

SÍLVIA FONTANIVE

**ESTUDO DE ANÁLISE DE RISCO DO CLORO EM ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ÁGUA**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Processos Químicos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Área de Concentração: Engenharia de Processos Térmicos e Químicos, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Georges Kaskantzis Neto

CURITIBA

2005

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que contribuíram diretamente e indiretamente para a realização desse trabalho e em especial:

Ao meu marido, Giuliano Marques, e aos meus filhos, Felipe e Guilherme pela paciência e compreensão nos momentos de ausência.

Ao Prof. Dr. Georges Kaskantzis Neto pela oportunidade de desenvolver este trabalho, pela orientação, conhecimento e apoio em momentos de indecisão.

A SANEPAR, especialmente a Eng^a Regiane de Brito e o Sr. Ovande J. Magalhães, pelas informações relacionados a estação de tratamento de água, e principalmente a instalação dos cilindros de cloro.

Aos funcionários da SIMEPAR e INMET, pelo fornecimento dos dados meteorológicos.

Aos meus colegas de mestrado pela solidariedade e em especial a amiga Débora J. Morillas pelo apoio e incentivo nos momentos difíceis.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais e Processos Químicos (PIPE), incluindo professores e alunos com os quais tive a oportunidade de conviver.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE SIGLAS.....	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xiv
RESUMO.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. CONCEITOS E FUNDAMENTOS SOBRE ANÁLISE DE RISCO.....	4
2.1 TRATAMENTO DE ÁGUA POTÁVEL.....	4
2.1.1 Aplicação do Cloro na Água.....	8
2.2 GÁS CLORO.....	9
2.2.1 Cilindro de Cloro.....	11
2.2.2 Propriedades Físico-Químicas.....	12
2.2.3 Propriedades Toxicológicas.....	14
2.3 RISCO.....	15
2.3.1 Risco Individual.....	16
2.3.2 Risco Social.....	18
2.4 ANÁLISE DE RISCOS.....	20
2.4.1 Desenvolvimento de Estudo de Análise de Risco.....	24
2.4.2 Identificação dos Perigos e dos Cenários Acidentais.....	27
2.4.3 Análise de Vulnerabilidade.....	31
2.5 MODELOS PARA ANÁLISE DE CONSEQUÊNCIAS.....	32
2.5.1 Modelos de Taxa de Vazamento.....	32
2.5.1.1 Modelo de Vazamento de Líquido.....	33
2.5.1.2 Modelo de Vazamento de Gás.....	34
2.5.1.3 Modelo de Vazamento de Gás para Tubulação.....	36
2.5.1.4 Modelo de Vazamento de Líquido em Tubulação.....	36
2.5.1.5 Modelo de Vazamento de Duas fases para Tanque.....	37
2.5.1.6 Taxa de Emissões de Poças.....	38
2.6 MODELAGEM DA DISPERSÃO DE GÁS CLORO.....	39
2.6.1 MODELO DE DISPERSÃO DE GÁS DENSO.....	40

2.7 DISPERSÃO ATMOSFÉRICA.....	43
3. APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE RISCO NA ETA DA SANEPAR.....	46
3.1 Caracterização da Região de Estudo.....	46
3.2 Tratamento de Água na Estação Iguazu	48
3.3 Caracterização do Clima da Região.....	50
3.4 Caracterização das Instalações de Cloro da ETA.....	52
3.5 Estabelecimento dos Cenários Acidentais.....	54
3.5.1 Cenário A.....	54
3.5.2 Cenário B.....	55
3.6 Modelagem e Simulação dos Cenários.....	56
3.7 Avaliação de Vulnerabilidade.....	61
3.8 Determinação dos Riscos Individual e Social.....	62
4. RESULTADOS E ANÁLISE.....	64
4.1 CENÁRIO A: DISPERSÃO DO GÁS CLORO.....	64
4.1.1 Resultado da Taxa de Vazamento.....	64
4.1.2 Estudo da Dispersão da Nuvem.....	65
4.1.3 Resultado da Dose Inalada e Probabilidade de Fatalidade.....	69
4.2 CENÁRIO B (1): FORMAÇÃO DA POÇA PELO VAZAMENTO DO CLORO LÍQUIDO.....	79
4.2.1 Resultado da Taxa de Vazamento.....	79
4.2.2 Estudo da Dispersão da Nuvem de Cloro para a Poça Formada.....	80
4.2.3 Resultado da Dose Inalada e Probabilidade de Fatalidade.....	87
4.3 CENÁRIO B (2): FORMAÇÃO DA NUVEM ATRAVÉS DO FLASHEAMENTO.....	92
4.3.1 Estudo da Dispersão da Nuvem de Cloro para o Flasheamento.....	92
4.3.2 Resultado da Dose Inalada e Probabilidade de Fatalidade.....	101
4.4 DISPERSÃO DA NUVEM DE CLORO NO INTERIOR DO EMPREENDIMENTO.....	105
4.5 RISCO INDIVIDUAL.....	108
4.6 RISCO SOCIAL.....	109
5. CONCLUSÕES.....	117
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	120
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	121
ANEXOS.....	127

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curva de iso-risco.....	17
Figura 2. Curva F-N de tolerabilidade do risco.....	20
Figura 3. Componentes do Risco.....	24
Figura 4. Fluxograma das etapas da análise de risco.....	27
Figura 5. Representação da dispersão da nuvem de gás denso pelo modelo SLAB.....	42
Figura 6. Condições de estabilidade.....	45
Figura 7. Foto Aérea da área onde esta localizada a estação de tratamento de água com pontos específicos de interesse.....	48
Figura 8. Fluxograma do processo de tratamento de água	49
Figura 9. Instalações de armazenamento e distribuição de gás cloro da ETA	53
Figura 10. Vista geral do tanque de cloro com detalhe do sistema de exaustão.....	53
Figura 11. Indicação do provável ponto de vazamento do gás cloro do tanque.....	55
Figura 12. Ponto de vazamento do cloro considerado no segundo cenário.....	56
Figura 13. Tela de dados de entrada do programa ALOHA.....	59
Figura 14. Tela mostrando o resultado referente aos gráficos gerados pelo programa ALOHA.....	59
Figura 15. Tela de gráficos gerados pelo programa ALOHA.....	60
Figura 16. Tela de resultados do programa ALOHA.....	60
Figura 17. Árvore de evento.....	63
Figura 18. Resultado do programa ALOHA, representando a pluma do gás cloro nas concentrações de 10 ppmv em função da distância.....	68
Figura 19. Resultado do programa EFFECTS2, representando da pluma do gás cloro nas concentrações de 10 ppmv em função da distância	69
Figura 20. Mapeamento da área em estudo, mostrando a área afetada pela nuvem cloro num raio de 200 m e concentração de 169 mg/m ³	71
Figura 21. Mapeamento da área em estudo, mostrando a área afetada pela nuvem cloro num raio de 350 m e concentração de 81 mg/m ³	72
Figura 22. Nuvem do gás cloro na direção Oeste com velocidade de 2,3 m/s e classe de estabilidade F.....	78
Figura 23. Nuvem do gás cloro na direção Leste com velocidade de 1,72 m/s e classe de estabilidade C.....	79

Figura 24. Resultado do programa ALOHA, representando a nuvem de vapor cloro nas concentrações de 10 e 3 ppmv em função da distância, para a evaporação da poça com velocidade de 2,6 m/s e classe atmosférica C	83
Figura 25. Nuvem do gás cloro na direção Sul.....	90
Figura 26. Nuvem do gás cloro na direção Nordeste.....	91
Figura 27. Resultado do programa ALOHA para condições instáveis da atmosfera, com velocidade de 2,46 m/s e classe atmosférica B	97
Figura 28. Resultado do programa EFFECTS2 para condições instáveis da atmosfera, com velocidade de 2,46 m/s e classe atmosférica B	98
Figura 29. Resultado do programa ALOHA para condições estáveis da atmosfera, com velocidade de 3,2 m/s e classe atmosférica D	99
Figura 30. Resultado do programa EFFECTS2 para condições estáveis da atmosfera, com velocidade de 3,2 m/s e classe atmosférica D	100
Figura 31. Mapa de arruamento, mostrando a área afetada pela nuvem cloro num raio de 200 m e concentração de 118 mg/m ³	103
Figura 32. Mapa de arruamento, mostrando a área afetada pela nuvem cloro num raio de 50 m e concentração de 1056 mg/m ³	103
Figura 33. Resultado do programa EFFECTS2 em relação à dose inalada versus distância percorrida pela nuvem.....	105
Figura 34. Curva de iso-risco para o vazamento de cloro em função da distância da fonte de perigo. As distâncias analisadas foram 50, 200 e 350m.....	108
Figura 35. Gráfico de tolerabilidade para o risco social.....	116
Figura 36. Resultado do programa ALOHA, representando a trajetória da pluma gás cloro para a velocidade de 1,72 m/s e classe atmosférica C	132
Figura 37. Resultado do programa EFFECTS2, representando a trajetória da pluma gás cloro para a velocidade de 1,72 m/s e classe atmosférica C	134
Figura 38. Resultado do programa ALOHA, representando a trajetória da pluma gás cloro para a velocidade de 3,2 m/s e classe atmosférica D.....	136
Figura 39. Resultado do programa EFFECTS2, representando a trajetória da pluma gás cloro para a velocidade de 3,2 m/s e classe atmosférica D	138
Figura 40. Resultado do programa ALOHA, representando a trajetória da pluma gás cloro para a velocidade de 2,3 m/s e classe atmosférica F	140
Figura 41. Resultado do programa EFFECTS2, representando a trajetória da pluma gás cloro para a velocidade de 2,3 m/s e classe atmosférica F	142
Figura 42. Resultado do programa ALOHA, representação da nuvem de vapor cloro nas concentrações de 10 ppm e 3 ppm em função da distância, para a evaporação da poça com velocidade de 2,46 m/s e classe atmosférica B.....	144

Figura 43. Resultado do programa ALOHA, representação da nuvem de vapor cloro nas concentrações de 10 ppm e 3 ppm em função da distância, para a evaporação da poça com velocidade de 3,2 m/s e classe atmosférica D.....146

Figura 44. Resultado do programa ALOHA, rpresentação da nuvem de vapor cloro nas concentrações de 10 ppm e 3 ppm em função da distância, para a evaporação da poça com velocidade de 1,25 m/s e classe atmosférica148

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dimensões e pesos dos cilindros.....	12
Tabela 2. Principais propriedades termodinâmicas do cloro.....	12
Tabela 3. Efeitos da concentração de cloro gasoso nas pessoas.....	15
Tabela 4. Classe de estabilidade de Pasquill.....	44
Tabela 5. Pontos de interesses em relação à fonte de vazamento.....	47
Tabela 6. Dados meteorológicos referentes ao verão.....	50
Tabela 7. Dados meteorológicos referentes ao outono.....	51
Tabela 8. Dados meteorológicos referentes ao inverno.....	51
Tabela 9. Dados meteorológicos referentes a primavera.....	51
Tabela 10. Faixa de valores dos parâmetros utilizados nos modelos de simulação.....	58
Tabela 11. Parâmetros para o cloro da equação Probit.....	61
Tabela 12. Resultados obtidos da simulação do programa ALOHA e do calculo teórico.....	65
Tabela 13. Parâmetros utilizados na simulação da dispersão do cloro.....	66
Tabela 14. Resultado da simulação da dispersão da nuvem cloro, com velocidade de 2,55 m/s e estabilidade atmosférica E.....	66
Tabela 15. Concentração da nuvem tóxica de cloro e a dose máxima inalada em função da distância, para o cenário com 2,55 m/s e estabilidade atmosférica E.....	70
Tabela 16. Dados meteorológicos utilizados na simulação da dispersão do cloro.....	73
Tabela 17. Dados meteorológicos utilizados na simulação da dispersão do cloro.....	73
Tabela 18. Dados meteorológicos utilizados na simulação da dispersão do cloro.....	73
Tabela 19. Resultado da simulação da dispersão da nuvem cloro, com velocidade de 1,72 m/s e estabilidade atmosférica C.....	74
Tabela 20. Resultado da simulação da dispersão da nuvem cloro, com velocidade de 3,2 m/s e estabilidade atmosférica D.....	74
Tabela 21. Resultado da simulação da dispersão da nuvem cloro, com velocidade de 2,3 m/s e estabilidade atmosférica F.....	74
Tabela 22. Concentração da nuvem de cloro e a dose máxima inalada em função da distância, para o cenário com 1,72 m/s e estabilidade atmosférica C.....	75
Tabela 23. Concentração da nuvem de cloro e a dose máxima inalada em função da distância, para o cenário com 3,2 m/s e estabilidade atmosférica D.....	76

Tabela 24. Concentração da nuvem de cloro e a dose máxima inalada em função da distância, para o cenário com 2,3 m/s e estabilidade atmosférica F.....	76
Tabela 25. Resultados obtidos da simulação do vazamento de cloro pelo programa ALOHA e do calculo teórico.....	80
Tabela 26. Parâmetros utilizados na simulação da evaporação do cloro para a poça formada.....	81
Tabela 27. Resultados da simulação da poça formada pelo cloro líquido para as concentrações de 1000 ppm, IDLH e 3 ppm.....	81
Tabela 28. Parâmetros utilizados na simulação da dispersão do cloro para a poça formada.....	84
Tabela 29. Parâmetros utilizados na simulação da dispersão do cloro para a poça formada.....	84
Tabela 30. Parâmetros utilizados na simulação da dispersão do cloro para a poça formada.....	85
Tabela 31. Resultados da simulação da dispersão da nuvem de cloro para as concentrações de 1000, IDLH e 3 ppm, com velocidade de 2,46 m/s e classe de estabilidade B.....	85
Tabela 32. Resultados da simulação da dispersão da nuvem de cloro para as concentrações de 1000, IDLH e 3 ppm, com velocidade de 3,2 m/s e classe de estabilidade D.....	86
Tabela 33. Resultados da simulação da dispersão da nuvem de cloro para as concentrações de 1000, IDLH e 3 ppm, com velocidade de 1,25 m/s e classe de estabilidade F.....	86
Tabela 34. Concentração da nuvem de cloro e a dose máxima inalada em função da distância, para o cenário com 3,2 m/s e estabilidade atmosférica D.....	88
Tabela 35. Concentração da nuvem de cloro e a dose máxima inalada em função da distância, para o cenário com 1,25 m/s e estabilidade atmosférica F.....	88
Tabela 36. Concentração da nuvem de cloro e a dose máxima inalada em função da distância, para o cenário com 2,46 m/s e estabilidade atmosférica B.....	88
Tabela 37. Parâmetros utilizados na simulação da dispersão do cloro devido ao flasheamento.....	92
Tabela 38. Dados atmosféricos utilizados na simulação do vazamento de cloro, para o cenário com velocidade de 1,96 m/s e classe de estabilidade E.....	92
Tabela 39. Dados atmosféricos utilizados na simulação do vazamento de cloro, para o cenário com velocidade de 1,42 m/s e classe de estabilidade C.....	93
Tabela 40. Dados atmosféricos utilizados na simulação do vazamento de cloro, para o cenário com velocidade de 2,46 m/s e classe de estabilidade B.....	93

Tabela 41. Dados atmosféricos utilizados na simulação do vazamento de cloro, para o cenário com velocidade de 3,2 m/s e classe de estabilidade D.....	93
Tabela 42. Resultado da simulação da dispersão do cloro, para as concentrações de 1000 ppm, IDLH e 3 ppm, com velocidade de 1,96 m/s e classe de estabilidade E.....	94
Tabela 43. Resultado da simulação da dispersão do cloro, para as concentrações de 1000 ppm, IDLH e 3 ppm, com velocidade de 1,42 m/s e classe de estabilidade C.....	94
Tabela 44. Resultado da simulação da dispersão do cloro, para as concentrações de 1000 ppm, IDLH e 3 ppm, com velocidade de 2,46 m/s e classe de estabilidade B.....	95
Tabela 45. Resultado da simulação da dispersão do cloro, para as concentrações de 1000 ppm, IDLH e 3 ppm, com velocidade de 3,2 m/s e classe de estabilidade D.....	95
Tabela 46. Concentração da nuvem de cloro e a dose máxima inalada em função da distância, para o cenário com 1,96 m/s e estabilidade atmosférica E.....	101
Tabela 47. Concentração da nuvem de cloro e a dose máxima inalada em função da distância, para o cenário com 1,42 m/s e estabilidade atmosférica C.....	101
Tabela 48. Concentração da nuvem de cloro e a dose máxima inalada em função da distância, para o cenário com 3,2 m/s e estabilidade atmosférica D.....	102
Tabela 49. Resultados da probabilidade de morte para concentrações de 1000 e 3 ppm.....	104
Tabela 50. Parâmetros utilizados para a simulação do cenário B.....	106
Tabela 51. Resultados das simulações com variação do tempo.....	106
Tabela 52. Resultado da concentração da nuvem de cloro no interior da sala	107
Tabela 53. Resultado do risco individual total em relação a várias distâncias.....	109
Tabela 54. Resultado da Freqüência Final.....	110
Tabela 55. Freqüência acumulada do evento final (ano ⁻¹) para os acidentes relacionados com vazamento de cloro.....	115
Tabela 56. Cenários com diferentes dados meteorológicos e os resultados da distância máxima atingida pelo nível de concentração de 10 ppm, para o cenário A.....	149
Tabela 57. Cenários com diferentes dados meteorológicos e os resultados da distância máxima atingida pelos níveis de concentração de 1000 e 3 ppm, para o cenário A..	150
Tabela 58. Cenários com diferentes dados meteorológicos e os resultados da distância máxima atingida pelos níveis de concentração de 1000, 10 e 3 ppm, para o cenário B (poça).....	151
Tabela 59. Cenários com diferentes dados meteorológicos e os resultados da distância máxima atingida pelo nível de concentração de 10 ppm, para o cenário B (flasheamento).....	152

Tabela 60. Cenários com diferentes dados meteorológicos e os resultados da distância máxima atingida pelos níveis de concentração de 1000 e 3 ppm, para o cenário B (flasheamento).....	153
Tabela 61. Resultados da dose inalada no tempo de 10 minutos, valor de Probit e porcentagem de fatalidade em %, para o cenário A.....	154
Tabela 62. Resultados da dose inalada no tempo de 10 minutos, valor de Probit e porcentagem de fatalidade em %, para o cenário B (poça).....	155
Tabela 63. Resultados da dose inalada no tempo de 10 min, valor de Probit e probabilidade de fatalidade em %, para o cenário B (flasheamento).....	156
Tabela 64. Conversão de Probit para Percentagem.....	157
Tabela 65. Dados meteorológicos referentes à velocidade do vento relacionado ao verão no período diurno.....	158
Tabela 66. Dados meteorológicos referentes à velocidade do vento relacionado ao verão no período noturno.....	158
Tabela 67. Dados meteorológicos referentes à velocidade do vento relacionado ao outono no período diurno.....	159
Tabela 68. Dados meteorológicos referentes à velocidade do vento relacionado ao outono no período noturno.....	159
Tabela 69. Dados meteorológicos referentes à velocidade do vento relacionado ao inverno no período diurno.....	160
Tabela 70. Dados meteorológicos referente a velocidade do vento relacionado ao inverno no período noturno.....	160
Tabela 71. Dados meteorológicos referentes à velocidade do vento relacionado a primavera no período diurno.....	161
Tabela 72. Dados meteorológicos referentes à velocidade do vento relacionado a primavera no período noturno.....	161
Tabela 73. Dados meteorológicos referentes à temperatura relacionado ao verão no período diurno.....	162
Tabela 74. Dados meteorológicos referentes à temperatura relacionado ao verão no período noturno.....	162
Tabela 75. Dados meteorológicos referentes à temperatura relacionado ao outono no período diurno.....	162
Tabela 76. Dados meteorológicos referentes à temperatura relacionado ao outono no período noturno.....	162
Tabela 77. Dados meteorológicos referentes à temperatura relacionado ao inverno no período diurno.....	163

Tabela 78. Dados meteorológicos referentes à temperatura relacionado ao inverno no período noturno.....	163
Tabela 79. Dados meteorológicos referentes à temperatura relacionado a primavera no período diurno.....	164
Tabela 80. Dados meteorológicos referentes à temperatura relacionado a primavera no período noturno.....	164
Tabela 81. Dados meteorológicos referentes à umidade relativa relacionada ao verão no período diurno.....	165
Tabela 82. Dados meteorológicos referentes à umidade relativa relacionada ao verão no período noturno.....	165
Tabela 83. Dados meteorológicos referentes à umidade relativa relacionada ao outono no período diurno.....	166
Tabela 84. Dados meteorológicos referentes à umidade relativa relacionada ao outono no período noturno.....	166
Tabela 85. Dado meteorológico referente à umidade relativa relacionada ao inverno no período diurno.....	167
Tabela 86. Dado meteorológico referente à umidade relativa relacionada ao inverno no período noturno.....	167
Tabela 87. Dados meteorológicos referente à umidade relativa relacionados a primavera no período diurno.....	168
Tabela 88. Dados meteorológicos referente à umidade relativa relacionados a primavera no período noturno.....	168
Tabela 89. Dado meteorológico referente à cobertura de nuvem em % no período diurno.....	169
Tabela 90. Dado meteorológico referente à cobertura de nuvem em % no período noturno.....	169
Tabela 91. Freqüência média da direção do vento em %, para todos os meses do ano.....	170
Tabela 92. Planilha de Vulnerabilidade.....	175

LISTA DE SIGLAS

ACGIH	American Conference of Industrial Hygienists
ALARP	As Low As Reasonably Practicable
ALOHA	Area Location of Hazardous Atmosphers
APHA	American Public Health Association
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo – Brasil
Curva F-N	É uma forma de expressar o risco social, fornecendo a frequência acumulada de acidentes verus N ou mais fatalidades.
EPA	Environmental Protection Agency
EPI	Equipamento de Proteção Individual
ETA	Estação de Tratamento de Água
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
FMECA	Failure Modes Effects and Criticality Analysis
FTA	Fault Tree Analysis
HAZOP	Hazard and Operability
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
IDLH	Immediately Dangerous to Life or Health
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
IPPUC	Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba
OSHA	Occupational Safety & Health Administration
PEL	Permissible Exposure Limits
PHA	Preliminary Hazard Analysis
PROBIT	Unidade de Probabilidade
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Estado do Paraná
SIMEPAR	Sistema Meteorológico Paranaense

LISTA DE SÍMBOLOS

A_n	- Área do orifício
atm	- Unidade de pressão, atmosfera
C	- Descrição do cenário acidental
C	- Concentração, ppm
C_d	- Coeficiente de descarga
C_p	- Calor específico à pressão constante
C_v	- Calor específico a volume constante
$C(x)$	- Concentração volumétrica
Cl_2	- Gás cloro
$^{\circ}C$	- Unidade de temperatura, Celsius
D_m	- Densidade média
D	- Dose
E_v	- Fluxo de evaporação
F	- Frequência de ocorrência do cenário acidental
F_F	- Fração flasheada
f_i	- Frequência de ocorrência do evento i
g	- Constante gravitacional
g_c	- Fator de proporcionalidade de Newton's
H_2O	- Água
$HClO$	- Ácido cloroso
HCl	- Ácido clorídrico
H_{vap}	- Entalpia de vapor
H_L	- Altura do líquido
hab	- Habitantes
ha	- Unidade de área
J	- Unidade de energia, Joule
Kg	- Unidade de massa, kilograma
Kgf/cm^2	- Unidade de pressão
Kg/m^3	- Unidade de densidade
K	- Unidade de temperatura, Kelvin
m	- Taxa da descarga
mm	- Unidade de comprimento, milímetro

M	- Peso molecular
M_a	- Peso molecular do ar
M_s	- Peso molecular do produto vazado
n	- N ^o moles
NaCl	- Cloreto de sódio
Pv	- Pressão de vapor
ppmv	- Parte por milhão em volume
ρ_L	- Densidade do líquido
pi	- Probabilidade
P_0	- Pressão interna
P_1	- Pressão ambiente
P^0	- Pressão de vapor líquido
P_{f_i}	- Probabilidade de morte
Pr	- Probit
Q	- Vazão mássica
R	- Constante dos gases
R	- Risco
$R_{I_{x,y}}$	- Risco Individual Total de Fatalidade
$R_{I_{x,y,i}}$	- Risco Individual de Fatalidade
S	- Severidade das Conseqüências
Tr	- Temperatura de referência
T_1	- Temperatura do produto
Teb	- Temperatura de ebulição
T	- Temperatura
T_c	- Temperatura de equilíbrio
T_e	- Tempo de exposição, min
u	- Velocidade do vento
V	- Volume
V_a	- Velocidade de entrada
V_b	- Velocidade de saída
x_i	- n ^o de vítimas
Za	- Altura do fluido na entrada do tubo
Zb	- Altura do fluido na saída do tubo
γ	- Relação de calores específicos

RESUMO

As indústrias e empreendimentos que utilizam produtos químicos perigosos nos seus processos estão sujeitos a grande probabilidade de ocorrer graves acidentes dentro de suas instalações. Devido ao aumento de acidentes em indústrias que manuseiam produtos tóxicos, surgiu a necessidade de realizar estudos de análises de risco para avaliar os riscos e identificar os perigos a que o empreendimento e sua vizinhança estão expostos. Com isso o trabalho proposto é fazer um estudo para determinar o nível de risco devido uma possível liberação de gás cloro em uma planta de tratamento de água localizada no município de Curitiba. A substância em estudo é o gás cloro que é empregado para desinfecção da água em estações de tratamento. Os programas de computador ALOHA e EFFECTS2 foram usados para calcular o tempo e a distribuição espacial da concentração do gás denso na atmosfera, em função da distância do ponto de vazamento. A análise de vulnerabilidade foi realizada utilizando o modelo vulnerabilidade de Einsenberg pela equação Probit, que tem como objetivo determinar a probabilidade de morte para uma pessoa exposta a uma determinada concentração do gás durante um determinado intervalo de tempo. A partir da combinação da frequência de ocorrência de cada evento com o número de mortes pode-se calcular o risco social e individual e estimar a aceitabilidade do risco. Os resultados de dispersão atmosférica indicaram que concentrações superiores ao do IDLH ocorreram fora dos limites da empresa, podendo provocar danos irreversíveis à população exposta à zona afetada. O comportamento da curva de tolerabilidade para o risco social mostra que o risco se encontra dentro da zona de redução de risco (ALARP) para os cenários estudados.

Palavras-chave: Análise de risco, Cloro, Dispersão da pluma, Probabilidade de fatalidade, Risco Social e Individual.

ABSTRACT

Industries and enterprises that use hazard chemical products in their processes are subject great probability of happen serious accidents inside of their installations. Due to the increase of accidents in industries that handle toxics products, the need appeared of accomplishing studies of risk analysis to evaluate the risks and to identify the dangers that the enterprise and neighbourhood are exposed. With that the proposed work is to do a study to determine the level of risk due a possible liberation of a dangerous chemical substance in a plant of treatment of water located in the municipal of Curitiba. The substance in study is the gas chlorine that is used for disinfection of the water in treatment stations. The computer programs ALOHA and EFFECTS2 are used to calculate the time and the space distribution of the concentration of the dense gas in the atmosphere, in function of the distance of the leak point. The analysis of vulnerability was analyzed through the model vulnerabilidade of Einsenberg by the equation Probit, that has with objective to determine the death probability for an exposed person to a determined concentration of the gas during a certain interval of time. The combination of the frequency of occurrence of each event with the number of deaths the social and individual risk can be calculated and to estimate the acceptability of the risk. The results of atmospheric dispersion indicated that higher concentrations to the of IDLH happened out of the limits of the company, could cause irreversible damages to the exposed population to the affected zone. The behavior of the tolerable curve for the social risk shows that the risk is inside of the zone of risk reduction (ALARP) for the studied sceneries.

Keywords: Risk Analysis, Chlorine, Cloud dispersion, Fatality probability, Social and Individual Risk.