

<http://dx.doi.org/10.5902/2236117016368>

Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM, Santa Maria  
Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental - REGET  
e-ISSN 2236 1170 - V. 19, n. 1, jan.- abr. 2015, p.160-166



## **Análise de risco aplicada a instalação industriais de refrigeração que utilizam amônia**

Risk Analysis Applied to Industrial Refrigeration Installations that use Ammonia

Toni Jefferson Lopes<sup>1</sup>, Ricardo Barros<sup>2</sup>, Nara Lúcia dos Santos<sup>3</sup>, Murilo Cesar Costelli<sup>4</sup>, Adriano da Silva<sup>5</sup> e Adriano Cancelier<sup>6</sup>

<sup>1,3,5</sup>Escola de Química e de Alimentos da Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Santo Antônio da Patrulha, RS, Brasil

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho da Universidade Comunitária da Região de Chapecó-UNOCHAPECO Chapecó, SC, Brasil.

<sup>4</sup>Área de Ciências Exatas e Ambientais da Universidade Comunitária da Região de Chapecó – UNOCHAPECO, Chapecó, SC, Brasil

<sup>6</sup>Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria, RS, Brasil

### **Resumo**

Os acidentes de gases tóxicos, como vazamentos de amônia, podem expor os trabalhadores e a comunidade, provocando desde uma irritação respiratória ou até a morte. A Análise Preliminar de Risco (APR) pode ser utilizada como método para avaliar e qualificar possíveis riscos de vazamentos nas instalações de refrigeração. Esta pesquisa apresenta os resultados de uma simulação de análise de risco para um estudo de caso envolvendo instalações de refrigeração de um frigorífico. O estudo de análise de risco, como metodologia de órgãos ambientais para manutenção ou obtenção de licença de operação ambiental de estabelecimentos que produzem ou utilizam substâncias tóxicas, é um método válido para o conhecimento dos riscos e possíveis efeitos de vazamentos de gases com formação de nuvens tóxicas, como a amônia. O estudo de análise de risco teve como resultado a classificação quanto ao risco, a APR e a Análise de vulnerabilidade com a modelagem de nuvens de gás realizada pelo software ALOHA, junto à utilização de cenários de vazamentos desenvolvidos na APR. Os resultados possibilitaram respostas sobre a exposição do risco de vazamento dos trabalhadores e a comunidade circunvizinha, além do estudo de ações preventivas e de mitigação de acidentes com esse agente químico.

**Palavras-chave:** Amônia. Frigoríficos. Vazamentos. Segurança do trabalho. Análise de risco

### **Abstract**

The toxic gas accidents as ammonia leaks can expose workers and the community, resulting from respiratory irritation or even death. The Primary Risk Analysis (PRA) may be used as a method to evaluate and qualify the potential for leaks in refrigeration systems. This research presents the results of a risk analysis simulation for a case study involving refrigeration facilities. The risk analysis study, as a methodology of environmental agencies for maintenance or obtaining environmental operating license establishments that produce or use toxic substances, is a valid method for the knowledge of the risks and possible effects of gas leaks with cloud formation toxic substances, such as ammonia. The risk analysis study resulted in the classification of the risk, the PRA and the vulnerability analysis with the modeling of gas clouds made by ALOHA software, with the use of leakage scenarios developed in the PRA. It was possible answers on the exposure of the risk of leakage of workers and the surrounding community, and the study of preventive and mitigation of accidents with this chemical agent.

**Keywords:** Ammonia. Refrigerators. Leaks. Safety. Risk analysis.

## I INTRODUÇÃO

Diante da situação, os empregados, já em desespero, procuraram a saída dos fundos, encontrando-a igualmente fechada, desta feita a cadeado. Os empregados passaram, então, com as próprias mãos, a quebrar os tijolos de vidro instalados para entrada de luz, existentes no alto das paredes dos fundos da empresa, e telhas de amianto, na tentativa de sair pelo teto (BRASIL, 2006, p. 14).

A descrição acima é um fragmento de uma nota técnica, elaborada por auditores fiscais do Ministério do Trabalho, que discorre sobre um acidente industrial por vazamento de amônia em uma indústria frigorífica de beneficiamento de camarão na cidade de, Natal no Rio Grande do Norte, em julho de 2003. Na ocasião, foram vitimadas 127 pessoas, com a morte de dois trabalhadores.

Um único parágrafo da nota técnica ilustra bem a atitude de desespero por conta do despreparo dos trabalhadores em situações de emergência, além da incontestável condição insegura das instalações industriais.

A amônia é um agente tóxico, com propriedade alcalina corrosiva e pode ser explosiva quando em concentrações de 16 a 25% no ar, porém é muito utilizada em sistemas de refrigeração de grande porte, nas instalações frigoríficas. A amônia é considerada um fluido refrigerante de ótimo desempenho termodinâmico, além de possuir baixo custo e não agredir a camada de ozônio quando comparada a outros fluidos refrigerantes (CLETO, 1999; BRASIL, 2004; CETESB, 2004; CRUZ e FONSECA, 2009).

A concentração do limite ambiental para a amônia é de 20ppm ou 14mg/m<sup>3</sup>, que é uma concentração válida para jornadas de trabalho de até 48 horas por semana, caracterizando grau de insalubridade médio. Se os valores excederem o nível de 20ppm para jornadas de trabalho que excedam às 48 horas semanais, deve ser cumprido o disposto no Art. 60 da CLT.

A amônia, em um sistema de refrigeração por compressão de vapores, em uma de suas fases do ciclo frigorífico, se apresenta liquefeita à alta pressão, isso significa que, em caso de vazamento nessa fase, a massa de amônia vazada ocuparia um volume 850 vezes maior no ambiente, formando, assim, nuvens de vapor tóxico de grande porte. Além disso, quando a amônia anidra líquida é liberada em forma de spray, comporta-se como um gás denso. Este gás denso pode aumentar o potencial de exposição dos trabalhadores e do público, conforme afirma a agência americana de proteção ambiental (*Environmental Protection Agency - EPA*).

Considerando a periculosidade da amônia, é cada vez mais pertinente, para todos os tipos de indústrias que a utilizam, realizarem um gerenciamento de risco aplicado às áreas de refrigeração. Um gerenciamento de risco, como processo que envolve todo o planejamento de segurança dos sistemas, possui, no método de análise, uma das principais ferramentas para identificar possíveis causas de acidentes que possam ocorrer, avaliando tanto a sua probabilidade quanto suas consequências; além de reduzir o nível de risco e melhorar a segurança intrínseca da planta por meio de ações de melhorias voltadas à segurança das instalações.

No caso de frigoríficos, em instalações novas ou em operação, a aplicação de um estudo de análise de risco tem sido exigência, de órgãos ambientais, como parte do estudo de impacto ambiental para a obtenção ou manutenção da licença de operação. Órgãos ambientais, orientados pela resolução do CONAMA N° 237 de 19/12/1997, que dispõem sobre aspectos de licenciamento ambiental, apresentam metodologias para o estudo de análise de risco ambiental, que, tratados sob o foco da Engenharia de Segurança do Trabalho, são importantes ferramentas de diagnósticos e planejamento na gerência de segurança da planta.

Este trabalho apresenta a aplicação de um estudo de caso simulado para análise de risco, voltado aos sistemas de refrigeração em uma unidade frigorífica. O método de análise de risco, aplicado com o software de modelagem de vazamento de gases ALOHA, resultou no conhecimento das possíveis causas de vazamentos em pontos críticos das instalações e nas consequências dos vazamentos de amônia, junto a seus efeitos sobre as áreas vulneráveis, onde estão expostos os trabalhadores e a comunidade.

## 2 METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada seguindo um caráter exploratório, pretendendo contextualizar um pro-

blema pouco explorado da engenharia de segurança do trabalho nas indústrias, a partir da simulação de um estudo de caso. A caracterização da indústria frigorífica e dos ambientes laborais nos frigoríficos (junto a seus principais riscos), bem como aspectos da legislação trabalhista, foi realizada por meio de revisão bibliográfica disponível.

### 2.1 CLASSIFICAÇÃO DO RISCO

A classificação do risco foi realizada conforme método do manual de estudo de análise de risco da FEPAM (2001). A classificação da instalação permitirá, em primeira análise, categorizar o risco ao qual estão expostas as áreas vulneráveis. Este estudo foi feito considerando uma instalação hipotética, para a qual foram feitas as simulações apresentadas no trabalho.

### 2.2 ANÁLISE DE VULNERABILIDADE

A análise de vulnerabilidade tratou da quantificação dos efeitos de acidentes com vazamento de amônia, realizados a partir de cenários encontrados na APR. A quantificação foi expressa através da modelagem dos vazamentos sobre o mapa da região. O objetivo desta análise foi determinar a distância e os impactos causados pelas nuvens de amônia sobre as áreas vulneráveis no caso de vazamento. Para a análise, foi utilizado o *software* de domínio público, chamado ALOHA.

## 3. ANÁLISE DE RISCO EM INSTALAÇÃO DE REFRIGERAÇÃO

### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTABELECIMENTO

O estabelecimento hipotético utilizado para estudo é classificado como um frigorífico que possui dois sistemas de refrigeração (sala de máquinas 1 e 2).

### 3.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCO

A metodologia da Análise Preliminar de Risco aplicada (APR) estruturou-se para identificar os riscos potenciais decorrentes da operação de unidades ou sistemas. Neste caso, a aplicação se deu em um sistema simulado hipotético. Os sistemas em análise foram os sistemas de refrigeração do frigorífico (sala de máquinas 1 e sala de máquinas 2). Como subsistema, foi considerada a linha de alta pressão dos sistemas de refrigeração. A linha de alta pressão está, em geral, localizada nas salas de máquinas, onde se encontram os recipientes de amônia líquida sob alta pressão e em maior volume.

A aplicação da APR apresentou as causas básicas para um eventual vazamento de grandes proporções, que foram: falha mecânica, rupturas por impacto externo e erros de operação. A partir daí, adotou-se os critérios estabelecidos na matriz de riscos, definidos na Figura 1.

		FREQUÊNCIA					Critério utilizado para frequência: A = Muito Improvável B = Improvável C = Ocasional D = Provável E = Freqüente	Critério utilizado para severidade: I = Desprezível II = Marginal III = Crítica IV = Catastrófica	Critério utilizado Para risco: 1 = Desprezível 2 = Menor 3 = Moderado 4 = Sério 5 = Crítico
		A	B	C	D	E			
SEVERIDADE	IV								
	III		1	2	4				
	II				2				
	I								

Figura 1: Matriz de Risco com os resultados da APR.

Fonte: (FEPAM, 2001).

Observa-se que a maioria dos eventos apresenta uma classe de severidade crítica, em função das características de toxicidade da amônia anidra, que é o fluido refrigerante considerado.

### 3.3 ANÁLISE DE VULNERABILIDADE

Dando prosseguimento às etapas de estudo de análise de risco, realizou-se a análise de vulnerabilidade com a modelagem da nuvem de amônia, com o objetivo de conhecer o impacto do vazamento aos trabalhadores, à comunidade e ao meio ambiente. Para a modelagem quantitativa e a simulação

dos cenários, utilizou-se o *software* de domínio público ALOHA versão 5.4.1.2.

### 3.3.1 Determinação dos cenários de acidentes

Na avaliação dos cenários estabelecidos na APR, foram considerados os de riscos de severidade crítica, optando-se pela seleção de dois cenários com diferentes causas fundamentais da ocorrência do sinistro, C1 e C2.

A causa C1 está relacionada diretamente com falha do operador durante a drenagem de óleo do recipiente de amônia. Neste cenário, considerou-se o descontrole de purga de óleo em um recipiente de amônia, com escape de amônia líquida a uma temperatura de 35°C e pressão absoluta de 13,5 bar. Considerou-se um diâmetro de ½" (12,79mm) para a tubulação de purga localizada no fundo do tanque de amônia.

A causa C2 está relacionada com intensa movimentação de carga por caminhões e carretas no pátio da indústria, que transitam sob *pipe rack* que possuem altura limitada. No cenário C2, considerou-se a ruptura de uma tubulação de gás oriunda do recipiente de amônia a temperatura de 35°C, com pressão absoluta de 13,5 bar. Considerou-se que um caminhão com a altura superior às tubulações do pipe rack tenha chocado a carroceria na tubulação e ocasionado uma ruptura próxima à solda no tanque recipiente de amônia. A tubulação de gás atingida possui um diâmetro de ½" (12,79mm). O evento exigiria, dos operadores, os procedimentos de enfrentamento do vazamento, com atuação em manobras de válvulas de bloqueio, a fim de diminuir o escape do agente químico.

Considerando que a simulação seria realizada nas duas instalações (sala de máquinas 1 e 2), estabeleceu-se que cada cenário recebesse duas simulações, com variação da velocidade do vento das condicionantes atmosféricas. O Quadro 1 apresenta os principais dados de entrada para os 4 cenários.

Quadro 1 - Dados de entrada por cenários de vazamentos no software ALOHA.

Dados de entrada	Sala de máquinas 1		Sala de máquinas 2	
	C1A	C1B	C2A	C2B
Tipo de construção	Simple de um pavimento			
Prod. Químico vazado	Amônia	Amônia	Amônia	Amônia
Velocidade e direção do vento	2,5 m/s	1,5 m/s	2,5 m/s	1,5 m/s
	Sudeste (ESE)	Sudeste (ESE)	Sudeste (ESE)	Sudeste (ESE)
Temperatura do ambiente e umidade relativa	22 oC e 71%			
Condições climáticas	Tempo bom sem nuvens			
Dimensões do recipiente de amônia	Ø 1,70m x 5,0 m	Ø 1,70m x 5,0 m	Ø 1,50m x 5,00 m	Ø 1,50m x 5,00 m
Massa de produto no recipiente	1000 kg	1000 kg	375 kg	375 kg
Temperatura da amônia no recipiente	35 oC	35 oC	35 oC	35 oC
Abertura do orifício e local do vazamento no recipiente	Ø 1/2" no fundo do recipiente.	Ø 1/2" superior do recipiente.	Ø 1/2" no fundo do recipiente.	Ø 1/2" superior do recipiente.
	Fase líquida da amônia.	Fase gasosa da amônia.	Fase líquida da amônia.	Fase gasosa da amônia.

O método de cálculo de dispersão utilizado pelo ALOHA utiliza o modelo Gaussiano (BEALS, 1971; BRIGGS, 1973; PALAZZI et al., 1982 e HANNA et al., 1982). 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, assim, quando uma nuvem de escape encontra o ar em movimento, ocorre uma “mistura turbulenta”, que a faz se espalhar para cima e na direção do vento. De acordo com o modelo Gaussiano, qualquer seção da nuvem de gás em movimento tem forma de sino, alta no centro e mais baixa nas laterais (Figura 2).

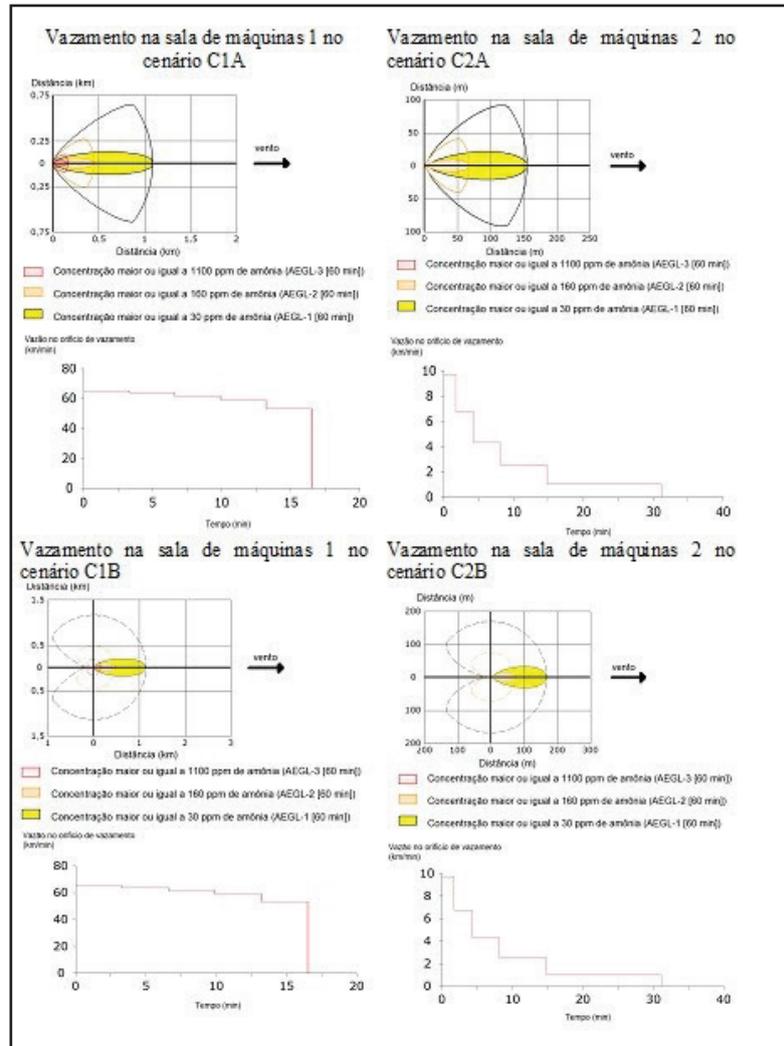


Figura 2: Dispersão da nuvem de amônia nos casos de acidentes apresentados no Quadro 1.

Para os gráficos da Figura 2, que representam a concentração do agente químico transcorridos 60 minutos após o início do vazamento (Distância (km) vs Distância (km)), foram avaliados alguns pontos críticos, tanto interno quanto externos à indústria. Sendo que foi possível determinar, para os dois cenários estudados, 3 regiões distintas, com concentrações igual ou superior a 1100, 160 e 30 ppm de amônia Tomou-se pontos (áreas vulneráveis) representativos para a análise, elegendo áreas de produção com grande ocupação e o setor administrativo. Além disso, foi considerada, para o estudo de simulação de um cenário hipotético de vazamento, uma indústria de grande porte, com número de funcionários superior a 500. Na Figura 3 são representadas as regiões de impacto do gás amônia no decorrer do vazamento: a área de produção (1) Setor da fábrica com ocupação aproximada de 500 pessoas durante produção; Ponto (2), área de produção com lotação aproximada de 100 pessoas e edifício administrativo (3).

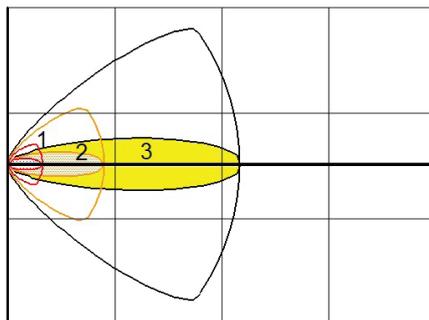


Figura 3: Pontos críticos para avaliação da concentração interna.

#### 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O constante avanço da área urbana das cidades, em conjunto com o desenvolvimento da planta industrial, é um cenário, geralmente, observado em várias situações no Brasil, favorecendo a inserção do estabelecimento na malha urbana da cidade, próximo às áreas residenciais. Na pesquisa, as áreas externas, apresentadas como mais vulneráveis a um vazamento de gás tóxico, são os bairros residenciais limítrofes ao sul e a leste da área industrial.

Na aplicação do estudo de análise de risco industrial para a instalação frigorífica, observou-se que o estabelecimento se enquadra na categoria de risco 3, que corresponde àquelas instalações/atividades que podem causar danos significativos em distâncias entre 100 m e 500 m do local. A quantidade de amônia armazenada nos recipientes das duas instalações e a distância das áreas vulneráveis foi determinante para esse resultado. Nos cálculos, consideraram-se como áreas vulneráveis as áreas imediatamente externas aos limites da indústria, contíguas ao passeio público.

Nos resultados das consequências de uma liberação de gás tóxico, através das modelagens de nuvens, foram levantadas algumas situações:

Todas as simulações apresentaram concentrações letais em pontos no interior das salas de máquinas. Situação que expõe o operador da sala de máquinas ao maior risco. Sendo, ao mesmo tempo, elemento chave na condução dos procedimentos de emergência e no enfrentamento do vazamento.

Os vazamentos ocorridos no fundo do recipiente, na fase líquida do agente químico, perduraram por menor tempo: 17 minutos na sala de máquinas 1 e 6 minutos na sala de máquinas 2. Os cenários mais críticos para a vizinhança conjugam a menor velocidade de vento (1,5m/s) e o vazamento localizado no fundo do recipiente, com escape de amônia em forma de *spray*.

#### 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesse trabalho são satisfatórios e úteis, principalmente para a indústria, no que tange a previsão e o planejamento de emergências e o reforço da gestão de segurança existente. Os resultados apontaram que, além das possibilidades de medidas de melhorias no sistema, o treinamento de todos os funcionários do frigorífico, de todos os setores, é indispensável na resposta da emergência. Os operadores de sala de máquinas são os trabalhadores que manuseiam e controlam o sistema de refrigeração, são os integrantes de maior responsabilidade imediata na atuação e na resposta a uma emergência de vazamento de amônia. Os treinamentos teóricos e práticos, com simulados prevendo os cenários levantados nessa pesquisa, serão fundamentais na diminuição da severidade do risco.

Conclui-se que o *software* ALOHA é uma ferramenta adequada para avaliar os riscos associados às instalações dos recipientes de amônia em frigoríficos, pois são instalações que podem estar inseridas em meio urbano, o que representa muitas áreas vulneráveis. Também, apresentando um estudo detalhado para estimar, de forma realista, as probabilidades de falha de equipamentos nas instalações de refrigeração, a fim de reduzir as incertezas e as fragilidades existentes.

## REFERÊNCIAS

- Beals, G. A. (1971) Guide to local diffusion of air pollutants. Scott AFB, Ill.,: Air Weather Service (MAC), U.S. Air Force.
- BRASIL. (2004) Ministério do Trabalho e Emprego. Secretaria de Inspeção do Trabalho. Nota Técnica nº 03/DSST/SIT - Refrigeração Industrial por Amônia, Brasília, DF, 18 de mar. 2004.
- BRASIL. (1991) Ministério do Trabalho. Lei 8213 de 20/07/1991. Dispõe sobre os Planos de Benefícios da Previdência Social e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 de jul. 1991.
- Briggs, G. A. (1973) Diffusion estimation for small emissions : preliminary draft. Oak Ridge, TN: Atmospheric Turbulence and Diffusion Laboratory.
- CETESB (2003) Manual de Orientação para a Elaboração de Estudos de Análise de Riscos. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo, p.22-33, 2003.
- CETESB. Manual de Produtos Químicos Perigosos - Hidróxido de Amônio. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/produtos>>. Acesso em: 20 dez.2011.
- Cleto, L. T. (1999) Refrigeração Industrial Instalações com Amônia, In: SEMANA DE TECNOLOGIA EM REFRIGERAÇÃO E AR CONDICIONADO, Joinville. Apostila. São Paulo.
- Cruz, W. P.; Fonseca, M. C. B. (2009) Sequelas Laríngeas Devido Inalação Acidental de Amônia Anidra. **Arquivos Internacionais de Otorrinolaringol**, 13(1), 111-116.
- FEPAM (2001) Manual de Análise de Riscos Industriais. Projeto de Manual de Análise de Risco.
- Hanna, S. R.; Briggs, G. A. B.; Hosker Jr. R.P. (1982) United States. Dept. of Energy. Office of Energy Research., and United States. Dept. of Energy. Office of Health and Environmental Research. 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.
- MANUAIS DE LEGISLAÇÃO ATLAS (2007) Segurança e Medicina do Trabalho. 60 ed. São Paulo: Atlas.
- Palazzi, E.; Defaveri, M.; Fumarola, M., Ferraiolo, G. (1982) Diffusion from a Steady Source of Short Duration. **Atmospheric Environment**, 16(12), 2785-2790.
- United States Environmental Protection – EPA (1988) Agência de Proteção Ambiental. Acesso em: 12/2004.