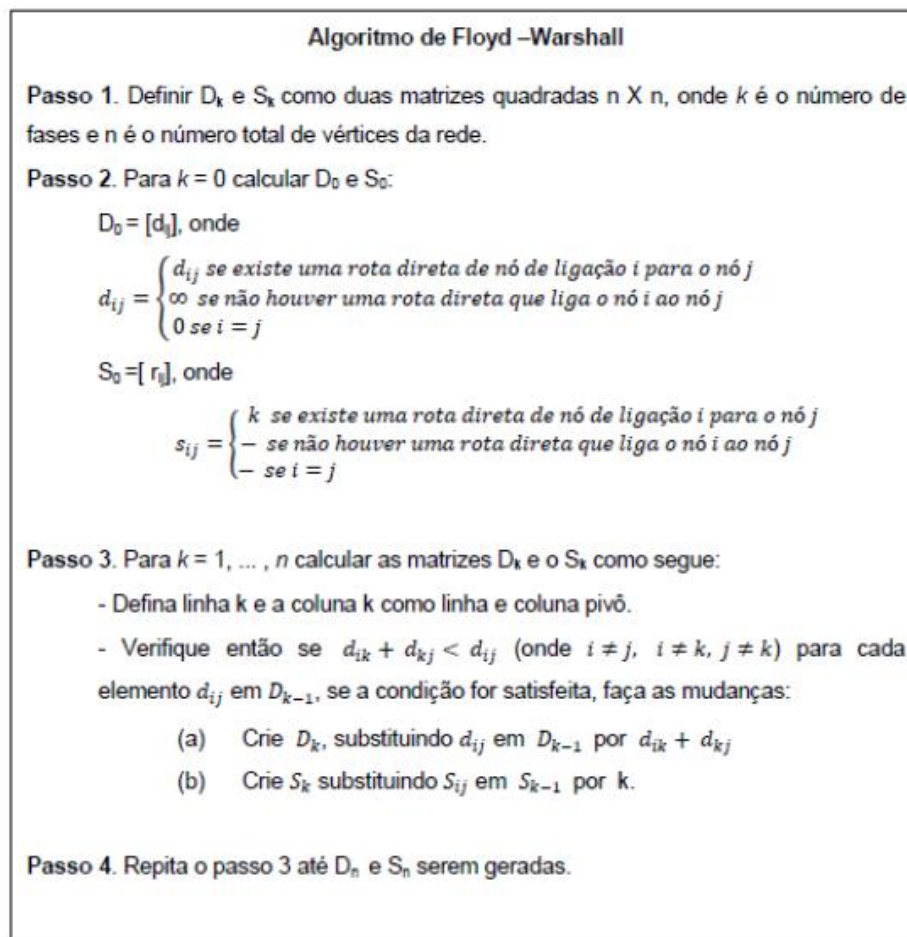


Figura 2: Código simplificado de Ford-Warshall
Fonte: Alves [7].

4. RESULTADOS

4.1 Características Operacionais e de Projeto

O evento de nuvem tóxica (H_2S) a ser estudado neste trabalho foi realizado baseado nas características operacionais e de projeto de uma Unidade de Hidrotratamento de Diesel, presente em uma refinaria de petróleo, mais especificamente na sua seção de Retificação.

Segundo Dietz [20], a seção de Retificação/Fracionamento tem por finalidade eliminar gases ácidos (H_2S) e HCs leves e fracionar componentes para atingir a qualidade desejada dos produtos. Na Retificação ajusta-se o ponto de fulgor do diesel tratado. Os efluentes da Retificação são: gás combustível, nafta, água residual e diesel. Estes são enviados para outras unidades, de modo que ainda precisam receber tratamento antes do consumo final.

De acordo com o Memorial Descritivo de Processo da Unidade, a Retificação é feita utilizando uma Torre Retificadora, que tem como objetivo especificar o ponto de fulgor do óleo diesel, removendo os hidrocarbonetos leves bem como H_2S e compostos de amônia como NH_4^+ . A saída dos gases de topo da torre após processo de resfriamento é coletada no Vaso de Topo da Torre Retificadora, que opera com temperatura em torno de $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ e pressão em torno de $8,5\text{ kgf/cm}^2$. Pela parte superior deste saem os gases ricos em H_2S (gás ácido), com temperatura em torno de $49,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. A Tabela 3 apresenta as características de operação e de projeto do Vaso.

VASO DE TOPO DA TORRE RETIFICADORA	
DADOS DE OPERAÇÃO	
Fluido	HC + ÁGUA + OFFGAS + H_2S
Pressão de Operação	$8,5\text{ kgf/cm}^2$
Temperatura de Operação	$45\text{ }^{\circ}\text{C}$
Capacidade	$14,4\text{ m}^3$
DADOS DE PROJETO	
Código	ASME VIII DIV. 1
Edição/Agenda	ED. 2007 / AD. 2008
Pressão de Projeto	12 kgf/cm^2
Temperatura de Projeto	$120\text{ }^{\circ}\text{C}$
Diâmetro Interno	1750 mm
Distância entre Tangentes	5400 mm
Tipo de Tampos	Toriférico 2:1

Tabela 3. Características Operacionais e de Projeto do Vaso de Topo da Torre Retificadora
Fonte: Memorial Descritivo do Projeto

4.2 Análise Preliminar de Perigos

Utilizando a metodologia citada na Seção 3.1 – Classificação de Perigos, realizou-se estudo dos possíveis cenários acidentais, causas, consequências, observações e, realizando a caracterização da severidade. Entre os equipamentos sujeitos à formação de nuvem tóxica de H_2S em caso de vazamento está o vaso de topo da torre retificadora da Unidade de Hidrotratamento de Diesel (HDT).

Perigo	Causa	Efeito	Categoria de severidade	Observações e recomendações
Grande vazamento de hidrocarbonetos do vaso de topo da torre retificadora	Perda de contenção em tubulação, acessórios e/ou equipamentos estáticos devido a sobrepressão ou baixa espessura	Incêndio, Explosão, Nuvem tóxica,	III	<ul style="list-style-type: none"> - Elaborar Plano de Resposta a Emergências. - Inspeccionar de acordo com planejamento previsto. - Manter as condições operacionais de acordo com o projeto.
	Perda de contenção no compressor por falha de selagem, tubulações e conexões auxiliares			

Tabela 4. Análise Preliminar de Perigos do cenário a ser estudado
Fonte: O Autor (2017)

Como resultado da análise, percebe-se que os cenários acidentais durante a operação do equipamento possuem severidade III, a segunda mais alta de acordo com a técnica APP. Entre as observações, a elaboração do plano de resposta a emergência foi recomendada.

4.3 Determinação das Consequências do Cenário – Nuvem Tóxica

Para a determinação das consequências do cenário acidental por meio do *software* ALOHA, foi realizado levantamento de dados relacionados ao local de instalação da unidade industrial. Entre estes citam-se as coordenadas georreferenciadas do ponto de vazamento (altitude, latitude, longitude coordenadas, elevação) e os parâmetros atmosféricos (velocidade do vento, direção do vento, local da instalação, condições do tempo, temperatura do ar, umidade).

Além disso, foram incluídos os dados do produto, tipo de equipamento, tipo de evento, diâmetro da abertura de vazamento, tipo da abertura (furo/válvula/dreno), nível do produto e os parâmetros para dispersão da nuvem. A Tabela 5 apresenta esses dados de forma estruturada.

CENÁRIO – NUVEM TÓXICA EM VAZAMENTO NO VASO DE TOPO DA TORRE RETIFICADORA				
DADOS DO PRODUTO				
PRODUTO:	SULFETO DE HIDROGÊNIO	PESO MOLECULAR (g/mol):	34.08	
ATMOSFERA IPVS (PPM):	100	PONTO DE EBULIÇÃO (C°):	60,3	-
DADOS ATMOSFÉRICOS				
VELOCIDADE E DIREÇÃO DO VENTO (m/s):	6 a SUDOESTE	UMIDADE RELATIVA DO AR:	81%	
TEMPERATURA DO AR (°C)	27,2 °C	CONDIÇÕES CLIMÁTICAS:	TEMPO BOM SEM NUVENS	

Tabela 5: Cenário - Nuvem tóxica em vazamento no vaso de topo da torre retificadora
Fonte: O Autor (2017)

Conforme informado na Seção 2.2 – Análise de Vulnerabilidade, foram definidas as possíveis áreas a serem atingidas pelo cenário de nuvem tóxica de H₂S. Este se encontra dissolvido no petróleo e, ao se desprender dos hidrocarbonetos, pode formar nuvens tóxicas prejudiciais à saúde humana, sendo o IDLH - *Immediately Dangerous to Life or Health* (concentração máxima na qual um trabalhador pode ficar exposto sem prejudicar a saúde durante 30 minutos) igual a 100 ppm. Além disso, por ser um gás inflamável pode ocorrer a formação de chama na presença de uma fonte de ignição. Portanto, o H₂S pode ser considerado uma substância tóxica bastante representativa dentro do ambiente de refino de petróleo. [21]

A perda de contenção do produto simulada ocorreu através do vazamento do topo do vaso e a sua consequente formação de nuvem tóxica através do rompimento do suspiro (vent) da parte superior do vaso. O mesmo possui diâmetro nominal de 2". A simulação ocorreu durante 60 minutos com uma liberação de 65 g/min, resultando uma massa total de 3,9 kg.

Os limites de exposição tóxica escolhidos para a simulação estão em acordo com o tempo de vazamento. A maior parte da dispersão pertence à zona AEGL-1 [60 min] (*Acute Exposure Guideline Level* - Nível de Orientação de Exposição Aguda), em que o efeito sobre a saúde das pessoas nessa área é considerado leve e transitório. Nessa zona, a concentração do sulfeto de hidrogênio é de 0,51 ppm (partes por milhão) com um alcance de 664 metros em amarelo. A zona intermediária (AEGL-2) [60 min] em laranja, representa locais onde se pode apresentar efeitos mais severos à saúde causado pela exposição tóxica de concentração entre 27

ppm e 50 ppm. Essa região possui alcance de 87 metros. Já a região em vermelho (AEGL-3) [60 min], representa a zona mais crítica, onde o risco de morte é iminente. Essa área possui alcance de 64 metros. As zonas estão representadas na Figura 2.

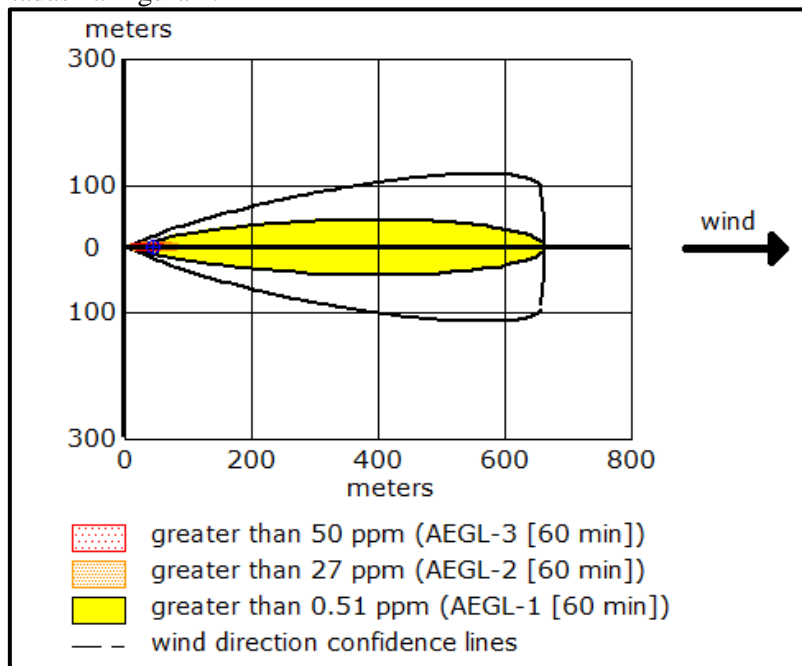


Figura 2 – Zona de Ameaça para dispersão em nuvem tóxica do Cenário Estudado
Fonte: O Autor (2017)

Com base na planta da unidade, foram estabelecidos os grafos entre a base da equipe de emergência (ponto 01) e o local de ocorrência do evento (ponto 15 – aproximado), bem como os trechos adjacentes para acesso. As distâncias foram estabelecidas em metros.

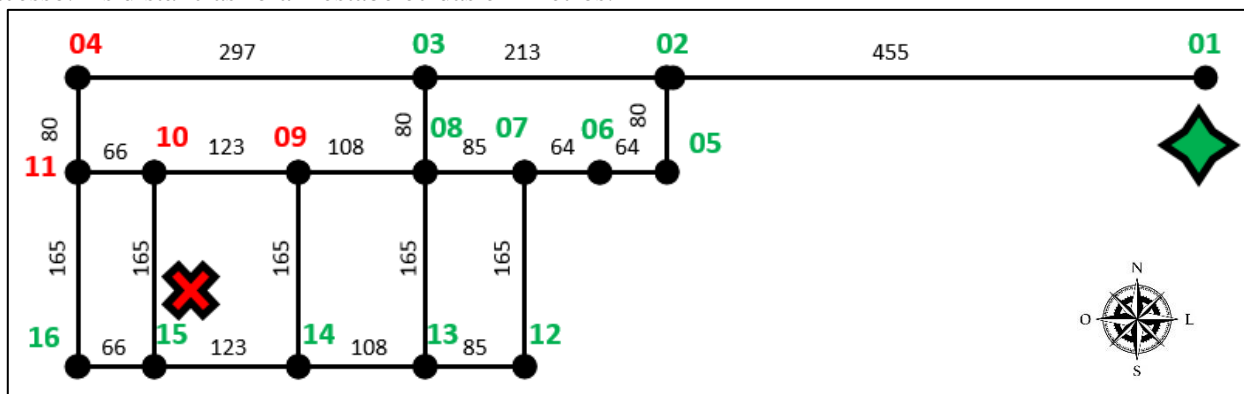


Figura 3. – Grafo mostrando os pontos de interesse
Fonte: O Autor (2017)

Analisando-se as consequências do cenário (Figura 2), os pontos 04, 09, 10 e 11 (em vermelho) seriam atingidos pela nuvem tóxica. Logo as equipes de emergência não podem acessar o ponto 15 por meio desses pontos. Sendo assim, foi utilizado o algoritmo de Floyd-Warshall para definir as menores distâncias entre os pontos, levando-se em consideração a restrição citada.

4.4 Definição das distâncias utilizando o Algoritmo de Floyd-Warshall

De acordo com o método descrito na Seção 3.3, as menores distâncias entre os pares de pontos foram definidas utilizando-se o algoritmo de Floyd-Warshall, de acordo com o grafo da Figura 3. Importante mencionar que o grafo possui estrutura simples, podendo-se inclusive de forma visual estabelecer o caminho

mais curto. Entretanto, essa mesma metodologia será usada no futuro para grafos maiores, com maior quantidade de pontos e com outros tipos de cenário, conforme os estudos de análise de risco da planta.

Primeiro, usou-se o algoritmo para encontrar as distâncias, desconsiderando os pontos não permitidos para acesso (04, 09, 10 e 11). No eixo vertical temos os pontos de partida e no horizontal os pontos de chegada. O cruzamento destes resulta na menor distância (ver Figura 4).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0	455	668	965	535	599	663	748	856	979	1045	828	913	1021	1144	1210
2	455	0	213	510	80	144	208	293	401	524	590	373	458	566	689	755
3	668	213	0	297	293	229	165	80	188	311	377	330	245	353	476	542
4	965	510	297	0	590	526	462	377	269	146	80	555	542	434	311	245
5	535	80	293	526	0	64	128	213	321	444	510	293	378	486	609	675
6	599	144	229	462	64	0	64	149	257	380	446	229	314	422	545	611
7	663	208	165	462	128	64	0	85	193	316	382	165	250	358	481	547
8	748	293	80	377	213	149	85	0	108	231	297	250	165	273	396	462
9	856	401	188	269	321	257	193	108	0	123	189	286	273	165	288	354
10	979	524	311	146	444	380	316	231	123	0	66	409	396	288	165	231
11	1045	590	377	80	510	446	382	297	189	66	0	475	462	354	231	165
12	828	373	330	627	293	229	165	250	358	481	547	0	85	193	316	382
13	913	458	245	542	378	314	250	165	273	396	462	85	0	108	231	297
14	1021	566	353	434	486	422	358	273	165	288	354	193	108	0	123	189
15	1144	689	476	311	609	545	481	396	288	165	231	316	231	123	0	66
16	1210	755	542	245	675	611	547	462	354	231	165	382	297	189	66	0

Figura 4 – Matriz com distâncias entre todos os pares de pontos do grafo

Fonte: O Autor (2017)

Após isso, realizou-se nova iteração considerando a restrição de acesso para os pontos 04, 09, 10 e 11. Foi adotado o valor 9999 como distância entre os pontos de partida até esses, de modo que no resultado a ser mostrado, esses pontos não pudessem ser considerados para o acesso, devido à presença da nuvem de H₂S. A Figura 5 apresenta as distâncias encontradas.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0	455	668	9999	535	599	663	748	9999	9999	9999	828	913	1021	1144	1210
2	455	0	213	9999	80	144	208	293	9999	9999	9999	373	458	566	689	755
3	668	213	0	9999	293	229	165	80	9999	9999	9999	330	245	353	476	542
4	965	510	297	0	590	526	462	377	9999	9999	9999	627	542	434	311	245
5	535	80	293	9999	0	64	128	213	9999	9999	9999	293	378	486	609	675
6	599	144	229	9999	64	0	64	149	9999	9999	9999	229	314	422	545	611
7	663	208	165	9999	128	64	0	85	9999	9999	9999	165	250	358	481	547
8	748	293	80	9999	213	149	85	0	9999	9999	9999	250	165	273	396	462
9	856	401	188	9999	321	257	193	108	0	9999	9999	286	273	165	288	354
10	979	524	311	9999	444	380	316	231	9999	0	9999	481	396	288	165	231
11	1045	590	377	9999	510	446	382	297	9999	9999	0	547	462	354	231	165
12	828	373	330	9999	293	229	165	250	9999	9999	9999	0	85	193	316	382
13	913	458	245	9999	378	314	250	165	9999	9999	9999	85	0	108	231	297
14	1021	566	353	9999	486	422	358	273	9999	9999	9999	193	108	0	123	189
15	1144	689	476	9999	609	545	481	396	9999	9999	9999	316	231	123	0	66
16	1210	755	542	9999	675	611	547	462	9999	9999	9999	382	297	189	66	0

Figura 5 – Matriz com distâncias entre pontos do grafo considerando a nuvem tóxica

Fonte: Autor (2017)

Logo, como exemplo, caso se deseje sair do ponto 1 (base do setor de emergência) até o ponto 15, local mais próximo do evento accidental, a menor distância a ser percorrida será de 1144 metros.

Também foram estabelecidas as sequências válidas levando-se em consideração a menor distância, de acordo com a tabela abaixo:

Caminho	Sequência	Quantidade de Pontos
1	01 – 02 – 03 – 08 – 13 – 14 – 15	7
2	01 – 02 – 05 – 06 – 07 – 12 – 13 – 14 – 15	9
3	01 – 02 – 05 – 06 – 07 – 08 – 13 – 14 – 15	9

Tabela 6: Sequências para atendimento considerando a menor distância

Fonte: O Autor (2017)

Foi-se estabelecido a quantidade de pontos que a equipe de emergência atingirá até chegar ao destino final. Esse dado é importante, pois, nesses pontos há cruzamento entre as vias, como também locais com possíveis mudanças de direção. Sendo assim, quanto menor for a quantidade de pontos, mais rápido a equipe se deslocará até o ponto de interesse. Conclui-se então que o Caminho 1 é o mais adequado para deslocamento entre a base do setor de emergência (ponto 1) e o local de atendimento para o cenário de nuvem tóxica (ponto 15).

5. CONCLUSÕES

Esse trabalho buscou encontrar as menores distâncias entre pares de pontos em um grafo representativo de uma refinaria a partir do algoritmo de Floyd-Warshall. Tal ferramenta foi implementada visando apoiar a decisão de uma equipe de emergência presente na refinaria durante o planejamento para um cenário accidental identificado em sua análise de risco. O mesmo também poderá ser empregado para outros cenários accidentais, como também para realização de exercícios simulados de emergência.

Observar-se que o uso do algoritmo, por apresentar as distâncias entre todos os pares do grafo, também pode ser utilizado para situações onde a equipe esteja em outros pontos da refinaria, não somente partindo do ponto 01, oferecendo um dado importante para o planejamento de resposta a emergência.

Além da ação mitigadora em si, bem como o estudo do cenário, o tempo para atendimento à emergência é preponderante para evitar perdas, sejam elas relacionadas com as pessoas, o patrimônio, a imagem da empresa, ao meio ambiente, bem como a sua continuidade operacional. Sendo assim, a aplicação da Pesquisa Operacional, mais especificamente o trabalho em redes tornou-se importante para a solução do problema mencionado.

6. REFERÊNCIAS

- [1] DNV. “The Risks Arising From Major Accident Hazards, Lessons From The Past, Opportunities For The Future”, DNV, USA (2008).
- [2] OIT – Organização Internacional do Trabalho. “Convenção nº 174 – Convenção sobre a Prevenção de Acidentes Industriais Maiores”, 1991, 8 p.
- [3] CHETTOUH, S.; HAMZI, R.; BENAROUA, K. “Examination of Fire and related accidents in Skikda Oil Refinery for the period 2002-2013”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, V. 41, maio 2016, p. 186 (2016).
- [4] PEREZ, R. C., “*Emergências Tecnológicas*”, Editora Cidade, Sorocaba, Brasil (2016).
- [5] GUIDOTTI, T. L., “Hydrogen Sulfide: Advances in Understanding Human Toxicity”, *International Journal of Toxicology*, V. 26 (6), p. 569 (2010).

- [6] BASTOS, A. B. F. D.; RODRIGUES, G. R.; BARBOSA, L. C.; MORADO H. P. M. C.; ANDRADE, C. P. "Gestão de Gases Ácidos nas Refinarias da Petrobras com Foco em Redução de Emissões Atmosféricas", *Anais do I Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – I Conepetro*, João Pessoa, PB, Brasil 13 a 15 de maio 2015, Editora Realize (2015).
- [7] ALVES, Roberta; COLMENERO, João Carlos, "Método Matemático Para Seleção De Rotas De Patrulhamento Escolar De Emergencia: O Caso Da Patrulha Escolar De Ponta Grossa", *Anais do XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP 2015*, Fortaleza, CE, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2015. ABEPRO (2015).
- [8] ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. "Pesquisa Operacional para Cursos de Engenharia." Rio de Janeiro: Elsevier, (2007).
- [9] AINI, A.; SALEHIPOUR A. "Speeding up the Floyd–Warshall algorithm for the cycled shortest path problem", *Applied Mathematics Letters*. V. 25, p. 1 (2012).
- [10] TAKEDA, Renata Algisi; "Uma Contribuição para Avaliar o Desempenho de Sistemas de Transporte Emergencial de Saúde." 01.12.2000. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, São Paulo. (2000)
- [11] SERPA, R.R.; FANTAZZINE, M. L. "Aspectos Gerais de Segurança e Elementos de Gerenciamento de Riscos", Rio de Janeiro – ITSEMAP do Brasil, Serviços Tecnológicos MAPFRE. (2002).
- [12] PEREIRA, R. A.; GARCIA, L. C.; MELO, V. A.; TEIXEIRA, P. J. M.; NETTO, P. O. B.; JURKIEWICZ, S. "Distribuição de Cabines de Segurança em Parte do Bairro do Leblon na Cidade do Rio de Janeiro", *Anais do XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – SBPO 2005*, Gramado, RS, Brasil, 27 a 30 de setembro de 2005. SOBRAPO (2015).
- [13] DOU F.; YAN K.; HUANG, Y.; WANG, L.; JIA L. "Optimal Path Choice in Railway Passenger Travel Network Based on Residual Train Capacity", *Hindawi Publishing Corporation - Scientific World Journal*. V. 2014, p. 1 (2014).
- [14] STEINER, M. T. A.; ZAMBONI, L. V. S.; COSTA, D. M., B.; CARNIERI, C.; SILVA, A. L. "O Problema de Roteamento no Transporte Escolar", *Pesquisa Operacional*. V. 20, p. 1 (2000).
- [15] CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. "Norma Técnica P4.261: Risco de Acidente de Origem Tecnológica – Método para decisão e termos de referências". 2 ed. São Paulo, 2014.
- [16] PALAZZI, E.; DEFAVERI M.; FUMAROLA G.; FERRAILOLO, G. "Diffusion from a Steady Source of Short Duration." *Atmospheric Environment*. V. 16, n 12, p. 2785. (1982).
- [17] NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. "NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 43 ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) 5.4.4 Technical Documentation". Seattle, Washington. November 2013.
- [18] FLOYD, R. W. "Algorithm 97: shortest path." *Communications of the ACM*, v. 5, n. 6, p. 345, 1962.
- [19] WARSHALL, S.. "A theorem on boolean matrices." *Journal of the ACM (JACM)*, v.9, n.1, p.11-12. 1962
- [20] DIETZ, A. C.; "Modelagem e Simulação de Reatores de Hidrotratamento (HDT) de Correntes de Diesel." Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul. (2014)

[21] CETESB; Ficha de Informação de Produto Químico – FISPQ. Disponível em <
http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=SULFETO%20DE%20HIDROG%CANIO>. Acesso em 20.09.2017