

ESTUDO DAS CONSEQUÊNCIAS DE INCÊNDIO EM POÇA EM TANQUE DE NAFTA LEVE PRESENTE EM REFINARIA DE PETRÓLEO

Paulo Renato Ferreira Targino Soares 1

Isis Didier Lins 2

Márcio José das Chagas Moura 3

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo das consequências de um incêndio em um tanque de nafta leve instalado em uma refinaria de petróleo. Para isso, foram levantados por meio de técnica APP – Análise Preliminar de Perigos, os perigos vinculados à operação desse tipo de equipamento. Entre os perigos identificados, a possibilidade de incêndio foi vista como de categoria de severidade mais alta. Sendo assim, o estudo das consequências desse tipo de evento dentro da planta petroquímica em questão torna-se necessário. Para a simulação do evento e definição das possíveis zonas de influência, foi utilizado o software ALOHA – Areal Locations of Hazardous Atmospheres editado pela NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration (EUA). Como entrada para o ALOHA, foram usados dados químicos da nafta leve, dados atmosféricos do local em que o tanque está instalado, bem como os dados referentes à operação do equipamento na refinaria. O resultado das análises possibilitou às equipes de resposta a emergências da unidade industrial a planejar de forma mais efetiva as possíveis ações de mitigação para eventos desse tipo. O conhecimento dos eventos, bem como a atuação eficiente nos sinistros, além de preservar vidas, pode proteger o meio ambiente, o patrimônio e a imagem empresarial e garantir a continuidade operacional da refinaria.

Palavras-chaves: Explosão. Tanque. Refinaria. Emergência. Análise de consequência.

1 Refinaria Abreu e Lima (RNEST), Petróleo Brasileiro S.A.

2 Centro de Estudos e Ensaio em Risco e Modelagem Ambiental (CEERMA),
Universidade Federal de Pernambuco

3 Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco

STUDY OF FIRE CONSEQUENCES IN POOR IN NAFTA TANK LIGHT PRESENT IN PETROLEUM REFINERY

ABSTRACT

This paper presents a study of the consequences of a fire in a light naphtha tank installed in an oil refinery. For this, Preliminary Hazard Analysis (PHA) was used to identify the potential hazards linked to this type of equipment. The possibility of fire was seen as an effect of highest severity category. Therefore, the study of the consequences of this type of event within the petrochemical plant in question becomes necessary. For the simulation of the event and a definition of the areas of influence we used the software ALOHA - Areal Locations of Hazardous Atmospheres software edited by the NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration (EUA). As input for ALOHA, we provided the chemical data of light naphtha, the atmospheric data related to the location where the tank is installed and the data regarding the operation of the equipment in the refinery. The result of the analysis enabled the response units of the industrial unit to effectively plan mitigation actions for such events. The knowledge of the events, as well as an efficient performance to mitigate consequences, besides preserving lives, can protect the environment, the corporate patrimony and image and guarantee operational continuity of the oil refinery.

Keywords: Explosion. Tank. Refinery. Emergency. Consequence analysis.

1 INTRODUÇÃO

Durante a Revolução Industrial, ocorrida no século XVIII, os centros urbanos e as indústrias passaram por intensas modificações. Tais modificações consistem basicamente em: evolução tecnológica dos processos produtivos; descoberta de novas matérias-primas; aumento do volume de produção e busca por novos mercados pelas empresas. Esses eventos modificaram o cenário existente em muitos países, e a velocidade de controle sobre essas novas tecnologias ainda não conseguiu acompanhar a velocidade com que elas avançam.

Devido às suas características de design 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. (DNV, 2008).

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 (OIT, 1991).

Chettouh (2016) afirma que os acidentes maiores possuem uma natureza multidimensional, decorrentes de uma ampla gama de fatores que interagem de forma aparentemente 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, acidentes industriais causam uma série de mortes, feridos e perdas de propriedade devido às operações de refino de petróleo. Mesmo que o

Revista FLAMMAE

Revista Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco
Seção 3 – Anais de Eventos Técnicos-Científicos
XVII Seminário Nacional de Bombeiros – João Pessoa PB
Vol.03 Nº08 - **Edição Especial XVII SENABOM** - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: <http://www.revistaflammae.com>.

acidente seja menor, pode levar à perda de propriedade de milhões de dólares e vários dias de interrupção da produção (Chang e Lin, 2006).

Segundo a Revista Emergência (2016), dos cenários acidentais com tanques que armazenam líquidos inflamáveis de baixo ponto de fulgor, os que envolvem tanques de gasolina e nafta são os mais críticos. Acidentes maiores envolvendo parques de armazenamento ocorreram em vários lugares no mundo, assim como no Brasil. Em 2 de abril de 2015, o país vivenciou seu maior incêndio industrial, iniciado em uma das maiores companhias brasileiras de estocagem de combustíveis, a Ultracargo. Seis tanques que continham gasolina e etanol foram atingidos pelas chamas, extintas somente após nove dias de operações no terminal localizado no bairro Alemoa, em Santos/SP.

Análises de consequências envolvendo cenários acidentes com inflamáveis são presentes em diversas publicações. Oliveira e Alencar (2014) utilizaram ferramentas de simulação para determinação de distâncias seguras em áreas consideradas de risco para o trabalho com inflamáveis. Vasanth (2013) realizou análise de consequências levando em consideração a ocorrência de múltiplos incêndios em poça, avaliando não somente as consequências como também a melhor forma de controle. Já Rebec (2014) realizou estudo de consequência em um tanque de óleo leve sujeito a incêndio em poça. Sua simulação esteve focada em analisar o comportamento estrutural do equipamento em relação a uma possível deformação ou colapso. No presente trabalho, a análise de consequência visou apoiar as ações da brigada de emergência, tanto na mitigação de eventos como no apoio ao planejamento de respostas a emergências. Também foram levantadas necessidades de estudos secundários quanto a ocorrência de acidentes com possibilidade de ocorrência em cadeia ou em sequência (efeitos dominó). Além disso, o estudo pode ser usado para projetos futuros relacionados a equipamentos do mesmo tipo.

O trabalho está organizado como segue. A Seção 2 apresenta a metodologia empregada. Na Seção 3, temos os resultados encontrados em consideração a metodologia aplicada e na Seção 4 temos as discussões e conclusões do trabalho.

2 METODOLOGIA

2.1 Classificação de Perigos

A identificação de perigos consiste na aplicação de técnicas estruturadas para a identificação das possíveis sequências de acidentes, para a definição dos cenários acidentais a serem estudados de forma detalhada. As técnicas disponíveis para a realização desta atividade são muitas e, dependendo do empreendimento a ser analisado e do detalhamento necessário, deve-se utilizar as metodologias mais adequadas para o caso em estudo (CETESB, 2003)

Para a classificação do perigo “incêndio”, foi realizada usada a técnica Análise Preliminar de Perigos (APP). Do inglês *Preliminary Hazard Analysis (PHA)*, é a técnica que 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 focalizar 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. (CETESB, 2003)

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.

Revista FLAMMAE

Revista Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco
Seção 3 – Anais de Eventos Técnicos-Científicos
XVII Seminário Nacional de Bombeiros – João Pessoa PB
Vol.03 Nº08 - Edição Especial XVII SENABOM - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: <http://www.revistaflammae.com>.

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 (2003)

Perigo	Causa	Efeito	Categoria de severidade	Observações e recomendações

Tabela 2. Modelo de planilha para APP

Fonte: CETESB (2003)

2.2 Análise de Vulnerabilidade

Revista FLAMMAE

Revista Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco
Seção 3 – Anais de Eventos Técnicos-Científicos
XVII Seminário Nacional de Bombeiros – João Pessoa PB
Vol.03 Nº08 - Edição Especial XVII SENABOM - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: <http://www.revistaflammae.com>.

De acordo a CETESB (2003) 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 sobre pressão advinda de explosões, radiações térmicas decorrentes de incêndios e efeitos tóxicos advindos da exposição a uma alta concentração de substâncias químicas por um curto período de tempo.

A análise de vulnerabilidade visa quantificar os efeitos de um possível incêndio, realizados a partir de cenários encontrados na APP. A quantificação foi realizada a partir dos dados químicos da nafta leve, dos dados da atmosfera do local em que o tanque está instalado, bem como dos dados referentes à operação do equipamento na refinaria. O objetivo desta análise é determinar a distância e os impactos causados pelo incêndio 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). De acordo com NOAA (2013), o ALOHA emprega modelos de chama para calcular os riscos de radiação térmica das bolas de fogo, jatos de fogo e incêndios em poça. Nestes três cenários, o fluxo de radiação térmica emitida a partir da superfície da chama é calculado e a radiação que atinge uma área distante é encontrada usando a equação 1:

$$q = E \times F \times T \quad (1)$$

em que:

q = fluxo de radiação térmica incidente sobre uma superfície vertical ($W.m^{-2}$),

E = fluxo de energia da radiação térmica na superfície do fogo ($W.m^{-2}$),

F = fator de acordo com a geometria do objeto, e

T = transmissividade da atmosfera para a radiação térmica.

O gráfico construído pelo ALOHA para os cenários acidentais citados é baseado em três zonas de risco de acordo com o alcance da radiação térmica:

- Área Vermelha - Limiar de mortalidade: $10kW/m^2$;

- Área Laranja - Queimaduras de segundo grau em pele desprotegida: $5\text{kW}/\text{m}^2$;
- Área Amarela - Pode causar dor: $2\text{kW}/\text{m}^2$;

O gráfico refere-se a durações de exposição de 60 segundos ou menos para esses efeitos. Há exemplo na Figura 1 a seguir.

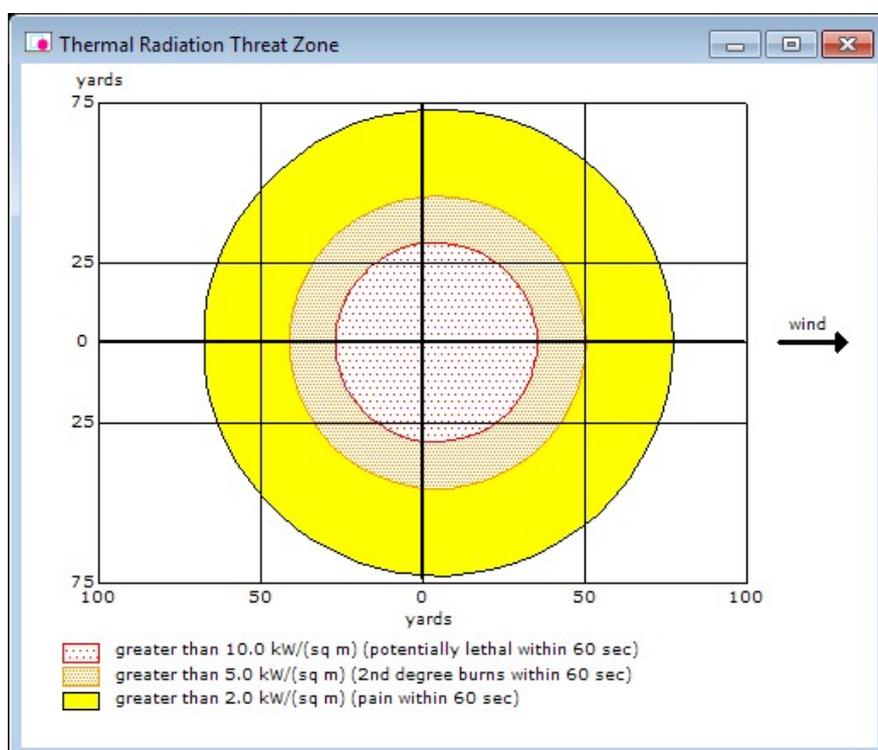


Figura 1. - Zona de Risco para Radiação Térmica no Aloha – Exemplo

Fonte: NOAA (2013)

3 RESULTADOS

3.1 Características Operacionais e de Projeto

O tanque em estudo encontra-se instalado em uma área de tancagem da planta petroquímica. Além deste, existe no seu entorno outros com características diversas relacionadas a construção estrutural e conteúdo. A presente composição torna o estudo da influência dos possíveis cenários fundamental para o

planejamento de resposta a emergência. A Tabela 3 apresenta as características do tanque de nafta em estudo:

SERVIÇO:	ARMAZENAMENTO DE NAFTA LEVE DE COQUE		
NORMA DE PROJETO:	API – 650 – 11ª EDIÇÃO		
CAPACIDADE NOMINAL (m³)	6040	DIÂMETRO NOMINAL (mm)	22900
DENSIDADE DE PROJETO	0,745	ALTURA NOMINAL (mm)	14716
TEMPERATURA DE PROJETO (°C)	26/68	TEMPERATURA DE OPERAÇÃO (°C)	38
PRESSÃO DE PROJETO (mmH₂O)	31	PRESSÃO DE OPERAÇÃO (mmH₂O)	ATMOSFÉRICA
PESO EM OPERAÇÃO (kgf)	4614400	PESO VAZIO (kgf)	114600

Tabela 3: Características do Tanque de Nafta Leve

Fonte: Dados de Projeto do Equipamento

3.2 Análise Preliminar de Perigos

Utilizando a metodologia citada no item 2.1 – Classificação de Perigos, realizou-se estudo dos possíveis cenários acidentes, causas, consequências e observações, realizando a caracterização da severidade de acordo com a Tabela 4: análise.

Perigo	Causa	Efeito	Categoria de severidade	Observações e recomendações
Grande vazamento de hidrocarbonetos leves	Perda de contenção em tubulação, acessórios e/ou equipamentos estáticos devido a sobrepressão ou baixa espessura	Incêndio em poça ou em nuvem	III	- Elaborar plano de resposta a emergências. - Inspecionar de acordo com planejamento previsto.
	Rompimento de costado, transbordamento ou furo na base do			- Manter as condições operacionais de acordo com o

Revista FLAMMAE

Revista Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco
Seção 3 – Anais de Eventos Técnicos-Científicos
XVII Seminário Nacional de Bombeiros – João Pessoa PB
Vol.03 Nº08 - **Edição Especial XVII SENABOM** - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: <http://www.revistaflammae.com>.

	tanque			projeto.
	Adernamento ou furo de teto de tanque			

Tabela 4: Aplicação da Análise Preliminar de Perigos - APP

Fonte: Esta pesquisa

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 metodologia da técnica APP. Entre as observações, a execução do plano de resposta a emergências foi recomendada.

3.3 Determinação das Consequências do Cenário - Incêndio em Poça

Para a determinação das consequências do cenário acidental para utilização do software ALOHA, foi realizado levantamento de dados relacionados ao local de instalação da unidade industrial. Entre estes podemos citar as coordenadas georreferenciadas do ponto de vazamento (altitude, coordenadas, elevação) e os parâmetros atmosféricos (velocidade do vento, direção do vento, instalação, condições do tempo, temperatura do ar, parâmetros de 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 no tanque e os parâmetros radiação térmica (item 2.2). A Tabela 5 contém os dados utilizados.

CENÁRIO - INCÊNDIO EM POÇA EM TANQUE DE NAFTA			
DADOS DO PRODUTO			
PRODUTO:	NAFTA (N-PENTANO)	PESO MOLECULAR (g/mol):	72,15
ATMOSFERA IPVS (PPM):	1500	PONTO DE EBULIÇÃO (C°):	36,1
DADOS ATMOSFÉRICOS			
VELOCIDADE E DIREÇÃO DO VENTO (m/s):	6 a NOROESTE	UMIDADE RELATIVA DO AR:	81%
TEMPERATURA DO	27,2 °C	CONDIÇÕES	TEMPO BOM

Revista FLAMMAE

Revista Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco
Seção 3 – Anais de Eventos Técnicos-Científicos
XVII Seminário Nacional de Bombeiros – João Pessoa PB
Vol.03 Nº08 - Edição Especial XVII SENABOM - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: <http://www.revistaflammae.com>.

AR (°C)		CLIMÁTICAS:	SEM NUVENS
---------	--	-------------	------------

Tabela 5: Cenário - Incêndio em Poça em Tanque de Nafta

Fonte: Autor

3.4 Análise de Vulnerabilidade do Cenário

Conforme informado no item 2.2 – Análise de Vulnerabilidade, utilizou-se o software ALOHA para definição das possíveis áreas a serem atingidas pelo cenário incêndio em poça do tanque de nafta definidos nesse trabalho.

A perda de contenção do produto químico inflamável do tanque e o seu consequente incêndio ocorre através de um rompimento do flange de uma válvula de 6” no tanque cilíndrico vertical, a uma altura de 1,50m do fundo do tanque. No momento da ocorrência, foi considerado que o tanque está 100% cheio com temperatura interna de 27,2 °C.

As chamas atingiram 50 metros, com uma taxa de queima de 5.400 kg/min. Além disso foram queimados cerca de 312.785 kg do produto durante uma hora de cenário. A poça se espalhou em um diâmetro de 31 metros.

Em relação à radiação térmica provocada pelo incêndio, a Figura 2 mostra as zonas de ameaça determinadas pelo ALOHA.

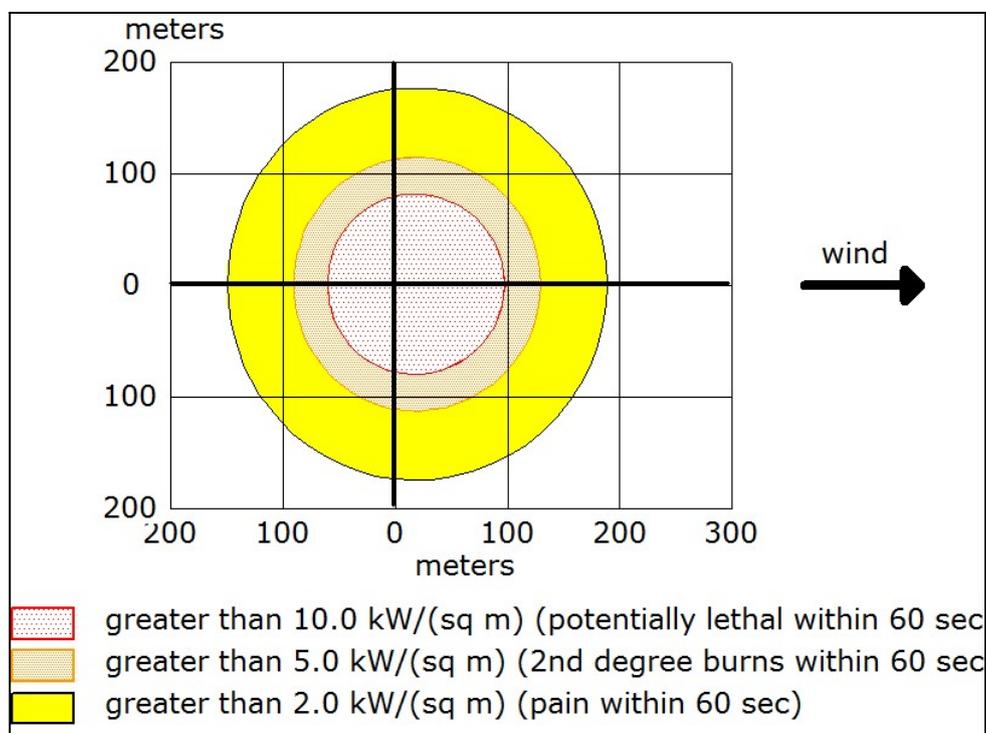


Figura 2. - Zona de Ameaça para Radiação Térmica do Cenário Estudado

Fonte: Esta pesquisa

A determinação das zonas nos mostrou que a área vermelha teve 99 metros de diâmetro. Essa área é considerada potencialmente letal, com uma radiação térmica 10 kW/m^2 . A zona em laranja teve 131 metros de diâmetro, com radiação térmica de 5 kW/m^2 . Nessa zona há a possibilidade de haver queimaduras de segundo grau. Já a terceira zona em amarelo, corresponde a um diâmetro de 191 metros com radiação térmica de 2 kW/m^2 , podendo causar danos menores.

4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Análise dos dados apresentados nos mostrou a forte influência que o evento incêndio em poça pode provocar na instalação industrial. Observando as zonas de alcance na planta, além do tanque mencionado outros poderiam ser atingidos pela radiação térmica. Podemos citar outros tanques de nafta que estão próximos ao sul desse tanque, tanques de diesel tratado do lado leste e um tanque de nafta

Revista FLAMMAE

Revista Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco
Seção 3 – Anais de Eventos Técnicos-Científicos
XVII Seminário Nacional de Bombeiros – João Pessoa PB
Vol.03 Nº08 - **Edição Especial XVII SENABOM** - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: <http://www.revistaflammae.com>.

petroquímica localizado a oeste do tanque com sinistro. De acordo com a radiação térmica emitida, estudos secundários de acidentes com característica de cadeia ou sequência chamados de “efeito dominó” podem ocorrer. A probabilidade de acometimento pode ser avaliada de acordo com estudos realizados, a exemplo deste trabalho.

De acordo com a ABNT NBR 15219:2005 - Plano de emergência contra incêndio – Requisitos, deve ser prevista a interface do plano de emergência contra incêndio com outros planos da planta, por exemplo os associados a explosões, inundações, atentados, vazamentos etc. Sendo assim, baseado no estudo desse evento, a organização poderá realizar seu planejamento de emergência observando aspectos como: delimitação das regiões para isolamento, local para instalação do comando local de emergência, determinação dos equipamentos a serem usados durante o combate, trajeto a ser realizado pelas equipes de emergência para o atendimento, entre outros.

O conceito de risco social, refere-se ao risco para um determinado número ou agrupamento de pessoas expostas aos efeitos físicos decorrentes de um ou mais cenários acidentais (CETESB, 2003). A determinação desses riscos, também dependem do estudo das consequências desses eventos. Ainda, é possível determinar os pontos de encontro e as rotas para a evacuação de acordo com os resultados.

O estudo das consequências também pode servir de alternativa para futuros projetos. A abrangência dos eventos influencia as escolhas relacionadas a novos projetos. Citam-se as alternativas ligadas à localização desses equipamentos na planta, especificação dos equipamentos a serem instalados nas redes de combate a incêndio, localização de equipamentos auxiliares como conjuntos de respiração autônoma, entre outros.

REFEFÊNCIAS

Revista FLAMMAE

Revista Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco
Seção 3 – Anais de Eventos Técnicos-Científicos
XVII Seminário Nacional de Bombeiros – João Pessoa PB
Vol.03 Nº08 - **Edição Especial XVII SENABOM** - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: <http://www.revistaflammae.com>.

DNV. (2008). *The risks arising from major accident hazards, lessons from the past, opportunities for the future*, USA.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - *Manual de Orientação para Elaboração de Estudos de Análise de Riscos. Norma Técnica P4.261*, Maio, 2003.

Christou, M. D. (1999). *Analysis and control of major accidents from the intermediate temporary storage of dangerous substances in marshalling yards and port areas*. *Journal of loss prevention in the process industries*, 12(1), 109-119.

Chang J. I., Lin C. C. (2006) *A study of storage tank accidents*. *Journal of loss prevention in the process industries*, 19(1), 51-59.

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.

Revista Emergência. *Risco Estocado - Acidentes envolvendo armazenamento de combustíveis e inflamáveis nopaís refletem a importância da integração das equipes de atendimento, do uso de técnicas e equipamentos adequados e da segurança nas instalações*. Revista Emergência, Novo Hamburgo-Rs, Edição 03/2016, P. 24-32, março. 2016.

OIT – Organização Internacional do Trabalho. *Convenção nº 174 – Convenção sobre a Prevenção de Acidentes Industriais Maiores*, 1991, 8 p.

Revista FLAMMAE

Revista Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco
Seção 3 – Anais de Eventos Técnicos-Científicos

XVII Seminário Nacional de Bombeiros – João Pessoa PB

Vol.03 Nº08 - **Edição Especial XVII SENABOM** - ISSN 2359-4829

Versão on-line disponível em: <http://www.revistaflammae.com>