

UTILIZAÇÃO DO *SOFTWARE* ALOHA PARA O ESTUDO DE CENÁRIOS DE VAZAMENTO DE GÁS CLORO NA INDÚSTRIA DE PVC

N. L. dos SANTOS, A. H. da SILVA JÚNIOR, A. SILVA, T. J. LOPES*

Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Escola de Química e Alimentos, Campus de Santo Antônio da Patrulha

*E-mail para contato: tjlopes@furg.br

RESUMO – Os acidentes envolvendo o gás cloro podem expor trabalhadores e comunidade ao contato direto com o gás tóxico, provocando desde uma leve irritação nos olhos até uma intoxicação mais grave que pode levar a morte. Este trabalho objetiva o estudo do comportamento do gás cloro durante um vazamento acidental, utilizando o *software* ALOHA para a modelagem da dispersão atmosférica da nuvem de vapor tóxico. Os resultados fornecem informações que podem auxiliar na identificação dos riscos e na ação emergencial, estimando as consequências possíveis durante o vazamento.

1. INTRODUÇÃO

Nas indústrias de produção de PVC (Poli (cloreto de vinila)), os riscos químicos podem estar associados ao uso de gás cloro, uma vez que este composto está presente em 57% do monômero cloreto de vinila e apresenta alta toxicidade podendo ocasionar vários danos irreversíveis ao ser humano e ao ambiente atingido.

Estudos de análise de riscos, de consequência e de vulnerabilidade da dispersão de vapores tóxicos de gás cloro na forma de nuvens são de grande importância, pois permite a modelagem do acidente identificando áreas de risco e o comportamento da dispersão (PANDYA *et al.*, 2012). Em geral, o tamanho da zona de dissipação depende da quantidade de material liberado, da densidade, volatilidade e das condições atmosféricas. Desta maneira além da influência da quantidade liberada e taxa de liberação, devem-se considerar as condições e parâmetros atmosféricos relevantes para a dissipação das nuvens de vapor tóxico (KRAMER; MONTAÑO, 2010).

Algumas ferramentas computacionais podem auxiliar no estudo do comportamento da dispersão atmosférica de vapor. A modelagem de vazamentos pode ser estudada de forma mais detalhada com a ajuda de *software* ALOHA (Area Location of Hazardous atmospheres), desenvolvido pela NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). O ALOHA pode auxiliar no planejamento e treinamento em situações de emergência, com capacidade para avaliar os perigos de liberação de substâncias tóxicas e inflamáveis, onde se estima a distância a que uma dada concentração de interesse pode atingir em função do cenário acidental e também estima a radiação térmica nos casos de incêndio e explosões (CARDOSO JUNIOR; SCARPEL, 2012).

2. METODOLOGIA

No estudo do comportamento da dispersão atmosférica do vapor formado durante o vazamento de cloro, foram levadas em consideração as condições atmosféricas como velocidade do vento e umidade do ar, além da temperatura e intensidade da radiação térmica. Adotou-se a classificação segundo Pasquill (1961), onde os cenários 1,2 e 5 representam à classe A e os cenários 3, 4 e 6 a classe D. As classes A e D foram escolhidas por representarem as condições climáticas da região metropolitana da cidade de Porto Alegre – RS, região escolhida devido a presença de indústrias de produtos que necessitam de gás cloro como matéria-prima.

A dispersão de uma nuvem de vapor poluente no ar depende fortemente de como as condições atmosféricas interage com o vapor formado, pois a orientação da dispersão será traçada pela mesma orientação do vento no momento do vazamento. No Quadro 1 estão relacionados os principais dados de entrada no *software* ALOHA.

Quadro 1– Dados de entrada no *software* ALOHA

Dados de Entrada	Cenários					
	1	2	3	4	5	6
Velocidade do vento	2,5 m/s	2,5 m/s	10 m/s	10 m/s	2,5 m/s	10 m/s
Temperatura	25°C	25°C	15°C	15°C	25°C	15°C
Umidade do ar	65%	65%	98%	98%	65%	98%
Condições climáticas	Tempo bom sem nuvens	Tempo bom sem nuvens	Tempo chuvoso e frio	Tempo chuvoso e frio	Tempo bom sem nuvens	Tempo chuvoso e frio
Massa de produto no tanque	1000 kg	1000 kg	1000 kg	1000 kg	600 kg	600 kg
Altura do orifício de vazamento	0,50 m	0,10 m	0,50 m	0,10 m	0,50 m	0,10 m

Além das condições climáticas no instante do vazamento, a dispersão da nuvem de vapor também depende das dimensões e localização da ruptura no tanque por onde ocorre o vazamento. Foi considerado que o gás cloro está armazenado num tanque de aço carbono na fase líquida a temperatura ambiente sobre o efeito de alta pressão, em torno de 6 atm. O tanque possui um diâmetro externo de 1 m e comprimento de 1,22 m e está localizado junto ao solo da indústria ao ar livre. O vazamento de gás ocorre através de um orifício com 0,05m localizado no tanque.

A partir da etapa de caracterização das instalações de cloro, foram estabelecidos os cenários hipotéticos de acidentes com o agente químico estudado. Os cenários são

semelhantes, com variação apenas dos fenômenos associados ao vazamento e as condições climáticas.

A análise quantitativa e qualitativa das condições do vazamento foi realizada pela modelagem e simulação dos modelos de dispersão gaussiana usando o *software* ALOHA. O *software* usa o modelo de dispersão Gaussiano desenvolvido por Palazzi (PALAZZI *et al.*, 1982). Que descreve o comportamento de liberação do estado estacionário de curta duração. Este modelo é descrito na Equação 1:

$$C(x, y, z, t) = \begin{cases} \frac{\chi}{2} \left[\operatorname{erf} \left(\frac{x}{\sigma_x \sqrt{2}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{x - U_t}{\sigma_x \sqrt{2}} \right) \right] & (t \leq t_r) \\ \frac{\chi}{2} \left[\operatorname{erf} \left(\frac{x - U(t - t_r)}{\sigma_x \sqrt{2}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{x - U_t}{\sigma_x \sqrt{2}} \right) \right] & (t_r < t < \infty) \end{cases} \quad (1)$$

Onde: σ_x , σ_y e σ_z são parâmetros de dispersão; t_r é o tempo de duração do vazamento; U variável relacionada com o vento.

O termo χ representa uma distribuição de Gauss a partir de uma fonte pontual bem conhecida e em estado estacionário, visto na Equação 2 (HANNA *et al.*, 1982).

$$\chi(x, y, z, t) = \left(\frac{Q(t)}{U} \right) g_y(x, y) g_x(x, y) \quad (2)$$

Sendo g_y calculado pela a Equação 3.

$$g_y(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y(x)} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y(x)} \right)^2 \right] \quad (3)$$

e g_z é calculado pela Equação 4.

$$g_z(x, z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z(x)} \left\{ \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z - h_s}{\sigma_z(x)} \right)^2 \right] + \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z + h_s}{\sigma_z(x)} \right)^2 \right] \right\} \quad (4)$$

onde h_s é a altura do lançamento.

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

Os dados de cada cenário foram inseridos no *software* ALOHA, e obteve-se a modelagem gráfica das nuvens de dispersão atmosférica do gás cloro. A modelagem das nuvens de gás apresenta a concentração de cloro em ppm apresentando linhas referenciais de concentração observando os níveis de exposição aguda e relaciona a distância e a largura das nuvens referentes a cada evento.

No cenário 1 o vazamento provoca uma descarga inicial de 599 kg/min do agente químico formando uma nuvem de vapor tóxico que atinge, a partir do local do vazamento, 7,3 km de comprimento e 0,35 km de largura, como mostra a Figura 1. No cenário 2 o vazamento provoca uma descarga inicial de 966 kg/min de gás cloro com a formação de uma nuvem de vapor tóxico que atinge, a partir do local do vazamento, 8,9 km de comprimento e 0,42 km de largura como mostra a Figura 2.

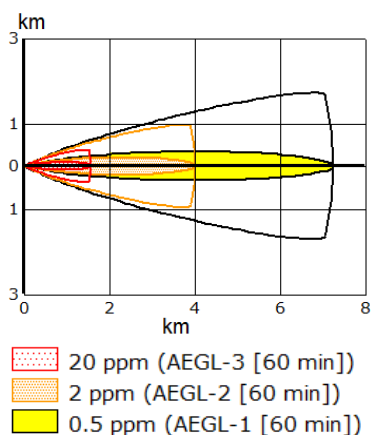


Figura 1- Modelagem da nuvem de dispersão para o cenário 1

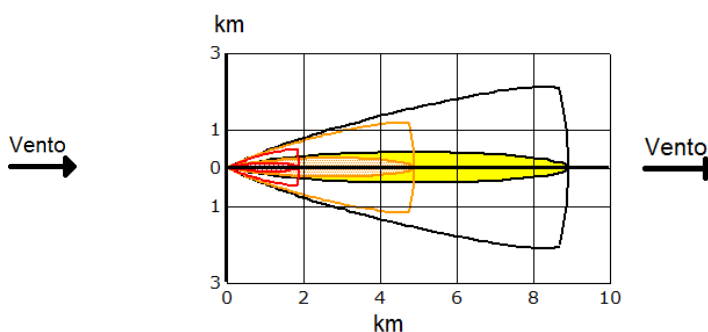


Figura 2 - Modelagem da nuvem de dispersão para o cenário 2

No cenário 3 o vazamento ocasiona a descarga inicial de 215 kg/min do agente químico formando uma nuvem de vapor tóxico que atinge, a partir do local do vazamento, 4,7 km de comprimento e 0,25 km de largura como mostra a Figura 3. No cenário 4 o vazamento provoca a liberação inicial de 585 kg/min de gás com formação de uma nuvem de vapor tóxico que atinge, a partir do local do vazamento, 3,8 km de comprimento e 0,27 km de largura como mostra a Figura 4.

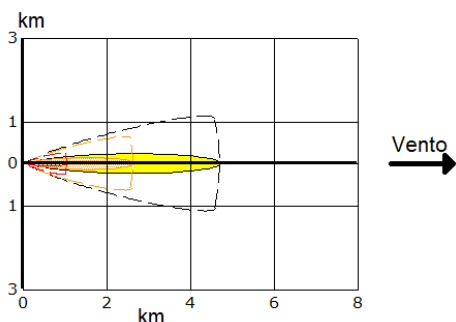


Figura 3 - Modelagem da nuvem de dispersão para o cenário 3

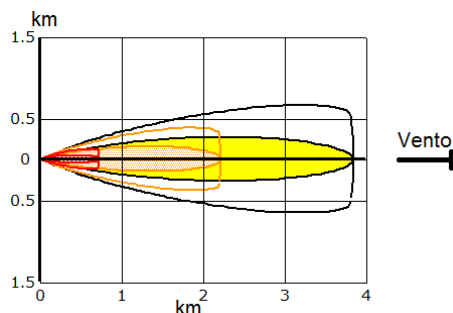


Figura 4 - Modelagem da nuvem de dispersão para o cenário 4

No cenário 5 o vazamento provoca a dispersão inicial de 966 kg/min do agente químico formando uma nuvem de vapor tóxico que atinge, a partir do local do

vazamento, 4,7 km de comprimento e 0,35 km de largura como mostra a Figura 5. No cenário 6 o vazamento provoca a descarga inicial de 564 kg/min de gás cloro com formação de uma nuvem de vapor tóxico que atinge, a partir do local do vazamento, 3,8 km de comprimento e 0,27 km de largura como mostra a Figura 6.

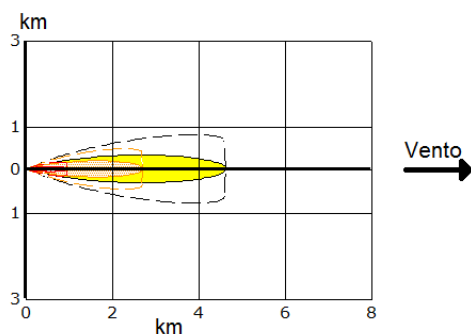


Figura 5 - Modelagem da nuvem de dispersão para o cenário 5

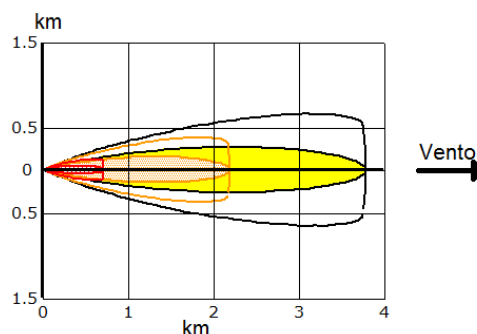


Figura 6 - Modelagem da nuvem de dispersão para o cenário 6

A concentração máxima de cloro referente a cada região é representada pelas linhas tracejadas nos gráficos, indicando os níveis de exposição aguda - *Acute Exposure Guideline Levels* (AEGL), que são indicadores de níveis tóxicos de preocupação desenvolvidos pela agência Americana EPA. A área representada pela linha amarela indica que o valor de referência para o gás cloro com tempo de exposição de 60 minutos para EAGL-1 é de 0.5 ppm, sendo que acima dessa concentração se prevê que a população em geral, pode apresentar irritação devido a exposição ao agente químico.

A área delimitada pela linha laranja indica que o valor de referência para o gás cloro com tempo de exposição de 60 minutos para EAGL-2 é de 2 ppm, sendo que acima dessa concentração se prevê que a população em geral, pode experimentar efeitos sérios em longo prazo ou irreversíveis com o impedimento da sua capacidade de fuga. Para a área representada pela linha vermelha indica que o valor de referência para o gás cloro com tempo de exposição de 60 minutos para EAGL-3 é de 20 ppm, sendo que acima dessa concentração se prevê que a população em geral, incluindo indivíduos susceptíveis pode experimentar efeitos que podem ser fatais. Nos cenários estudados, estas áreas compreendem até aproximadamente 8,9 km de comprimento de distância do ponto de vazamento. Sendo os cenários 2 e 5 apresentando maiores taxas de descargas inicial com aproximadamente 966 kg/min de agente químico liberados e atingindo a região circunvizinha da indústria.

4. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos na simulação dos cenários hipotéticos de vazamentos acidentais de cloro, conclui-se que existem riscos significativos associados às instalações dos recipientes contendo cloro nas indústrias. Na análise dos cenários observou-se que dentro das condições usadas o alcance máximo das nuvens de dispersão atmosféricas, provocadas pelo vazamento no tanque de gás cloro foi de aproximadamente de 8,9 km de comprimento e 0,42 de largura a partir do ponto do

vazamento, representado pelo cenário 2. Sendo que os cenários 2 e 5 apresentaram uma maior vazão de descarga para a atmosfera com uma liberação de aproximadamente 966 kg/min de gás cloro para o ambiente.

Finalmente, pode-se concluir que os resultados obtidos são úteis para as indústrias que fazem uso de cloro em suas instalações como as indústrias de PVC, uma vez que permite identificar os riscos e estimar as consequências de possíveis cenários acidentais que podem ocorrer nos recipientes de cloro.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Programa Institucional de Desenvolvimento do Estudante – PDE/FURG 2014, pelo auxílio financeiro através da bolsa EPEM.

6. REFERÊNCIAS

- CARDOSO JUNIOR, M. M.; SCARPEL, R. A.; *Estimativa do risco individual e social para o transporte de produtos perigosos pelo modal rodoviário utilizando um modelo simplificado*. 2012.
- HANNA, S. R., GARY, A. B., RAYFORD, P. H., United States. Dept. of Energy. Office of Energy Research., and United States. Dept. of Energy. Office of Health and Environmental Research. 1982. *Handbook on atmospheric diffusion: prepared for the Office of Health and Environmental Research, Office of Energy Research, U.S. Department of Energy*. [Oak Ridge, TN]: Technical Information Center, U.S. Dept. of Energy.
- KRAMER, C.R.; MONTAÑO, M.; Estudo de avaliação de riscos aplicados à estação de tratamento de esgotos de São José do Rio Preto. São Paulo-SP. 2010.
- MASSA, C. B.; SCOTT, P.; ABRAMOVA, E.; GARDNER, C.; LASKIN, D.L.; GOWW, A. J.; *Acute chlorine gas exposure produces transient inflammation and a progressive alteration in surfactant composition with accompanying mechanical dysfunction*. *Toxicology and Applied Pharmacology*, vol. 278, p. 53-64, 2014.
- PALAZZI, E., M. Defaveri, G. Fumarola, and G. Ferraiolo. 1982. "Diffusion from a Steady Source of Short Duration." *Atmospheric Environment* no. 16 (12):2785-2790.
- PANDYA, N.; GABAS, N.; MASRDEN, E.; *Sensitivity analysis of Phast's atmospheric dispersion model for three toxic materials (nitric oxide, ammonia, chlorine)*. *Journal of Prevention in the Process Industries*, vol. 25, p. 20-32, 2012.
- PASQUILL, F. 1961. "The Estimation of the Dispersion of Windborne Material." *Meteorology Magazine* no. 90: 33-49