**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**

**PROGRAMA DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS OUÍMICOS E BIOQUÍMICOS**

**CELSO DE FREITAS FILHO**

# AVALIAÇÃO CRÍTICA DA ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCOS COMO FERRAMENTA PARA A GESTÃO PÚBLICA NO BRASIL

Orientador: Prof.ª Suzana Borschiver, D.Sc.

Coorientador: Prof. Assed Naked Haddad, D.Sc.

Rio de Janeiro, 2015

Avaliação Crítica da Análise Quantitativa de Riscos como Ferramenta para Gestão Pública no Brasil

Celso de Freitas Filho

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA ESCOLA DE QUÍMICA / TECNOLOGIA DOS PROCESSOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS / UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS.

Escola de Química
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Orientador: Prof.ª Suzana Borschiver, D.Sc.
Coorientador: Prof. Assed Naked Haddad, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil
2015

Avaliação Crítica da Análise Quantitativa de Riscos como Ferramenta para Gestão Pública no Brasil

Celso de Freitas Filho

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA ESCOLA DE QUÍMICA / TECNOLOGIA DOS PROCESSOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS / UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS.

Aprovado por:

_____

Prof.ª Suzana Borschiver, D.Sc.

_____

Prof. Assed Naked Haddad, D.Sc.

_____

Prof. Alvaro Bezerra de Souza Junior, D.Sc.

_____

Prof. Carlos André Vaz Junior, D.Sc.

_____

Prof. Isaac José Antonio Luquetti dos Santos, D.Sc.

_____

Prof. Paulo Victor Rodrigues de Carvalho, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

2015

Freitas Filho, Celso de

Avaliação Crítica da Análise Quantitativa de Riscos como Ferramenta para Gestão Pública no Brasil / Celso de Freitas Filho Janeiro – 2015.

iv 143f.: il

Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, TPQBq – EQ, 2015.

Orientador: Prof.ª Suzana Borschiver, D.Sc.

Coorientador: Prof. Assed Naked Haddad, D.Sc.

1.Análise Quantitativa de Riscos. 2. Gestão territorial. 3. Padrão nacional de tolerabilidade. 4. Identificação de Perigos. 5. Estimativa de consequências, frequências e riscos. 6. Software Phast. 7. Crescimento populacional. 4. Entorno. I. Suzana Borschiver e Assed Naked Haddad. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. TPQBq. III. Mestrado.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à UFRJ, em especial à Escola de Química, pela oportunidade de desenvolver o projeto de mestrado.

Agradeço a minha esposa e ao meu filho por toda compreensão e apoio nestes anos.

A minha mãe por ter me ajudado nos primeiros passos.

Ao amigo Alvaro Souza por todo o incentivo e orientação.

Aos meus orientadores Suzana e Assed pela dedicação e ajuda nas dificuldades encontradas durante a realização dessa dissertação.

Finalmente ao meu pai que me ensinou, com muita sabedoria, tudo que sei, até o seu último dia de vida.

## RESUMO

FREITAS FILHO, Celso de. Avaliação Crítica da Análise Quantitativa de Riscos como Ferramenta para Gestão Pública no Brasil. Orientador: Suzana Borschiver, Coorientador: Assed Naked Haddad. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ/TPQBq. 2015. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos).

Acidentes industriais podem ter consequências catastróficas não somente para os trabalhadores e para as instalações onde ocorrem, mas também para o seu entorno, afetando severamente populações e o meio ambiente. Nesse contexto, as análises quantitativas de risco (AQRs) começaram a ser utilizadas como uma ferramenta de apoio à tomada de decisão nos processos de gestão pública do risco associado às atividades industriais perigosas. Este trabalho discute os conceitos, fundamentos e etapas para a elaboração da AQR, além de descrever os documentos de referência para a elaboração das AQRs no Brasil. Este trabalho apresenta, a partir de um estudo de caso, a análise crítica desses documentos de referência. Por meio do estudo de caso demonstra-se os problemas causados pela individualidade das análises, pela falta de um padrão de tolerabilidade nacional e pela inexistência de um planejamento do uso e ocupação do solo nas áreas vizinhas às instalações industriais. Neste estudo de caso foi realizada a aplicação do modelo de gestão territorial desenvolvido para o Reino Unido.

Os resultados do estudo de caso demonstram como o risco individual e o risco social são subestimados quando avaliados pontualmente para cada instalação, bem como as distorções nas avaliações de riscos devido à falta de um padrão de tolerabilidade nacional, levando à diferenciação na valoração da vida humana e à inviabilidade de implantação de empreendimentos em determinados estados. Demonstra-se também como a falta de planejamento do uso e ocupação do solo pode requerer investimentos em medidas mitigadoras e até, em situações extremas, comprometer a continuidade das operações.

Conclui-se que é necessário revisar a forma de utilização das AQRs nos processos de licenciamento ambiental e criar um documento único e nacional

com instruções para a elaboração das Análises de Risco, de modo que se tenha uma ferramenta efetiva para a gestão ambiental e territorial no Brasil.

Palavras-chave: 1. Risco. 2. Critérios de Tolerabilidade. 3. Análise Quantitativa. 4. Órgão Ambiental. 5. Planejamento Territorial. 6. Acidentes Ampliados.

## ABSTRACT

FREITAS FILHO, Celso de. Critical Evaluation of Quantitative Risk Analysis as a Tool for Public Management in Brazil. Advisor: Suzana Borschiver and Co-advisor: Assed Naked Haddad. Rio de Janeiro: UFRJ / EQ / TPQBq. 2015. Dissertation (Master in Chemical and Biochemical Process Technology).

Industrial accidents can result in catastrophic consequences not only for the workers and facilities involved, but also to the surrounding region, severely affecting nearby communities and the environment. In this context, quantitative risk analyses (QRAs) began to be used as a decision-making support tool in the process of public management of risks associated with hazardous industrial activities. This work discusses the concepts, foundations and steps for the development of a QRA, and describes the reference documents for the preparation of QRAs in Brazil. A case study is used to demonstrate the problems caused by the analyses' individuality, the lack of a national tolerability standard and the inexistence of land use planning for the vicinity of industrial facilities. The UK model for land use management was used in this case study.

The case study results show how the individual risk and social risk are underestimated when evaluated only for each installation, as well as the distortions occurred in the risk assessment due to the lack of a national tolerability standard, leading to differences in the valuation of human life and the unfeasibility of some developments in certain states. It also demonstrates how the lack of land use planning can require investments in mitigation measures and even, in extreme situations, jeopardize the continuity of operations.

It is concluded that a review is required on the use of the QRAs in the environmental licensing processes, as well as the creation of a single national document with instructions for the preparation of Risk Analyses, so that we have an effective tool for environmental and land use management in Brazil.

Keywords: 1. Risk. 2. Tolerability Criteria. 3. Quantitative Analysis. 4. Environmental Authority. 5. Land Use Planning. 6. Major Accidents.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Etapas para o desenvolvimento de uma AQR ..... 31

Figura 2: Árvore de eventos ..... 38

Figura 3: Árvore de falhas ..... 38

Figura 4: Contornos de Isorrisco ..... 39

Figura 5: Curva FN ..... 40

Figura 6: Zonas de risco ..... 42

Figura 7: Refinaria Duque de Caxias (REDUC) – Duque de Caxias/RJ..... 44

Figura 8: Pan Americana Indústrias Químicas – Rio de Janeiro/RJ..... 44

Figura 9: Base de combustíveis da Petrobras – Ponta Negra/RN..... 45

Figura 10: Base de combustíveis da Ipiranga – Ourinhos/SP ..... 46

Figura 11: Refinaria Gabriel Passos (REGAP) da Petrobras – Minas Gerais/MG ..... 46

Figura 12: Terminal Aquaviário da Petrobras (TEBAR) – São Sebastião/SP... 47

Figura 13: Critérios de tolerabilidade para o risco social – INEA, instalações novas..... 50

Figura 14: Critérios de tolerabilidade para o risco social – INEA, instalações existentes ..... 50

Figura 15: Critérios de tolerabilidade para o risco individual – INEA, instalações novas..... 51

Figura 16: Critérios de tolerabilidade para o risco individual – INEA, instalações existentes ..... 51

Figura 17: Fluxo para desenvolvimento do Estudo de Análise de Risco – CETESB ..... 53

Figura 18: Limites de tolerabilidade para o risco social – CETESB..... 54

Figura 19: Limites de tolerabilidade para o risco individual – CETESB..... 55

Figura 20: Fluxo para desenvolvimento do estudo de análise de risco - FEPAM ..... 57

Figura 21: Limites de tolerabilidade para o risco social – FEPAM..... 58

Figura 22: Limites de tolerabilidade para o risco individual – FEPAM..... 59

Figura 23: Fluxograma para definição do tipo de PGR - CEPRAM..... 60

Figura 24: Fluxo para desenvolvimento do estudo de análise de risco - CEPRAM..... 62

Figura 25: Limites de tolerabilidade para o risco social – CEPRAM..... 63

Figura 26: Limites de aceitabilidade do risco individual para a população residente – CEPRAM ..... 64

Figura 27: Limites de aceitabilidade do risco individual para trabalhadores de outras indústrias – CEPRAM..... 65

Figura 28: Arranjo espacial das instalações..... 70

Figura 29: Etapas da Análise Quantitativa de Risco ..... 71

Figura 30: Árvore de eventos relacionada à liberação de líquidos ou gases tóxicos (cloro e amônia) ..... 75

Figura 31: Árvore de eventos relacionada à liberação de líquidos inflamáveis (gasolina, etanol e diesel) ..... 76

Figura 32: Árvore de eventos relacionada à liberação de gases inflamáveis (GLP)..... 76

Figura 33: Ocupações no entorno das instalações ..... 79

Figura 34: Estimativa do número de vítimas para o cálculo do risco social ..... 80

Figura 35: Ocupações no entorno das instalações no momento da renovação da licença de operação ..... 82

Figura 36: Cilindros de cloro..... 84

Figura 37: Sistema de cloração..... 85

Figura 38: Sala dos compressores de amônia ..... 86

Figura 39: Reservatório principal e condensador ..... 86

Figura 40: Tanques de armazenamento (1) ..... 87

Figura 41: Tanques de armazenamento (2) ..... 88

Figura 42: Vaso de armazenamento ..... 89

Figura 43: Tubulações de transferência ..... 89

Figura 44: Perfil de risco individual instalação 1..... 104

Figura 45: Contornos de isorrisco para instalação 1 ..... 105

Figura 46: Perfil de risco individual instalação 2..... 106

Figura 47: Contornos de isorrisco para instalação 2 ..... 107

Figura 48: Perfil de risco individual instalação 3..... 107

Figura 49: Contornos de isorrisco para instalação 3 ..... 108

Figura 50: Perfil de risco individual instalação 4..... 109

Figura 51: Contornos de isorrisco para instalação 4 ..... 110

Figura 52: Integração do risco individual para as instalações 1, 2, 3 e 4 ..... 111

Figura 53: Curva FN – Instalação 1..... 113

Figura 54: Curva FN – Instalação 2..... 115

Figura 55: Curva FN – Instalação 3..... 117

Figura 56: Curva FN – Instalação 4..... 119

Figura 57: Curva FN – Integração do risco social das instalações 1, 2, 3 e 4 121

Figura 58: Curva FN – Instalação 2, critério CETESB..... 123

Figura 59: Curva FN – Instalação 2, critério CEPRAM..... 124

Figura 60: Curva FN – Instalação 2, critério FEPAM..... 125

Figura 61: Curva FN – Instalação 2, critério INEA instalações novas ..... 126

Figura 62: Curva FN – Instalação 2 no momento da implantação..... 128

Figura 63: Curva FN – Instalação 2 no momento da revisão da licença de operação ..... 129

Figura 64: Aplicação da metodologia de gestão territorial no Reino Unido no estudo de caso. ..... 131

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Características dos acidentes industriais ampliados ..... 28

Tabela 2: Modelos computacionais para análise de risco ..... 35

Tabela 3: Matriz de ocupação pelo nível de sensibilidade ..... 42

Tabela 4: Efeitos físicos pesquisados para estimativa das áreas vulneráveis . 72

Tabela 5: Níveis de concentração de cloro ..... 73

Tabela 6: Níveis de concentração de amônia ..... 74

Tabela 7: Taxas básicas de falha..... 77

Tabela 8: Cenários acidentais para estimativa dos efeitos físicos ..... 90

Tabela 9: Cenário acidental 1.1..... 91

Tabela 10: Cenário acidental 1.2..... 91

Tabela 11: Cenário acidental 2.1..... 91

Tabela 12: Cenário acidental 2.2..... 92

Tabela 13: Cenário acidental 3.1..... 92

Tabela 14: Cenário acidental 3.2..... 93

Tabela 15: Cenário acidental 3.3..... 93

Tabela 16: Cenário acidental 4.4..... 93

Tabela 17: Cenário acidental 4.2..... 94

Tabela 18: Distância alcançada pelos níveis de concentração tóxica de $Cl_2$ ... 94

Tabela 19: Distância alcançada pelos níveis de concentração tóxica de $NH_3$ . 95

Tabela 20: Distância alcançada pelos níveis de radiação térmica – Incêndio em poça ..... 95

Tabela 21: Distância alcançada pelo limite inferior de inflamabilidade (LII) – Incêndio em nuvem ..... 95

Tabela 22: Distância alcançada pelos níveis de sobrepressão – Explosão não confinada..... 96

Tabela 23: Distância alcançada pelos níveis de radiação térmica – Jato de fogo ..... 96

Tabela 24: Distância alcançada pelo limite inferior de inflamabilidade (LII) – Incêndio em nuvem ..... 96

Tabela 25: Distância alcançada pelos níveis de sobrepressão – Explosão não confinada..... 97

Tabela 26: Eventos iniciadores dos cenários acidentais ..... 97

Tabela 27: Frequência do evento iniciador 1.1..... 98

Tabela 28: Frequência do evento iniciador 1.2..... 98

Tabela 29: Frequência do evento iniciador 2.1..... 98

Tabela 30: Frequência do evento iniciador 2.2..... 99

Tabela 31: Frequência do evento iniciador 3.1..... 99

Tabela 32: Frequência do evento iniciador 3.2..... 99

Tabela 33: Frequência do evento iniciador 3.3..... 99

Tabela 34: Frequência do evento iniciador 4.1..... 100

Tabela 35: Frequência do evento iniciador 4.2..... 100

Tabela 36: Número de mortes por cenário acidental..... 112

Tabela 37: Frequência acumulada por número de mortes..... 112

Tabela 38: Número de mortes por cenário acidental..... 114

Tabela 39: Frequência acumulada por número de mortes..... 114

Tabela 40: Número de mortes por cenário acidental..... 116

Tabela 41: Frequência acumulada por número de mortes..... 117

Tabela 42: Número de mortes por cenário acidental..... 118

Tabela 43: Frequência acumulada por número de mortes..... 119

Tabela 44: Frequência acumulada por número de mortes..... 120

Tabela 45: Frequência acumulada por número de mortes..... 122

Tabela 46: Número de mortes por cenário acidental..... 127

Tabela 47: Frequência acumulada por número de mortes..... 127

Tabela 48: Número de mortes por cenário acidental..... 128

Tabela 49: Frequência acumulada por número de mortes..... 129

## LISTA DE ABREVIATURAS

ACMH - *Advisory Committee on Major Hazards*

AQR - Análise Quantitativa de Riscos

APP - Análise Preliminar de Perigos

ALARP - *as low as reasonably practicable*

ARCHIE - Automated Resource for Chemical Hazard Incident Evaluation

BLEVE - *Boiling liquid expanding vapor explosion*

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CEPRAM - Conselho Estadual de Meio Ambiente

CHARM - Complex Hazardous Air Release model

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler

FMEA - *Failure Modes and Effects Analysis*

FN – Curva de distribuição acumulada complementar

FP – Fator de perigo

GLP - Gás liquefeito de petróleo

HAZOP - *Hazard and Operability Analysis*

HSE - *Health and Safety Executive*

INEA - Instituto Estadual do Ambiente

IR – Índice de risco

IZ - Zona interior

MMLA – Maiores massas liberadas acidentalmente

MIC - Isocianato de metila

MR – Massa de referência

MZ – Zona média

OZ – Zona exterior

PGR – Programa de Gerenciamento de Risco

PHAST - *Process Hazard Analysis Software Tools*

REDUC - Refinaria Duque de Caxias

REGAP - Refinaria Gabriel Passos

SAFETI - Software for the Assessment of Flammable, Explosive and Toxic Impact

TEBAR - Terminal Aquaviário da Petrobras

TCDD - Tetraclorodibenzoparadioxina

## SUMÁRIO

**1.0 INTRODUÇÃO ..... 20**

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO ..... 20

1.2 OBJETIVO ..... 20

1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO ..... 20

1.4 ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO ..... 21

**2.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA ..... 22**

2.1 ACIDENTES INDUSTRIAIS AMPLIADOS ..... 22

2.1.1 Acidente de Flixborough, Inglaterra, 1º de junho de 1974 ..... 24

2.1.2 Acidente de Seveso, Itália, 10 de julho de 1976 ..... 25

2.1.3 Acidente de Bhopal, Índia, 3 de dezembro de 1984 ..... 25

2.1.4 Acidente Alaska, EUA, 24 de março de 1989 ..... 26

2.1.5 Acidente de Cubatão, Brasil, 25 de fevereiro de 1984 ..... 27

2.1.6 Acidente da PEMEX Cidade do México, México, 19 de novembro de 1984 27

2.1.7 Acidentes Industriais Atuais ..... 28

2.2 ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCO ..... 31

2.2.1 Descrição do processo, da planta e da região ..... 32

2.2.2 Identificação de perigos ..... 32

2.2.3 Consolidação das hipóteses acidentais ..... 33

2.2.4 Estimativa de consequências ..... 33

2.2.4.1 O software PHAST ..... 36

2.2.5 Estimativa de frequências ..... 37

2.2.6 Avaliação de riscos ..... 39

2.3 GESTÂO TERRITORIAL BASEADA EM ANÁLISE DE RISCO .....41

2.3.1 Reino Unido .....41

2.3.2 Brasil.....43

2.4 ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCO COMO FERRAMENTA PARA A GESTÃO PÚBLICA NO BRASIL.....48

2.4.1 Estado do Rio de Janeiro – Instituto Estadual do Ambiente (INEA) .....49

2.4.2 Estado de São Paulo – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) .....52

2.4.3 Estado do Rio Grande do Sul – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM) .....56

2.4.4 Estado da Bahia – Conselho Estadual de Meio Ambiente (CEPRAM) ..59

**3.0 ANÁLISE CRÍTICA DOS DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA PARA A ELABORAÇÃO DE ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCO NO BRASIL ..... 66**

3.1 INDIVIDUALIDADE DAS ANÁLISES QUANTITATIVAS DE RISCO.....66

3.2 PADRÕES DE TOLERABILIDADE DE RISCO .....67

3.3 REVISÃO DAS ANÁLISES QUANTITATIVAS DE RISCO E PLANEJAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....67

**4.0 ESTUDO DE CASO..... 69**

4.1 METODOLOGIA .....69

4.1.1 Individualidade das Análises Quantitativas de Risco.....69

4.1.2 Padrões de Tolerabilidade de Risco .....81

4.1.3 Revisão das Análises Quantitativas de Risco e Planejamento do Uso e Ocupação do Solo .....81

4.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....84

4.2.1 Individualidade das Análises Quantitativas de Risco.....84

4.2.2 Comparação dos Padrões de Tolerabilidade de Risco.....122

4.2.3 Avaliação do período de revisão das Análises Quantitativas de Risco e do Planejamento do Uso e Ocupação do Solo .....127

**5.0 APLICAÇÃO DO MODELO DE GESTÃO TERRITORIAL BASEADA EM RISCO..... 131**

**6.0 CONCLUSÕES..... 133**

**7.0 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS ..... 136**

**8.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 137**

**ANEXOS**

**Anexo A**

**Relatórios das modelagens matemáticas PHAST**

**Anexo B**

**Memorias de cálculo do Risco**

# 1.0 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Acidentes industriais podem ter consequências catastróficas não somente para os trabalhadores e para as instalações onde ocorrem, mas também para o seu entorno, afetando severamente populações e o meio ambiente. Segundo Souza Junior (2002), a maior visibilidade social dos riscos industriais, precipitada pela ocorrência de graves acidentes, levou vários países, especialmente os mais industrializados, e organismos internacionais a reverem suas estratégias de intervenção visando a uma maior proteção dos trabalhadores, do público e do meio ambiente. Uma consequência importante foi o surgimento de regulamentações estabelecendo um maior controle sobre as atividades industriais.

Nesse contexto, as análises quantitativas de risco (AQRs) começaram a ser utilizadas como uma ferramenta de apoio à tomada de decisão nos processos de gestão pública do risco associado às atividades industriais perigosas. No Brasil, em particular, as AQRs vêm sendo requeridas pelos órgãos ambientais desde a década de 1980 como parte dos estudos necessários para o licenciamento de instalações que movimentam produtos perigosos capazes de afetar populações no caso de eventos acidentais.

## 1.2 OBJETIVO

Este estudo visa avaliar como a AQR é utilizada para a gestão pública de risco tecnológico no Brasil. Serão discutidos aspectos relacionados à metodologia e aos critérios de avaliação de risco adotados pelas autoridades no Brasil e em outros países, bem como as implicações com relação à ocupação territorial no entorno de áreas industriais.

## 1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO

O objetivo específico do trabalho é a constatação da limitação do uso da AQR no Brasil unicamente como base para o licenciamento ambiental das instalações industriais, e não como um instrumento para a gestão ambiental e territorial. No final do trabalho, serão expostas propostas para contribuir para o aperfeiçoamento do uso

dos estudos de análise de risco como um instrumento efetivo para esta gestão. A proposta estará baseada na forma de utilização das AQRs nos processos de licenciamento ambiental e na criação de um documento nacional para a elaboração das análises.

## 1.4 ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO

Este estudo está dividido em cinco capítulos, a partir desta introdução (Capítulo 1), descritos a seguir:

a) Capítulo 2, onde serão apresentados conceitos e exemplos de acidentes industriais ampliados, os conceitos gerais acerca da Análise Quantitativa de Risco, seus fundamentos teóricos e as diretrizes dos órgãos estaduais brasileiros para a elaboração das análises. Será feita também uma abordagem quanto à metodologia desenvolvida pelo *Health and Safety Executive (HSE)*, para o planejamento do uso e ocupação do solo no Reino Unido.

b) Capítulo 3, onde será realizada uma análise crítica dos documentos de referência para a elaboração das análises quantitativas de riscos no Brasil.

c) Capítulo 4, onde será realizado um estudo de caso para demonstrar as falhas apontadas no capítulo 3. A metodologia que será utilizada está definida para demonstrar a individualidade das análises, a falta de um padrão de tolerabilidade nacional e a falta de planejamento do uso e ocupação do solo em áreas vizinhas às instalações industriais.

d) Capítulo 5, onde será aplicado o modelo de gestão territorial desenvolvido para o Reino Unido no estudo de caso do capítulo 4.

e) Capítulo 6, onde será efetuada a conclusão do trabalho.

f) Capítulo 7, onde serão ponderadas as considerações finais e sugestões de estudos futuros acerca deste tema.

g) Capítulo 8, onde serão apresentadas as referências bibliográficas.

# 2.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

## 2.1 ACIDENTES INDUSTRIAIS AMPLIADOS

Um importante aspecto relacionado ao desenvolvimento industrial moderno foi o aumento do potencial de gravidade dos acidentes decorrentes de falhas na operação dos sistemas industriais, sistemas de transporte, sistemas energéticos e outros (SOUZA JUNUIOR, 2002 *aput* LAGADEC, 1981).

Esses acidentes podem ser denominados de acidentes ampliados, acidentes maiores, acidentes severos, dentre outros. No entanto, independentemente de sua denominação, esses acidentes são eventos agudos com potencial de causar danos ao meio ambiente e à saúde dos seres humanos expostos.

Segundo Freitas *et al* (1995) esses acidentes não resultam apenas de falhas tecnológicas e humanas, mas também de falhas gerenciais.

Os acidentes ampliados possuem potencial para causar grande número de óbitos e seus efeitos são capazes de ultrapassar limites espaciais e temporais.

Quanto à sua forma de ocorrência, estão normalmente associados à perda de contenção de um ou mais produtos perigosos, resultando em incêndios, explosões ou liberações tóxicas (LEES, 1980; FAWCETT, 1981).

**Incêndios** são o resultado de uma reação química (combustão) envolvendo a oxidação de uma substância (combustível), com liberação de energia principalmente sob a forma de calor. Podem se manifestar de diversas formas:

- jato de fogo (*jet fire*), que é uma chama estreita produzida, por exemplo, pela ignição de um vazamento de gás em uma tubulação pressurizada;
- incêndio em poça (*pool fire*), que resulta da ignição de uma poça de líquido inflamável;
- incêndio em nuvem (*flash fire*), que ocorre devido à combustão de uma nuvem de gás inflamável;
- bola de fogo (*fireball*), que resulta da ignição de uma grande massa de gás inflamável liberada abruptamente;
- incêndios em materiais sólidos combustíveis.

**Explosões** são liberações súbitas e violentas de energia acumulada sob várias formas possíveis. A energia liberada em uma explosão pode ser classificada em três tipos básicos: física, química e nuclear. Eventos relacionados à liberação de energia física ocorrem, por exemplo, na explosão de capacitores e transformadores (energia elétrica) e na explosão de vasos pressurizados (energia potencial de pressão). Explosões de origem química podem advir de reações exotérmicas descontroladas e de reações de combustão em misturas inflamáveis e materiais explosivos. Explosões associadas à liberação de energia nuclear não serão discutidas neste trabalho.

Dois tipos de explosões merecem um comentário particular, em razão do seu elevado potencial de destruição e raio de alcance. O primeiro está relacionado à ignição de uma nuvem de gás ou vapor inflamável, dando origem a uma explosão confinada ou não confinada. Dependendo das quantidades de gás ou vapor liberadas e das condições meteorológicas, uma nuvem inflamável pode alcançar grandes distâncias – em alguns casos superior a 100 metros – antes da sua ignição.

Um outro tipo de explosão com consequências potencialmente catastróficas é conhecido como BLEVE (*boiling liquid expanding vapor explosion*). O BLEVE é um fenômeno que pode acontecer em vasos ou tanques pressurizados onde um gás liquefeito é estocado acima de sua temperatura de ebulição à pressão atmosférica.

Ocorrendo a ruptura abrupta do vaso, seu conteúdo é instantaneamente liberado na forma de uma mistura bifásica gás-líquido que se expande rapidamente, formando uma grande nuvem. Caso a substância seja inflamável, uma eventual ignição desta nuvem provoca uma bola de fogo (*fireball*) que gera um intenso fluxo térmico e ondas de sobrepressão. Dependendo da quantidade de gás envolvida, o calor liberado é capaz de produzir mortes e queimaduras graves a algumas centenas de metros do local da explosão.

**Liberações tóxicas** resultam da emissão de uma ou mais substâncias potencialmente danosas ao meio ambiente e, em particular, à saúde e à vida das pessoas expostas. A emissão de substâncias tóxicas pode ser causada por uma perda de contenção em equipamentos tais como tanques e tubulações. Substâncias tóxicas podem também ser produzidas e emitidas devido a reações químicas descontroladas e às reações de combustão ocorridas em incêndios e explosões. As liberações tóxicas

ocorrem normalmente sob a forma líquida ou gasosa, possuindo as liberações gasosas geralmente um maior potencial de gravidade devido à sua propagação mais rápida. Os efeitos da exposição a uma substância tóxica dependem de uma série de fatores, tais como tipo e quantidade da substância liberada, tempo e forma de exposição, e capacidade de resistência dos indivíduos expostos. Duas substâncias comumente envolvidas em liberações tóxicas são o cloro e a amônia, em razão da intensa difusão do seu uso em instalações industriais e não-industriais.

A seguir estão descritos alguns acidentes ampliados.

### 2.1.1 Acidente de Flixborough, Inglaterra, 1º de junho de 1974

Na tarde do sábado, 1º de junho de 1974, uma violenta explosão destruiu as instalações de uma planta química situada próximo à localidade rural de Flixborough, cerca de 260 km ao norte de Londres.

A explosão ocorreu devido ao vazamento de ciclohexano, causado pelo rompimento de uma tubulação temporária instalada como "*by-pass*" devido à remoção de um reator para a realização de serviços de manutenção. O vazamento formou uma nuvem de vapor inflamável que entrou em ignição resultando numa violenta explosão seguida de um incêndio que destruiu a planta industrial.

A ruptura da tubulação de 20 polegadas foi atribuída a um projeto mal elaborado, uma vez que a estrutura instalada para a sustentação do duto não suportou a sua movimentação, em função da pressão e da vibração a que o tubo foi submetido durante a operação.

Estimou-se que cerca de 30 t de ciclohexano vazaram, formando rapidamente uma imensa nuvem de vapor inflamável

Além da destruição da planta, em função do incêndio ocorrido, 28 pessoas morreram e 36 foram gravemente feridas. Os efeitos da explosão também foram sentidos externamente à planta, com o registro de lesões em 53 pessoas e danos a cerca de 2.000 residências e outras propriedades. (LESS, 1996; KLETZ, 1998; CROWL E LOUVAR, 2002; SOUZA JUNIOR, 2002; CETESB 2006).

### 2.1.2 Acidente de Seveso, Itália, 10 de julho de 1976

A pequena cidade de Seveso, localizada cerca de 20 km ao norte de Milão, deu nome a um dos mais conhecidos acidentes químicos da história. O acidente teve sua origem em uma reação descontrolada ocorrida no interior de um reator de uma planta química utilizada para a formulação de triclorofenol. A elevação de pressão no reator levou ao rompimento do disco de ruptura e consequente liberação para a atmosfera de uma nuvem contendo, entre outras substâncias, uma pequena – estimada entre 1 e 2 kg – porém importante quantidade de TCDD (2,3,7,8-tetraclorodibenzoparadioxina). Inicialmente minimizados pelos representantes da indústria e das autoridades locais, os efeitos da liberação começaram a se manifestar em poucos dias, com danos à vegetação, mortes de animais e afecções cutâneas em pessoas, principalmente crianças. Estes efeitos despertaram atenção para o acidente e, em meio ao desconhecimento e à desinformação, começou-se a temer pelo pior. Dezesseis dias após o acidente, foi efetuada a retirada de 225 pessoas da área considerada mais afetada pela dioxina e a população foi orientada a não consumir produtos da região, orientação que permaneceu durante vários meses. Posteriormente, a área considerada contaminada foi estendida para mais de 100 ha, provocando a retirada de mais 730 pessoas. Cerca de 220 mil pessoas foram submetidas a monitoramento epidemiológico, e mais de 20 anos depois do acidente parte da população ainda recebia acompanhamento em razão das incertezas quanto aos efeitos crônicos da exposição à dioxina. (LESS, 1996; KLETZ, 1998; CROWL E LOUVAR, 2002; SOUZA JUNIOR, 2002; CETESB 2006).

### 2.1.3 Acidente de Bhopal, Índia, 3 de dezembro de 1984

O mais grave acidente da história da indústria química ocorreu em uma planta de fabricação de pesticidas da empresa Union Carbide, situada na cidade indiana de Bhopal. O acidente foi causado pela entrada de água em um tanque subterrâneo contendo 41 toneladas de isocianato de metila (MIC), uma substância altamente tóxica.

O contato do MIC com a água provocou uma reação exotérmica seguida do aumento da pressão no tanque. Isto provocou a abertura de uma válvula de alívio, resultando na emissão para a atmosfera de cerca de 25 toneladas de MIC e 13 toneladas de produtos da reação. A emissão acarretou a formação de uma nuvem tóxica que se

espalhou sobre uma vasta área, densamente habitada, cobrindo cerca de 40 $km^2$. As primeiras mortes começaram a ser registradas poucas horas após a liberação, ocorrida por volta de 0 h 30 min e, pela manhã, já se contavam mais de 1.000 pessoas mortas, algumas atingidas pelo gás a uma distância de 8 km da planta. As condições meteorológicas contribuíram para agravar os efeitos do acidente: o vento soprava na direção das ocupações populacionais próximas à planta e a presença de inversão térmica reduziu a velocidade de diluição da nuvem de gás. A extensão da tragédia permanece incerta: a estimativa oficial do governo indiano indica 1.800 mortos; outras fontes estimam este número entre 2.500 e 5.000, além de lesões graves em 30.000 a 50.000 pessoas e algum tipo de dano físico a outras 200.000 a 300.000. (LESS, 1996; KLETZ, 1998; CROWL E LOUVAR, 2002; SOUZA JUNIOR, 2002; CETESB 2006).

### 2.1.4 Acidente Alaska, EUA, 24 de março de 1989

O choque do casco do petroleiro Exxon Valdez com um rochedo enquanto navegava ao longo de um canal do Estreito Prince William foi responsável pelo derramamento de aproximadamente 270.000 barris de petróleo (cerca de 40.000 toneladas) nas águas da região. O óleo derramado espalhou-se pelas numerosas baías e entradas do estreito, atingindo uma área de 4.800 $km^2$ e 2.000 km de costa, e causando danos inestimáveis aos ecossistemas marinhos e costeiros locais. Os custos de limpeza atingiram valores extraordinários: até 1992 a Exxon, empresa proprietária do navio, já tinha gastado 2,1 bilhões de dólares em trabalhos que envolveram 10 mil operários, 1.000 barcos, 70 aviões e helicópteros e 134 biólogos e toxicólogos. Além disto a empresa concordou em pagar ao Estado do Alaska e ao governo federal 1,3 bilhão de dólares ao longo de 10 anos, referentes a despesas com limpeza e multas. As indenizações também foram excepcionalmente vultosas: somente a um grupo de 34.000 pescadores a Exxon foi condenada ao pagamento de 5 bilhões de dólares, a maior indenização até então já paga em um caso de dano ao ambiente. (LESS, 1996; SOUZA JUNIOR, 2002; CETESB 2006).

### 2.1.5 Acidente de Cubatão, Brasil, 25 de fevereiro de 1984

Um vazamento de 700.000 litros de gasolina ocasionou um incêndio de proporções catastróficas em Cubatão, São Paulo. O vazamento ocorreu em um duto de 18” situado próximo a uma favela (Vila Socó) com cerca de 8.000 habitantes. O incêndio, que durou cerca de 10 horas, iniciou-se nos primeiros minutos da madrugada, mas há registro de que o vazamento tenha sido percebido por alguns moradores pelo menos duas horas antes do fogo. Há registro também de pessoas que recolheram parte da gasolina vazada e a estocaram em suas residências. O incêndio resultou na destruição completa de uma área equivalente a 100.000 $m^2$, correspondente a 3/4 da favela. Os corpos de 67 pessoas – quase todos irreconhecíveis – foram encontrados entre as cinzas das casas. Entre os cerca de 200 feridos com maior gravidade, vários não resistiram às queimaduras e faleceram nos dias seguintes. No entanto, o total de mortes comumente atribuído na literatura ao acidente de Cubatão – 508 – supera em muito estes números. (LESS, 1996; KLETZ, 1998; SOUZA JUNIOR, 2002; CETESB 2006).

### 2.1.6 Acidente da PEMEX Cidade do México, México, 19 de novembro de 1984

Uma série de explosões ocorridas em uma área de estocagem de gás liquefeito de petróleo (GLP) situada no subúrbio de San Juanico resultou em cerca de 500 mortes, mais de 2.000 casos de queimaduras severas e na evacuação de 60.000 pessoas. A maior parte das pessoas afetadas vivia em habitações precárias situadas a cerca de 130 metros da instalação. O acidente foi iniciado pelo rompimento de uma das linhas de bombeio de GLP, o que ocasionou uma fuga massiva de gás e a formação de uma nuvem inflamável que sofreu ignição ao atingir a tocha do sistema de queimadores da instalação. Após esta primeira explosão, o desastre evoluiu rapidamente. Seguiram-se diversos focos de incêndio no interior da planta e o BLEVE de quatro tanques esféricos, cada um contendo 1.500 $m^3$ de GLP, e de outros tanques cilíndricos menores, contendo entre 45 e 270 $m^3$. As bolas de fogo resultantes dos BLEVEs se espalharam através das ruas de San Juanico. Um bloco com cerca de 200 casas precariamente construídas foi completamente demolido por estas bolas de fogo. As explosões também causaram o lançamento de fragmentos de tanques e tubulações,

alguns com peso de 40 toneladas, a uma distância de até 1.200 metros. (LESS, 1996; KLETZ, 1998; SOUZA JUNIOR, 2002; CETESB 2006).

A tabela a seguir apresenta as principais características dos acidentes citados acima.

**Tabela 1: Características dos acidentes industriais ampliados**

| Acidente | Local | Ano | Substância | Quantidade liberada | Mortos | Feridos | Danos externos – comentários |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Flixborough | Inglaterra | 1974 | Ciclohexano | 30 ton | 28 | 36 | Sim – destruição da planta. |
| Seveso | Itália | 1976 | TCDD | 1 a 2 kg | --- | --- | Sim – um dos mais conhecidos acidentes da história. |
| Cubatão | São Paulo | 1984 | Gasolina | 7.000 l | 508 | --- | Sim – número de mortos oficial igual a 67. |
| PEMEX | México | 1984 | GLP | | 500 | 2.000 | Sim – maior parte da população afetada vivia a cerca de 130 m. |
| Bhophal | Índia | 1984 | MIC | 25 ton | 2.500 a 5.000 | 30.000 a 50.000 | Sim – maior acidente da indústria química. |
| Exxon Valdez | Alaska | 1989 | Petróleo | 40.000 ton | --- | --- | Sim – danos ambientais catastróficos. |

Fonte: Elaboração própria.

### 2.1.7 Acidentes Industriais Atuais

*Acidente da BP no Golfo do México*

No dia 20 de abril de 2010, no Golfo do México, Estados Unidos ocorreu a explosão da plataforma de petróleo semi-submersível Deepwater Horizon que pertence à Transocean e que estava sendo operada pela BP, afundando na quinta-feira seguinte à explosão, após permanecer dois dias em chamas. Uma grande mancha de óleo espalhou-se e chegou à costa da Louisiana e a outros estados.

Neste acidente 17 trabalhadores ficaram feridos e 11 faleceram. O derramamento permaneceu oficialmente até o dia 17 de julho de 2010. Tornando-se o pior desastre ambiental da história. (http://www.csaq.org.br).

*Acidente nuclear na Central de Fukushima Daiichi*

No dia 11 de março de 2011, o Nordeste do Japão foi atingido por um terremoto de 9 graus na escala Richter. O epicentro foi bem próximo ao litoral e a poucos quilômetros abaixo da crosta terrestre. Foi o maior terremoto de que se tem registro histórico a atingir uma área densamente povoada e com alto desenvolvimento industrial. Mesmo para um país de alto risco sísmico e cuja cultura e tecnologia se adaptaram para tornar esse risco aceitável, tal evento, numa escala de probabilidade de 1 em cada 1.000 anos, superou toda capacidade de resposta desenvolvida ao longo de séculos pelo Japão.

A maior parte das construções e todas as instalações industriais com riscos de explosões e liberação de produtos tóxicos ao meio ambiente, tais como refinarias de óleo, depósitos de combustíveis, usinas termoelétricas e indústrias químicas, localizadas na região atingida colapsaram imediatamente, causando milhares de mortes e dano ambiental ainda não totalmente quantificado. Mas as 14 usinas nucleares das três centrais da região afetada resistiram às titânicas forças liberadas pela Natureza. Todas desligaram automaticamente e se colocaram em modo seguro de resfriamento com diesel-geradores, após ter sido perdida toda a alimentação elétrica externa.

A onda gigante (tsunami) que se seguiu ao evento inviabilizou todo o sistema diesel de emergência destinado à refrigeração de 4 reatores da Central Fukushima-Daiichi e os levou ao status de grave acidente nuclear, com perda total dos 4 reatores envolvidos, devido ao derretimento dos seus núcleos e com liberação de radioatividade para o meio ambiente após explosões de hidrogênio, porém sem vítimas devido ao acidente nuclear.

A necessidade de remoção das populações próximas à área da central se tornou imperiosa, e todo o plano de emergência nuclear foi mobilizado num momento em que o país estava devastado. Porém, no fim de 2011, as restrições de acesso a 5 áreas evacuadas num raio entre 10 km e 20 km foram canceladas, com a população autorizada a retornar a suas residências.

De acordo com os especialistas em radiação, as emissões decorrentes do acidente não atingiram níveis que possam causar danos irreparáveis ao meio ambiente ou à

saúde das pessoas (mesmo para os trabalhadores envolvidos nos processos de emergência). (http://www.eletronuclear.gov.br/).

*Acidente na Base Petrogold*

No dia 23 de maio de 2013, por volta das 10:30 hs, iniciou um incêndio de grandes proporções na base de armazenamento de combustíveis da empresa Petrogold em Duque de Caxias, Rio de Janeiro. O incêndio teve duração de um dia e destruiu totalmente a base. Durante o acidente uma área de aproximadamente quatro quarteirões foi isolada, 114 casas foram interditadas, sendo que destas 13 foram atingidas pelas chamas. A escola situada em frente à Petrogold também foi evacuada.

*Acidente FPSO Cidade de São Mateus Petrobras*

No dia 11 de fevereiro de 2015 acorreu uma explosão em um navio plataforma da Petrobras que operava no litoral do Espirito Santo. O acidente ocasionou mortos e feridos no entanto não foi divulgada a quantidade oficial de pessoas afetadas. A explosão não gerou danos estruturais ao navio e até o momento não foram registrados danos ambientais.

Podemos observar que por maiores que sejam as medidas de segurança, as unidades industriais perigosas estão sujeitas à ocorrência de acidentes. Segundo Chiabò (2005) três ações interrelacionadas conduzem a segurança dos processos nas atividades *offshore,* que são: Conscientizar, Capacitar e Educar vinculadas à atuação de uma parceria entre governo, empresa, funcionários e instituições de ensino. No entanto por mais evoluídos que sejam estes processos os acidentes continuaram com uma mínima probabilidade de acontecer.

## 2.2 ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCO

A Análise Quantitativa de Riscos (AQR) é uma valiosa ferramenta para determinar o risco do uso, manuseio, transporte e armazenamento de substâncias perigosas. As AQRs são usadas para demonstrar o risco causado por uma atividade ou instalação industrial de modo a fornecer informações relevantes para auxiliar a tomada de decisões quanto à aceitabilidade do risco (VROM, 2005).

Segundo Arendt e Lorenzo (2000) podem haver muitas razões para a utilização de uma AQR porém existem duas de maior relevância. A primeira está relacionada com os ganhos proporcionados com a maior compreensão do risco para o processo de tomada de decisão. A segunda é que, em alguns casos, a AQR é um requisito legal.

Para a realização de uma AQR é necessário o desenvolvimento de diversas etapas. A Figura 1 apresenta estas etapas através de uma estrutura clássica de avaliação de risco.

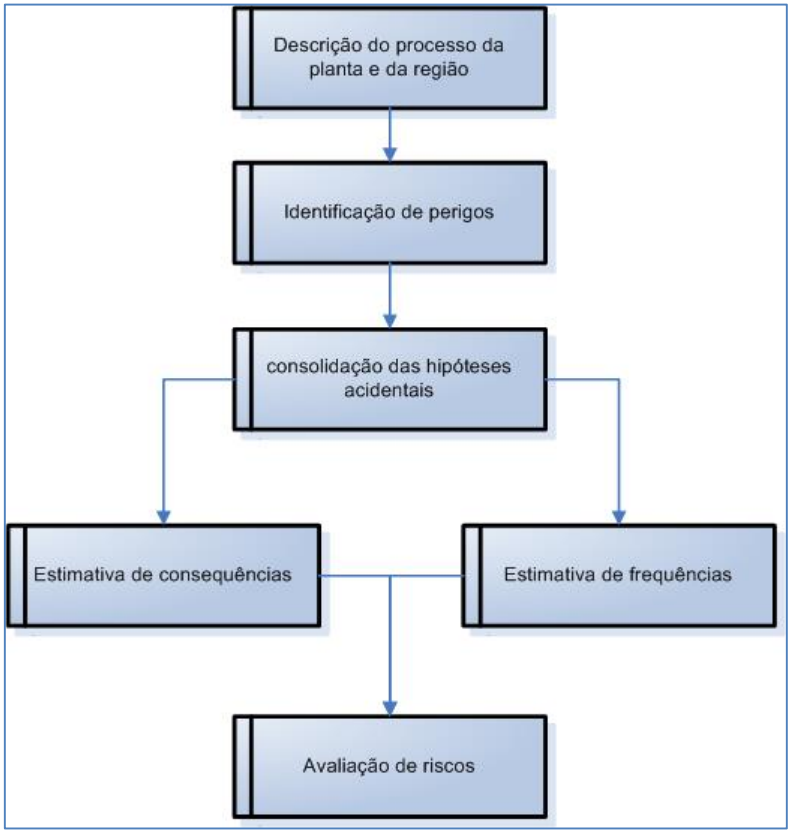



**Figura 1: Etapas para o desenvolvimento de uma AQR**

Fonte: Elaboração própria a partir de LESS (1980); CCPS (2000); HSE (2002) e CETESB (2003).

A seguir estão descritas as etapas apresentadas no fluxograma.

### 2.2.1 Descrição do processo, da planta e da região

A descrição do processo e da planta tem como objetivo caracterizar a instalação analisando seus aspectos construtivos e operacionais. A descrição da região é importante para identificar aspectos que possam interferir na instalação sob o enfoque do meio ambiente, da segurança e da operação, de modo a estabelecer uma relação direta entre a instalação e a região (CETESB, 2003).

### 2.2.2 Identificação de perigos

A identificação de perigos é um passo fundamental em uma AQR pois um perigo não identificado é um risco não avaliado (CCPS, 2000). Esta etapa requer um envolvimento maior do pessoal da planta, no qual deverão informar a situação operacional e de manutenção dos equipamentos e sistemas, bem como os dispositivos de segurança existentes.

Para a realização da identificação de perigos podem ser utilizadas técnicas estruturadas. As técnicas comumente utilizadas são:

- Listas de verificação (check lists)
- Análise “E Se?” (What if?)
- Análise Preliminar de Perigos (APP)
- Analise de Perigos e Operabilidade (*Hazard and Operability Analysis* – HAZOP)
- Análise de Modos de Falhas e Efeitos (*Failure Modes and Effects Analysis* – FMEA)

### 2.2.3 Consolidação das hipóteses acidentais

Após a realização da etapa de Identificação de Perigos deve ser estabelecido um critério para seleção das hipóteses acidentais que serão estudadas detalhadamente nas próximas etapas da AQR. O critério deve ser estabelecido levando-se em conta a severidade do dano decorrente da falha identificada (CETESB, 2003).

### 2.2.4 Estimativa de consequências

As hipóteses acidentais selecionadas na etapa anterior serão estudadas nesta etapa em função de suas consequências, ou seja, em função de seus impactos e danos ocasionados devido a uma possível materialização dos cenários acidentais.

De acordo com Arendt e Lorenzo (2000) a etapa de análise de consequência envolve quatro atividades:

a) Caracterizar a fonte de vazamento de produto ou energia associada aos perigos a serem analisados;

b) Mensurar, por meio de experimentos, ou estimar, por meio de modelos e correlações o transporte de material e/ou a propagação de energia no ambiente de interesse;

c) Identificar os efeitos da propagação de material e/ou energia no ambiente de interesse; e

d) Quantificar os impactos econômico, à saúde, à segurança ou ao meio ambiente.

Para o desenvolvimento dessas atividades são utilizados modelos de cálculo para representar os efeitos dos cenários acidentais. Desta forma essas simulações envolvem a descarga do material, a sua taxa de evaporação, a dispersão atmosférica do gás ou vapor, a sobrepressão gerada em explosões, o fluxo térmico gerado em incêndios e a distribuição espacial de gás tóxico gerada em liberações tóxicas.

Geralmente estes efeitos são avaliados em função de danos à vida humana ou à estrutura de construções e equipamentos. Essas consequências estão baseadas na função matemática de Probit desenvolvida por Eisenberg *et. al*. (1975). Eisenberg

desenvolveu um fator matemático de linearização das sigmoides de dose resposta, de modo que os efeitos sejam trabalhados em função de probabilidades de morte.

VROM (2005) apresenta em sua publicação *Methods for the calculation of physical effects - Yellow Book* uma extensa literatura acerca dos modelos de cálculo das consequências físicas para os casos de incêndios, explosões e formação de nuvem tóxica devido a liberações de substâncias inflamáveis ou tóxicas na atmosfera.

Devido à complexidade dos cálculos envolvidos, modelos computacionais foram desenvolvidos para auxiliar a estimativa de consequências dos cenários acidentais. A Tabela 2 apresenta alguns modelos computacionais, as empresas que os desenvolveram e um comentário explicativo.

**Tabela 2: Modelos computacionais para análise de risco**

| Modelo | Autor | Comentários |
|---|---|---|
| PHAST (Process Hazard Analysis Software Tools) | DNV Technica | Modelos para vazamento de gases e líquidos, dispersões tóxicas, radiações térmicas e sobrepressões. |
| SAFETI (Software for the Assessment of Flammable, Explosive and Toxic Impact) | DNV Technica | Apresenta um pacote completo de modelos de consequências e análise de risco incluindo cálculo de risco individual e social. |
| EFFECT | TNO – Department of Industrial Safety - Holanda | Conjunto de modelos matemáticos para a estimativa das consequências de vazamentos de substancias tóxicas e inflamáveis. Não realiza a dispersão de gases pesados. |
| ARCHIE (Automated Resource for Chemical Hazard Incident Evaluation) | U.S. Department of transportation | Programa criado para o DOT e EPA de modo a auxiliar o planejamento de emergências permitindo avaliar a sequência e a natureza dos eventos que podem ocorrer após um acidente. Possui vários métodos para estimar os impactos do vazamento de produtos tóxicos, incêndio e explosão ou o vazamento de outros materiais perigosos. |
| BREEZE HAZ | Trinity Consultants, Inc. | Modelos para os vazamentos de gases tóxicos. Dois modelos disponíveis SHELL SPILLS e TRUFF (baseado no EPA PUFF). |
| CHARM (Complex Hazardous Air Release model) | Radian Corp. (EUA) | Conjunto de modelos para a dispersão de gases tóxicos. Inclui um banco de dados de produtos químicos, um processador gráfico e pode mapear as isopletas das concentrações de interesse. Permite a introdução de dados meteorológicos em tempo real. |
| SUPER CHEMS | IoMosaic Corporation | Modelo para vazamento de gases e líquidos; dispersões, incêndios e explosões. |

Fonte: CETESB (2006).

As modelagens matemáticas desta dissertação foram realizadas com o emprego do Programa PHAST Professional, Versão 7.01. O PHAST foi escolhido devido ser o *software* mais utilizado pelos órgãos ambientais brasileiros e pelas empresas que elaboram as AQRs a serem avaliadas por estes órgãos. Verifica-se também que o programa está em consonância com as boas práticas utilizadas por organizações internacionais de avaliação de riscos.

#### 2.2.4.1 O software PHAST

O programa PHAST (*Process Hazard Analysis Software Tools*) foi desenvolvido pela DNV *Technica* para análise de situações de perigo a vida, ao patrimônio e ao meio ambiente. O programa simula a evolução de um incidente, ou seja, a liberação inicial formando uma nuvem ou poça, a dispersão atmosférica e os efeitos tóxicos e inflamáveis.

O software é utilizado para analisar diferentes etapas de um empreendimento, possibilitando a análise desde a etapa de projeto conceitual até a etapa de operação. Os resultados são apresentados em forma de tabelas e gráficos nos quais são avaliados os alcances dos efeitos físicos pesquisados nas modelagens.

Podem ser analisadas instalações *onshore* e *offshore*. Dentre estas instalações temos refinarias, plantas de energia, químicas, petroquímicas e farmacêuticas, fábricas que utilizam substâncias perigosas, plataformas de petróleo e outras instalações *offshore*.

O PHAST apresenta os seguintes modelos:

- Modelos de descarga e dispersão, incluindo modelos desenvolvidos pela DNV.
- Modelos de inflamabilidade, incluindo os resultados de radiações térmicas decorrentes de incêndio em poça, jato de fogo e bola de fogo.
- Modelos de explosão, para cálculo dos efeitos de impulso e sobrepressão. Os modelos para esta avaliação são *Baker Strehlow*, TNO *Multi-Energy* e TNT *Explosion*.
- Modelos de dispersão de substâncias tóxicas.

Para realizar as simulações é necessário caracterizar os cenários acidentais. Esta caracterização consiste em definir:

- As condições meteorológicas (temperatura do ar, pressão atmosférica, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento e classe de estabilidade atmosférica).
- A quantidade e a composição química e o estado físico da substância liberada.

- Os parâmetros de processo (temperatura e pressão).
- O tipo de liberação: contínua para os casos de vazamentos e instantânea para os casos de rupturas catastróficas de equipamentos.
- Os efeitos esperados que serão pesquisados. Os níveis de radiação térmica decorrentes de incêndios, os níveis de sobrepressão decorrentes de explosões e os níveis de concentração decorrentes de liberações toxicas.

### 2.2.5 Estimativa de frequências

Está etapa de uma AQR consiste em estimar as frequências dos cenários acidentais que foram consolidados e modelados nas etapas anteriores. Em alguns casos as frequências de ocorrência podem ser estimadas tomando como base uma análise histórica de acidentes ou a experiência de profissionais da planta, porém a maioria dos acidentes analisados em uma AQR são tão raros que é necessário a utilização de métodos e modelos de cálculo de frequências. A análise de frequência de eventos raros envolve três etapas: (1) determinar as combinações importantes de falhas e as circunstâncias que podem causar os acidentes de interesse; (2) desenvolver dados básicos de falha da indústria ou dados da planta; e (3) utilizar métodos matemáticos probabilísticos para determinar as frequências de ocorrência (ARENDT E LORENZO, 2000).

Os modelos matemáticos utilizados com maior frequência são o de árvore de eventos e árvore de falhas. As árvores de eventos são utilizadas para determinar a probabilidade dos cenários decorrentes de um evento iniciador. Já a árvore de falhas é utilizada para determinar a frequência ou probabilidade de eventos topo, que podem fazer parte de uma árvore de eventos.

As árvores de eventos representam as possíveis sequências de eventos, envolvendo sucessos ou falhas de componentes, os quais devem desempenhar funções específicas. Estas árvores partem de um evento iniciador e ramifica-se toda vez que um componente do sistema obtém sucesso ou falha na função para a qual foi projetado. Também é possível incluir os desdobramentos, tais como período do dia, direção do vento, probabilidades de ocorrência de ignição e detonação ocasionando

diferentes efeitos físicos como incêndios, explosões e formação de nuvem tóxica (WILEY & SONS, 2003).

As árvores de falhas representam um encadeamento de eventos que poderiam causar uma falha particular. Esta árvore inicia-se a partir de um evento de falha particular denominado de evento topo e ramifica-se através de níveis mais baixos de ocorrência de eventos até atingir as causas básicas de falha. A ramificação de uma árvore de falhas ocorre por meio de portões lógicos (portões E ou OU) situados nas interseções da árvore. Estes portões definem a relação causal entre os eventos (NUREG, 1981).

As figuras 2 e 3 exemplificam a aplicação da árvore de eventos e da árvore de falhas respectivamente.

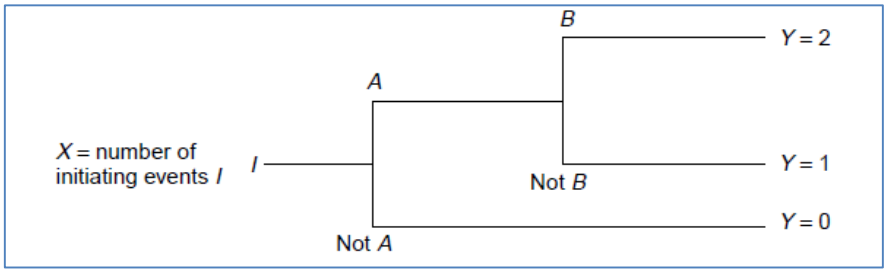



**Figura 2: Árvore de eventos**

Fonte: Wiley & Sons (2003)

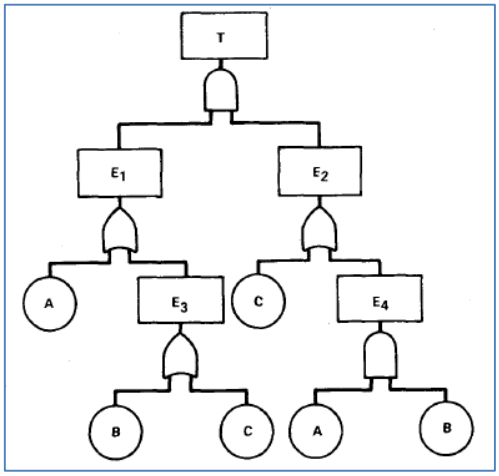



**Figura 3: Árvore de falhas**

Fonte: NUREG (1981)

### 2.2.6 Avaliação de riscos

A avaliação de riscos consiste em calcular e comparar o risco com o critério previamente estabelecido. Segundo VROM (2005) os resultados de uma AQR são expressos em função do risco individual e do risco social.

**Risco Individual**

O risco individual pode ser definido como a probabilidade anual de morte de um indivíduo situado na área de influência dos efeitos dos cenários acidentais postulados. O risco individual pode ser estimado para aquele indivíduo mais exposto a um perigo, para um grupo de pessoas ou para uma média de indivíduos presentes na zona de efeito. Para um ou mais acidentes, o risco individual tem diferentes valores (CETESB, 2003).

O risco individual é apresentado por meio de contornos de isorrisco em mapas topográficos.

A Figura 4 ilustra os contornos de isorrisco em um mapa topográfico.

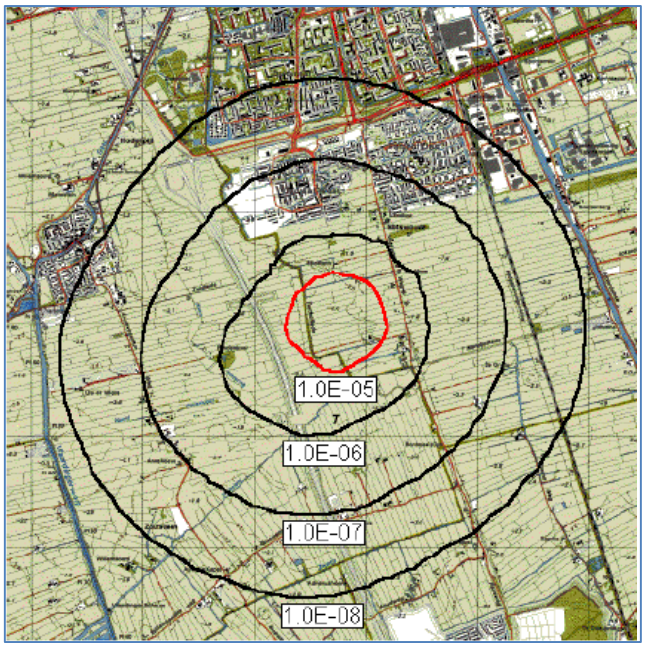



**Figura 4: Contornos de Isorrisco**

Fonte: VROM (2005)

## Risco Social

O risco social representa a frequência de ocorrência dos cenários acidentais com potencial de ocasionar N ou mais mortes simultaneamente. A apresentação do risco social é feita por meio da curva FN. Esta curva é obtida por meio da plotagem da frequência acumulada de acidentes capaz de causar N ou mais mortes (F) no eixo das ordenadas e pelo número de mortes (N) no eixo das abscissas (VROM, 2005).

A Figura 5 apresenta o resultado do risco social por meio da curva FN.

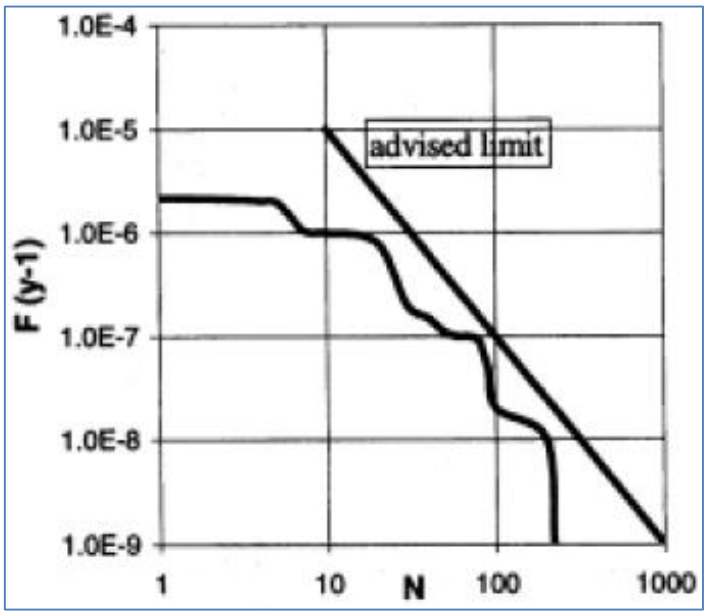



**Figura 5: Curva FN**
Fonte: VROM (2005)

## Critérios de Tolerabilidade de Riscos

De acordo com Crowl e Louvar (2002) não se pode eliminar o risco completamente. Todo processo químico possui certo risco associado. Em algum ponto do estágio de projeto alguém deve decidir se o risco é aceitável. Isto é, os riscos são maiores que os riscos normais do dia a dia de um indivíduo fora do ambiente industrial? Certamente para desenvolver um projeto com riscos comparáveis ao risco de ser atingido por um raio exigiria um esforço substancial e uma despesa considerável, logo os engenheiros

devem projetar de modo a minimizar os riscos dentro dos limites econômicos do processo.

Neste contexto os riscos individual e social são utilizados para subsidiar a tomada de decisão quanto à aceitabilidade ou tolerabilidade dos riscos. No entanto, para esta avaliação é necessário o estabelecimento de critérios comparativos. O estabelecimento desses critérios depende de fatores relacionados à percepção de risco, o que torna o tema subjetivo e complexo.

## 2.3 GESTÂO TERRITORIAL BASEADA EM ANÁLISE DE RISCO

### 2.3.1 Reino Unido

Desde o início da década de 1970, no Reino Unido, as autoridades locais de planejamento junto ao *Health and Safety Executive (HSE)* realizam análises dos riscos das instalações perigosas nas populações vizinhas. Após o acidente de Flixborough, em 1974, foi criado o comitê denominado *Advisory Committee on Major Hazards (ACMH).* Este comitê estabeleceu uma série de controles nos quais se inclui uma estratégia para atenuar a consequência de acidentes severos por meio do planejamento territorial no entorno das instalações perigosas. A estratégia do HSE segue em conformidade com *The Health & Safety at Work etc. Act 1974 (HSW Act)* e principalmente com a Directiva Seveso II da UE (HSE, 1989).

De acordo com HSE (2011), a metodologia estabelece a divisão das regiões vizinhas de instalações industriais em três zonas: zona interior, zona média e zona exterior. Essas zonas são demarcadas de acordo com os níveis de risco individual. A definição das zonas e seus respectivos níveis são:

- Zona interior (IZ) ou zona I: níveis de risco individual maior que $1x10^{-5}$.
- Zona média (MZ) ou zona II: níveis de risco individual entre $1x10^{-5}$ e $1x10^{-6}$.
- Zona exterior (OZ) ou zona III: níveis de risco individual entre $1x10^{-6}$ e $3x10^{-7}$.

A Figura 6 ilustra as zonas de risco.

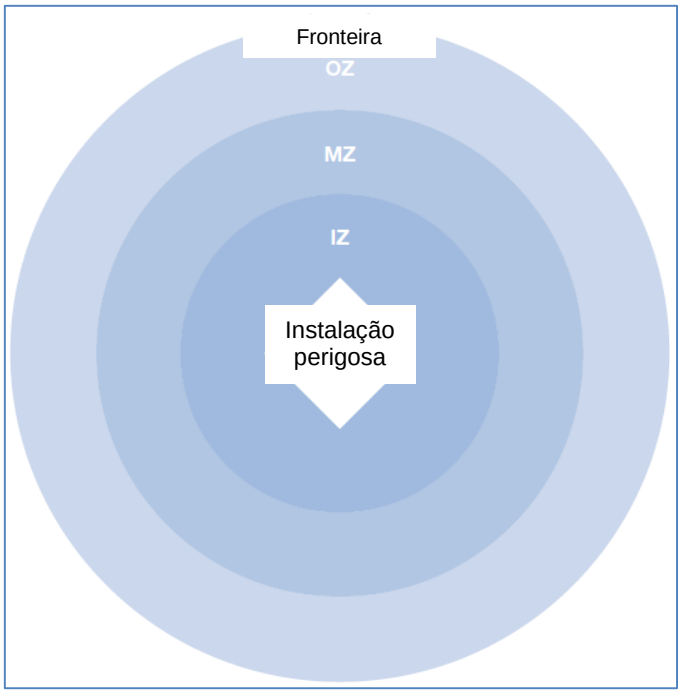



**Figura 6: Zonas de risco**

Fonte: HSE (2011)

O uso e a ocupação, permitida e apropriada para cada zona, são definidos de acordo com níveis de sensibilidade. A Tabela 3 apresenta as ocupações apropriadas para cada zona.

**Tabela 3: Matriz de ocupação pelo nível de sensibilidade**

| **Nível de sensibilidade** | **Ocupação** | | |
|---|---|---|---|
| | **Zona interior** | **Zona média** | **Zona exterior** |
| 1 | Aconselhável | Aconselhável | Aconselhável |
| 2 | Desaconselhável | Aconselhável | Aconselhável |
| 3 | Desaconselhável | Desaconselhável | Aconselhável |
| 4 | Desaconselhável | Desaconselhável | Desaconselhável |

Fonte: *HSE, 2011*.

A seguir são apresentados exemplos de ocupações de acordo com o nível de sensibilidade.

- Nível de sensibilidade 1: fábricas.
- Nível de sensibilidade 2: residências.
- Nível de sensibilidade 3: pessoas mais vulneráveis como escolas primárias (crianças) e idosos.
- Nível de sensibilidade 4: Locais de concentração de pessoas como estádios de futebol e grandes hospitais.

### 2.3.2 Brasil

No Brasil, observamos a falta de interconectividade entre as avaliações de risco das instalações industriais e o planejamento do uso e ocupação territorial dos Municípios. As Análises Quantitativas de Riscos são utilizadas de maneira restrita, somente para o auxílio à tomada de decisão quanto a concessão das licenças ambientais. Logo, é comum observarmos a ocupação indiscriminada de áreas próximas a instalações perigosas.

Alguns exemplos destas ocupações estão apresentados a seguir:

<u>Campos Elíseos, Duque de Caxias – Rio de Janeiro</u>

A figura a seguir apresenta a imagem aérea de julho de 2014 da região do Distrito Industrial de Campos Elíseos. Nesta figura observamos um elevado número de ocupações vulneráveis no entorno da Refinaria Duque de Caxias (REDUC).

**Figura 7: Refinaria Duque de Caxias (REDUC) – Duque de Caxias/RJ**

Fonte: Google Earth

Honório Gurgel – Rio de Janeiro

A figura a seguir apresenta a imagem aérea de fevereiro de 2014 da região do Distrito Industrial da Fazenda Botafogo. Nesta figura observamos um elevado número de ocupações vulneráveis no entorno da Pan Americana Industrias Químicas.

**Figura 8: Pan Americana Indústrias Químicas – Rio de Janeiro/RJ**

Fonte: Google Earth

Ponta Negra – Rio Grande do Norte

A figura a seguir apresenta a imagem aérea de janeiro de 2013 de Ponta Negra. Nesta figura observamos um elevado número de ocupações vulneráveis no entorno da Base de armazenamento de combustíveis.

**Figura 9: Base de combustíveis da Petrobras – Ponta Negra/RN**

Fonte: Google Earth

Ourinhos – São Paulo

A figura a seguir apresenta a imagem aérea de agosto de 2014 da área residencial de Ourinhos. Nesta figura observamos um elevado número de ocupações vulneráveis no entorno da Base de armazenamento de combustíveis.

**Figura 10: Base de combustíveis da Ipiranga – Ourinhos/SP**

Fonte: Google Earth

Betim - Minas Gerais

A figura a seguir apresenta a imagem aérea de agosto de 2014 da Refinaria Gabriel Passos (REGAP). Nesta figura observamos um elevado número de ocupações vulneráveis no entorno da Refinaria.

**Figura 11: Refinaria Gabriel Passos (REGAP) da Petrobras – Minas Gerais/MG**

Fonte: Google Earth

São Sebastião – São Paulo

A figura a seguir apresenta a imagem aérea de agosto de 2014 do Terminal Aquaviário da Petrobras (TEBAR). Nesta figura observamos um elevado número de ocupações vulneráveis no entorno do Terminal de São Sebastião.

**Figura 12: Terminal Aquaviário da Petrobras (TEBAR) – São Sebastião/SP**

Fonte: Google Earth

## 2.4 ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCO COMO FERRAMENTA PARA A GESTÃO PÚBLICA NO BRASIL

No Brasil, a Análise Quantitativa de Riscos passou a ser utilizada como ferramenta para a gestão pública durante os processos de licenciamento ambiental de instalações, cujos princípios foram estabelecidos pelo Decreto 99.274, de 6 de junho de 1990, e pela Resolução CONAMA 237, de 16 de dezembro de 1997.

Assim, ao órgão ambiental competente cabe, dentro do processo de licenciamento, definir e requisitar ao empreendedor a apresentação de documentos, projetos e estudos ambientais julgados necessários para subsidiar a análise da licença requerida. Dentre esses estudos está a análise preliminar de risco (CONAMA 237,1997).

Para instalações de movimentação de petróleo e seus derivados cabe também atender a norma regulamentadora Nº 20 do Ministério do Trabalho e Emprego e a Resolução Nº 5 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

Com base nessas normas gerais, os órgãos ambientais municipais, estaduais e federais adotam procedimentos e requisitos próprios para a consideração dos aspectos relacionados ao risco ambiental de uma instalação ou atividade.

No entanto, apenas Rio de Janeiro, São Paulo, Rio Grande do Sul e Bahia, dentre os 26 estados brasileiros, possuem documentos de referência com a definição do conteúdo e as orientações para elaboração de Estudos de Análise de Risco (EAR).

A seguir são apresentados sucintamente os aspectos destes documentos.

### 2.4.1 Estado do Rio de Janeiro – Instituto Estadual do Ambiente (INEA)

O documento do INEA intitulado como Termo de Referência para a Elaboração de Estudo de Análise de Risco para Instalações Convencionais tem como objetivo orientar a elaboração e definir as condições de apresentação dos estudos apresentados ao órgão ambiental.

Segundo INEA (2012) os estudos devem apresentar o seguinte conteúdo:

- Dados gerais sobre a região onde se pretende localizar ou encontra-se localizada a atividade;
- Descrição da instalação e sistemas;
- Caracterização das substâncias relacionadas;
- Transporte terrestre;
- Identificação dos cenários acidentais;
- Análise de vulnerabilidade;
- Alcance dos efeitos físicos danosos;
- Avaliação das frequências de ocorrência;
- Avaliação dos riscos;
- Tolerabilidade dos riscos;
- Medidas preventivas e mitigadoras.

Para a avaliação das instalações quanto a tolerabilidade dos riscos o INEA estabelece os seguintes critérios:

**Risco social**

***Instalações novas***

O risco social será considerado tolerável, para instalações novas, se a curva de distribuição acumulada complementar, desenhada sobre o gráfico FN, ficar abaixo ou, no máximo, tangenciar a reta limite apresentada no gráfico da Figura 13.

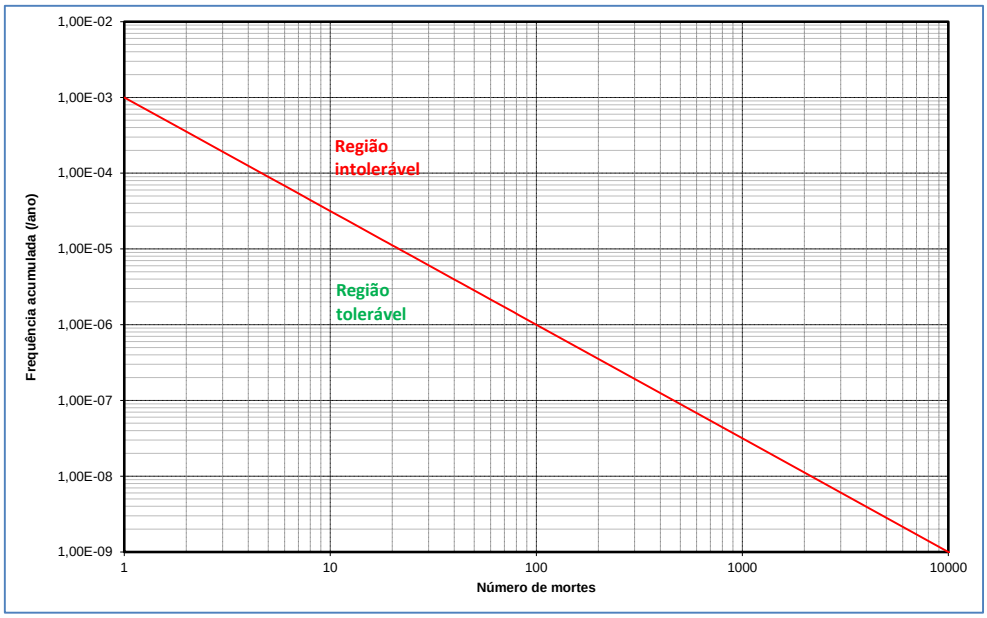



**Figura 13: Critérios de tolerabilidade para o risco social – INEA, instalações novas**

Fonte: Elaboração própria com base em INEA, 2012.

### *Instalações existentes*

O risco social será considerado tolerável, para instalações existentes, se a curva de distribuição acumulada complementar, desenhada sobre o gráfico FN, ficar abaixo ou, no máximo, tangenciar a reta limite apresentada no gráfico da Figura 14.

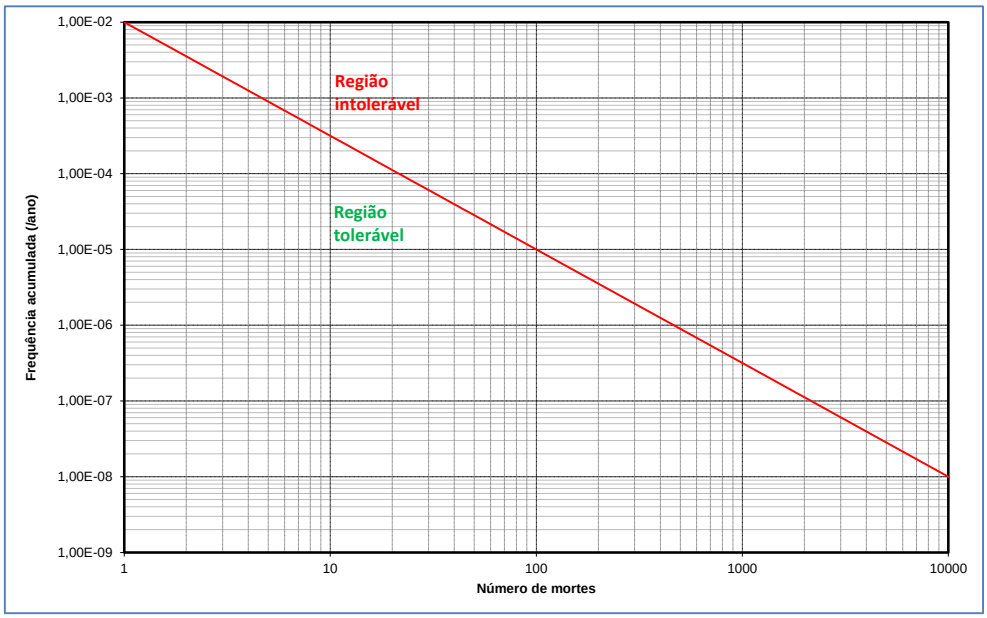



**Figura 14: Critérios de tolerabilidade para o risco social – INEA, instalações existentes**

Fonte: Elaboração própria com base em INEA, 2012.

## Risco individual

### *Instalações novas*

O risco individual será considerado tolerável, para instalações novas, se a curva de isorrisco correspondente a $10^{-6}$ por ano não envolver, parcial ou totalmente, uma ocupação sensível. A Figura 15 ilustra o limite de tolerabilidade do risco individual para instalações novas.

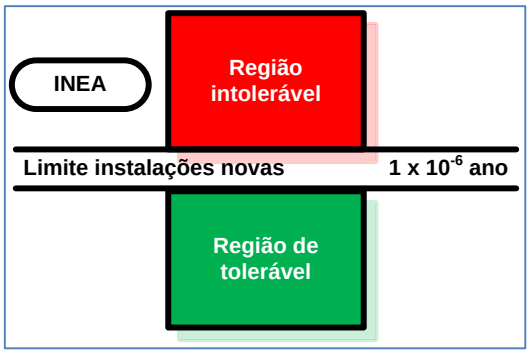



**Figura 15: Critérios de tolerabilidade para o risco individual – INEA, instalações novas**

Fonte: Elaboração própria com base em INEA, 2012.

### *Instalações existentes*

O risco individual será considerado tolerável, para instalações existentes, se a curva de isorrisco correspondente a $10^{-5}$ por ano não envolver, parcial ou totalmente, uma ocupação sensível. A Figura 16 ilustra o limite de tolerabilidade do risco individual para instalações existentes.

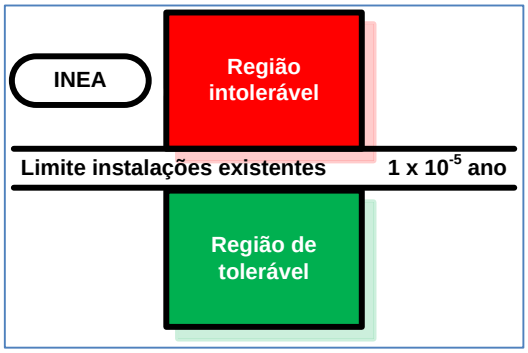



**Figura 16: Critérios de tolerabilidade para o risco individual – INEA, instalações existentes**

Fonte: Elaboração própria com base em INEA, 2012.

### 2.4.2 Estado de São Paulo – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB)

O Manual de Orientação para a Elaboração de Estudos de Análise de Riscos da CETESB tem por principal objetivo aperfeiçoar as metodologias atualmente praticadas na elaboração de estudos de análise de riscos em instalações e atividades consideradas perigosas, visando a prevenção de acidentes ambientais que possam colocar em risco a saúde e a segurança da população, bem como o meio ambiente como um todo (CETESB, 2003).

O manual está dividido em duas partes. Na primeira é apresentado o critério para a classificação de instalações quanto à periculosidade e tem por finalidade auxiliar o processo de tomada de decisão, de forma padronizada, quanto à necessidade ou não da realização de estudos de análise de riscos, tanto no processo de licenciamento ambiental, como em ações corretivas. Na segunda parte é apresentado um termo de referência para a elaboração dos Estudos de Análise de Riscos, que deverão ser apresentados à CETESB.

Estes estudos serão compostos por seis etapas:

- Caracterização do empreendimento e da região;
- Identificação de perigos e consolidação das hipóteses acidentais;
- Estimativa dos efeitos físicos e análise de vulnerabilidade;
- Estimativa de frequências;
- Estimativa e avaliação de riscos;
- Gerenciamento de riscos.

A Figura 17 apresenta o fluxo para desenvolvimento dessas etapas.

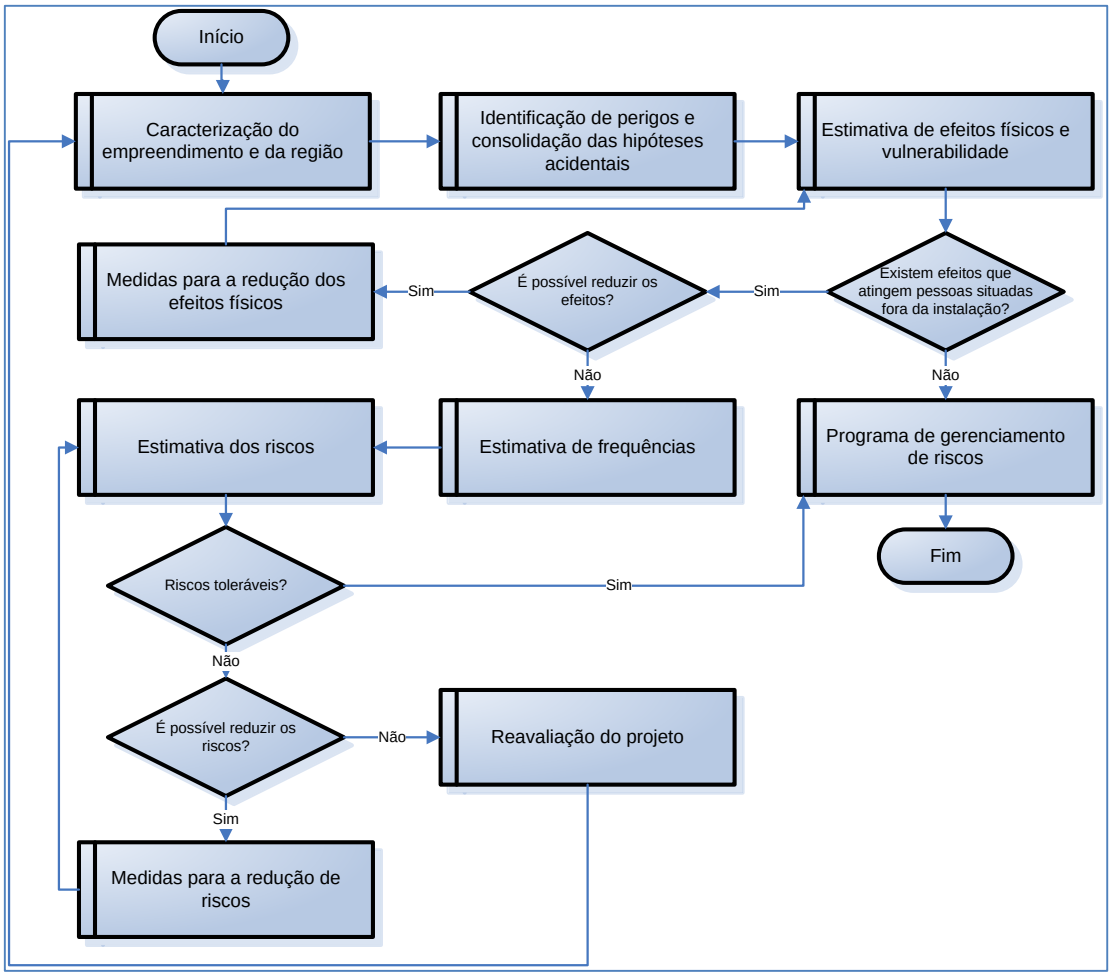



**Figura 17: Fluxo para desenvolvimento do Estudo de Análise de Risco – CETESB**

Fonte: Elaboração própria com base em CETESB, 2003.

Para a avaliação do empreendimento com relação à tolerabilidade dos riscos a CETESB estabelece os seguintes limites:

## Risco social

Os riscos proporcionados pelo empreendimento serão considerados:

- negligenciáveis se a curva de distribuição acumulada complementar, desenhada sobre o gráfico FN, ficar abaixo ou, no máximo, tangenciar a reta inferior do gráfico da Figura 18.
- intoleráveis se a curva de distribuição acumulada complementar, desenhada sobre o gráfico FN, ficar acima da reta superior do gráfico da Figura 18.

Os riscos situados na região entre as curvas limites dos riscos intoleráveis e negligenciáveis, denominada ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*), embora situados abaixo da região de intolerabilidade, devem ser reduzidos tanto quanto praticável.

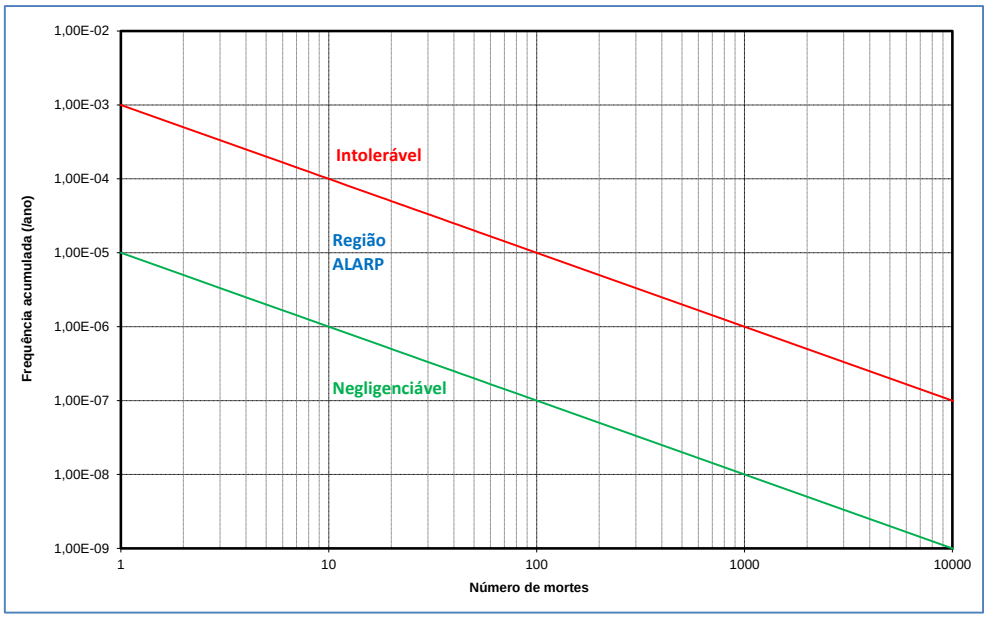



**Figura 18: Limites de tolerabilidade para o risco social – CETESB**

Fonte: Elaboração própria com base em CETESB, 2003.

## Risco individual

Para o risco individual, são estabelecidos os seguintes limites:

- risco máximo tolerável igual a $1 \times 10^{-5}$ ano$^{-1}$;
- risco negligenciável menor que $1 \times 10^{-6}$ ano$^{-1}$.

O conceito da região denominada ALARP também se aplica na avaliação do risco individual. Deste modo, os valores de riscos situados na região entre os limites máximo tolerável e negligenciável também deverão ser reduzidos tanto quanto praticável.

A Figura 19 ilustra os limites de tolerabilidade do risco individual estabelecidos pela CETESB.

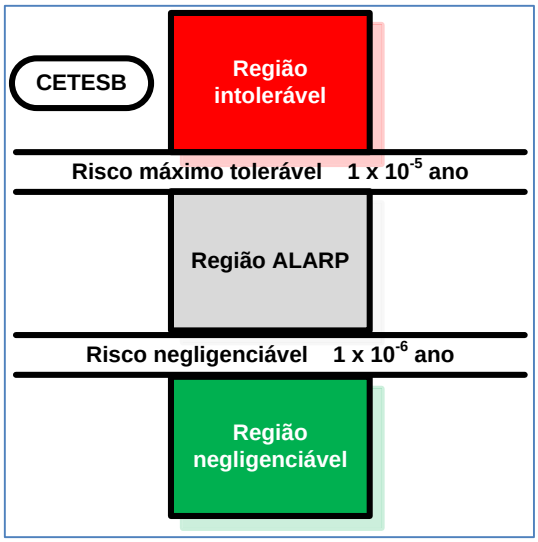



**Figura 19: Limites de tolerabilidade para o risco individual – CETESB**

Fonte: Elaboração própria com base em CETESB, 2003.

Para a aprovação do empreendimento, deverão ser atendidos os critérios de risco social e individual conjuntamente, ou seja, as curvas de riscos social e individual deverão estar situadas na região negligenciável ou na região ALARP.

Entretanto, nos casos em que o risco social for considerado atendido, mas o risco individual for maior que o risco máximo tolerável, a CETESB, após avaliação específica, poderá considerar o empreendimento aprovado, uma vez que o enfoque principal na avaliação dos riscos está voltado aos impactos decorrentes de acidentes maiores, afetando agrupamentos de pessoas, sendo, portanto, o risco social o índice prioritário nesta avaliação.

### 2.4.3 Estado do Rio Grande do Sul – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM)

O principal objetivo do Manual de Análise de Riscos Industriais é estabelecer uma sistemática para servir de referência para os procedimentos internos da FEPAM no licenciamento de atividades ou instalações capazes de causar danos às pessoas ou ao meio ambiente, em pontos externos à instalação, em decorrência de liberações acidentais de substâncias perigosas ou energia de forma descontrolada.

O manual primeiramente apresenta o critério de classificação das instalações quanto à periculosidade. Após essa classificação e de acordo com licença ambiental requerida são definidos o escopo e a abrangência dos estudos de análise de riscos. Desta forma os estudos podem apresentar o seguinte escopo:

- Objetivos e abrangência do estudo;
- Informações gerais sobre a região onde se localiza a atividade;
- Descrição técnica dos sistemas e das instalações em geral;
- Identificação dos eventos iniciadores;
- Avaliação da frequência de ocorrência dos cenários;
- Análise de vulnerabilidade;
- Avaliação dos riscos;
- Identificação de medidas de redução dos riscos;
- Reavaliação dos riscos considerando-se a implementação das medidas; discussão sobre eficiência ou não das medidas (ALARA ou ALARP).
- Programa de gerenciamento dos riscos.

A Figura 20 apresenta o fluxo para desenvolvimento do escopo do estudo para FEPAM.

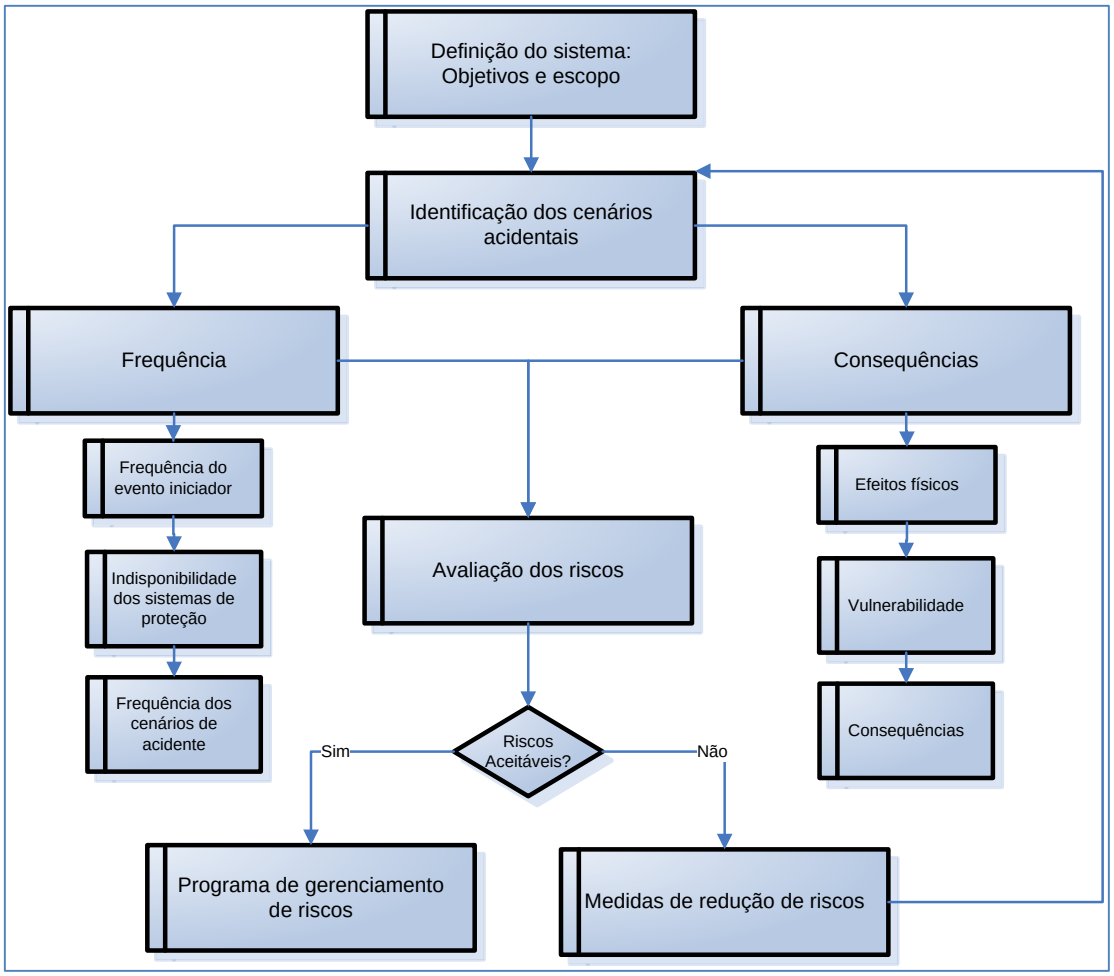



**Figura 20: Fluxo para desenvolvimento do estudo de análise de risco - FEPAM**

Fonte: Elaboração própria com base em FEPAM, 2001.

Os padrões de tolerabilidade dos riscos adotados pela FEPAM para a avaliação de instalações e atividades são:

## Risco social

Os riscos proporcionados pela instalação serão considerados:

- Perfeitamente toleráveis, se a curva de distribuição acumulada complementar, desenhada sobre o gráfico FN, ficar abaixo ou, no máximo, tangenciar a reta inferior do gráfico da Figura 21.
- Intoleráveis, se a curva de distribuição acumulada complementar, desenhada sobre o gráfico FN, ficar acima da reta superior do gráfico da Figura 21.

Os riscos situados na região entre as curvas limites dos riscos intoleráveis e negligenciáveis, denominada ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*), embora situados abaixo da região de intolerabilidade, devem ser reduzidos tanto quanto praticável.

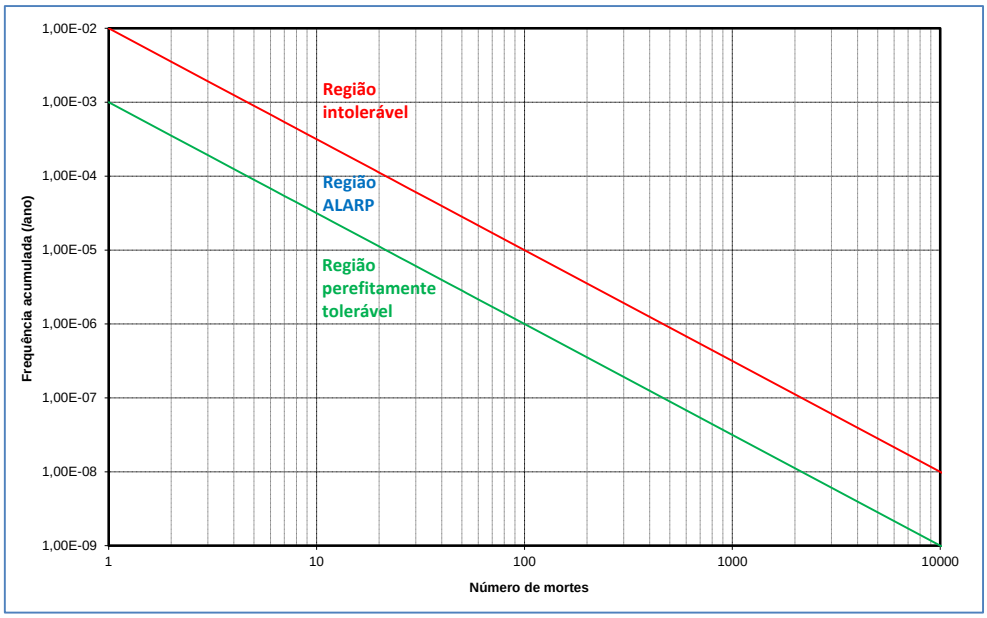



**Figura 21: Limites de tolerabilidade para o risco social – FEPAM**

Fonte: Elaboração própria com base em FEPAM, 2001.

## Risco individual

Para o risco individual, são estabelecidos os seguintes limites:

- Limite de intolerabilidade igual a $1 \times 10^{-5}$ ano$^{-1}$;
- Limite de tolerabilidade menor que $1 \times 10^{-6}$ ano$^{-1}$.

A região entre os limites de intolerabilidade e o de tolerabilidade é denominada região ALARP, ou seja, os riscos situados nesta região deverão ser reduzidos tanto quanto praticável.

A Figura 22 ilustra os limites de tolerabilidade do risco individual estabelecidos pela FEPAM.

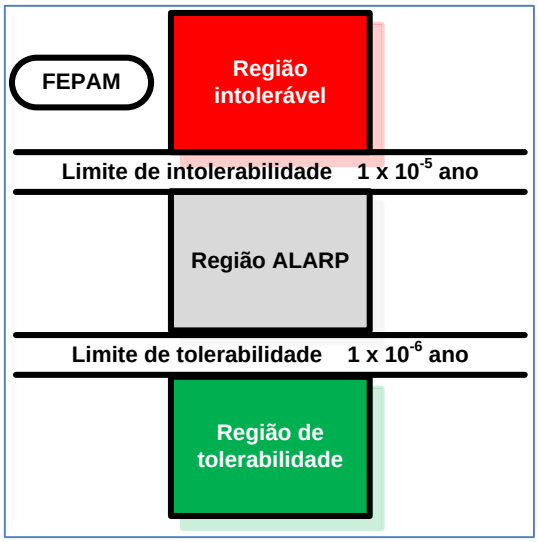



**Figura 22: Limites de tolerabilidade para o risco individual – FEPAM**

Fonte: Elaboração própria com base em FEPAM, 2001.

### 2.4.4 Estado da Bahia – Conselho Estadual de Meio Ambiente (CEPRAM)

O principal objetivo da Norma Técnica para Gerenciamento de Risco no Estado da Bahia é estabelecer os critérios de exigibilidade e fornecer subsídios para a elaboração de um Programa de Gerenciamento de Risco (PGR) para empreendimentos implantados ou em implantação, com o objetivo de prevenir a ocorrência de acidentes capazes de causar danos a pessoa, instalação ou meio-ambiente.

A norma estabelece os critérios para a classificação de risco dos sistemas de modo a definir o escopo do PGR. Pode ser elaborado um PGR completo ou um PGR simplificado de acordo com a classificação obtida.

A Figura 23 apresenta o fluxograma de aplicação do critério de definição do tipo de PGR a ser elaborado.

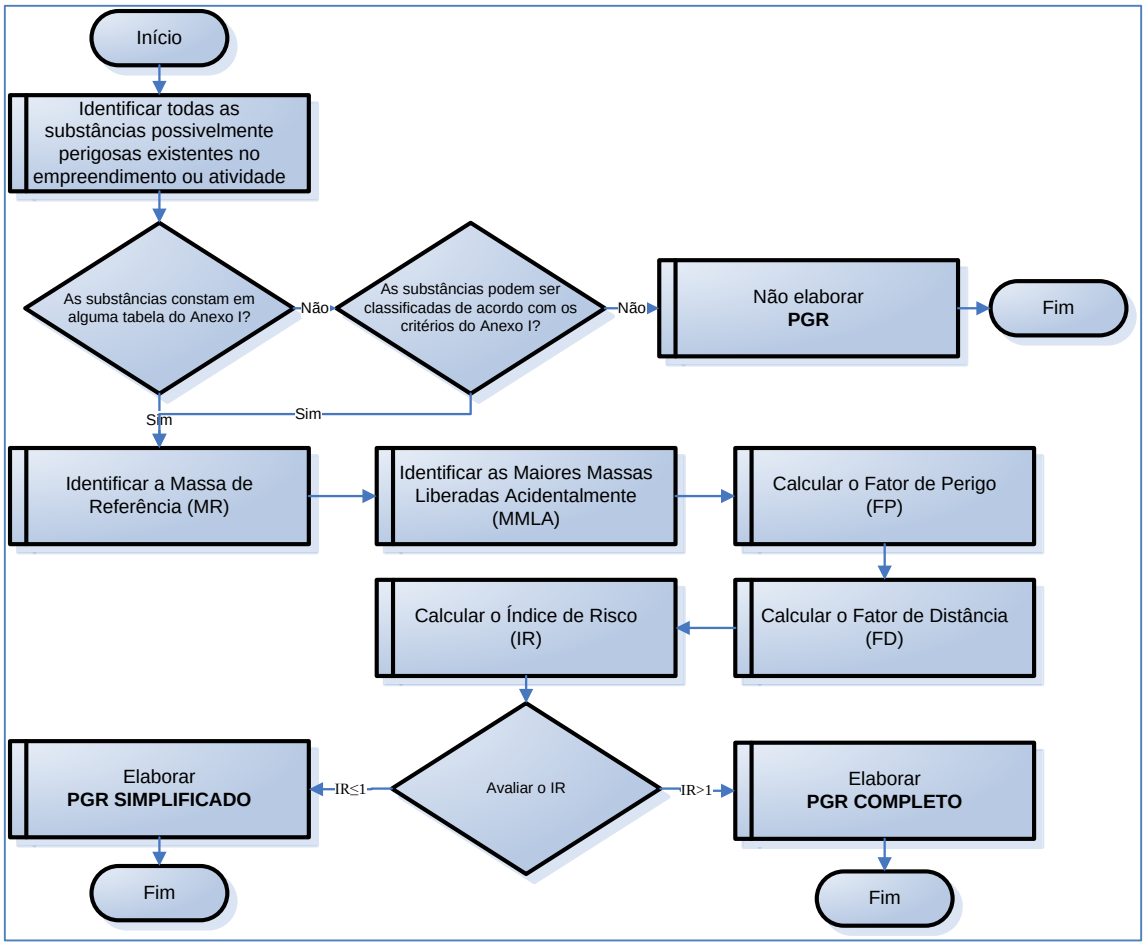



**Figura 23: Fluxograma para definição do tipo de PGR - CEPRAM**

Fonte: Elaboração própria com base em CEPRAM, 2009.

O PGR completo apresenta o seguinte conteúdo:

- Gestão de Informações;
- Análise de Riscos;
- Procedimentos Operacionais;
- Treinamento;
- Contratados;
- Integridade e Manutenção;
- Gerenciamento de Mudanças,
- Investigação de Incidentes e Acidentes;

- Procedimentos de Emergência/Plano de Evasão/Respostas a Emergência; e
- Auditorias.

O PGR simplificado apresenta o seguinte conteúdo:

- Gestão de Informações;
- Procedimentos Operacionais;
- Treinamento;
- Integridade e Manutenção; e
- Procedimentos de Emergência / Plano de Evasão / Respostas a Emergência.

De acordo com a norma da CEPRAM as análises de riscos formam o principal elemento de gestão do Programa de Gerenciamento de Riscos, pois são elas que indicarão os riscos que serão de fato gerenciados. A Análise de Riscos apresenta o seguinte escopo:

- Introdução e objetivos do trabalho;
- Informações gerais sobre a região onde se localiza a atividade;
- Identificação dos cenários de acidente;
- Avaliação da frequência de ocorrência;
- Avaliação dos riscos;
- Identificação de medidas de redução dos riscos;
- Reavaliação dos riscos considerando-se a implementação das medidas; discussão sobre eficiência ou não das medidas (ALARP).

A Figura 24 apresenta o fluxo para desenvolvimento do escopo do estudo para CEPRAM.

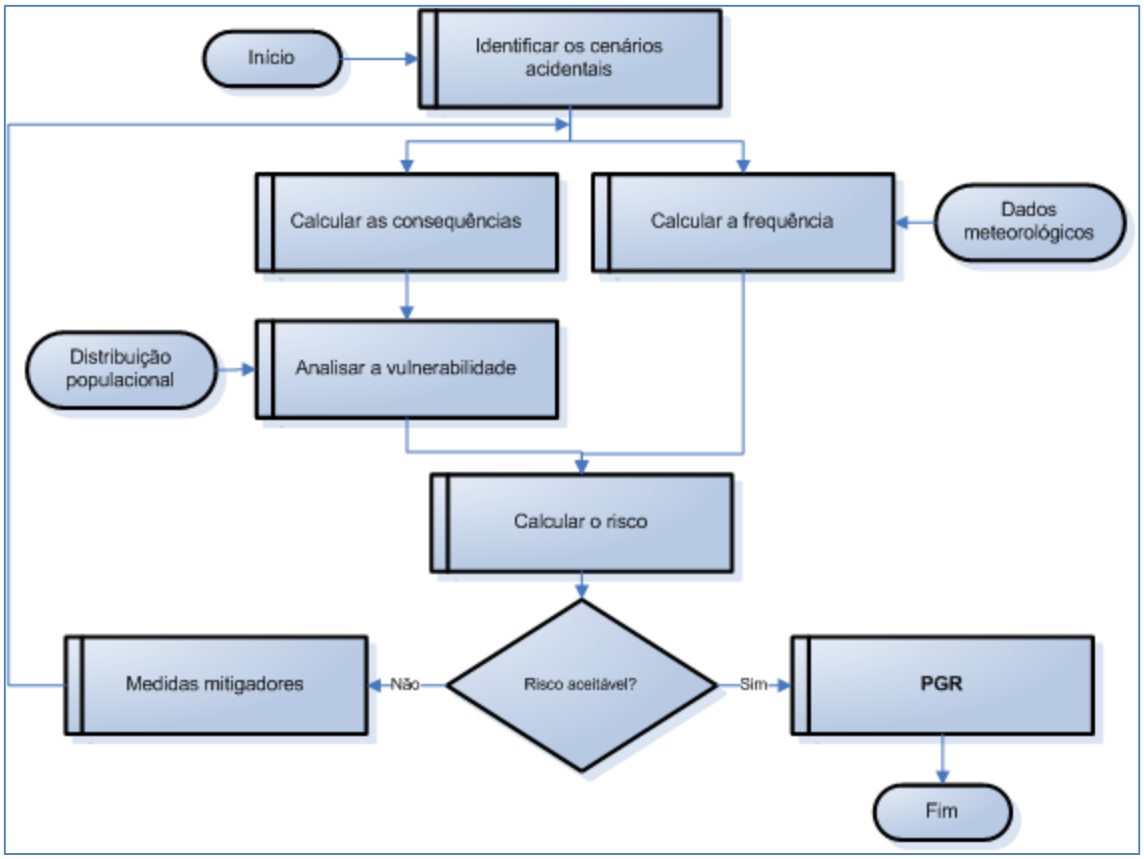



**Figura 24: Fluxo para desenvolvimento do estudo de análise de risco - CEPRAM**

Fonte: Elaboração própria com base em CEPRAM, 2009.

Os padrões de aceitabilidade dos riscos adotados pela CEPRAM para a avaliação de empreendimentos e atividades são:

**<u>Risco social</u>**

Os riscos proporcionados pelo empreendimento ou atividade serão considerados:

- Perfeitamente toleráveis, se a curva de distribuição acumulada complementar, desenhada sobre o gráfico FN, ficar abaixo ou, no máximo, tangenciar a reta inferior do gráfico da Figura 25 denominada limite de aceitabilidade trivial.
- Intoleráveis, se a curva de distribuição acumulada complementar, desenhada sobre o gráfico FN, ficar acima da reta superior do gráfico da Figura 25 denominada limite de aceitabilidade.

Os riscos situados na região entre as curvas limites dos riscos intoleráveis e negligenciáveis, denominada ALARP, embora situados abaixo da região de intolerabilidade, devem ser reduzidos tanto quanto praticável.

Deverão ser considerados no cálculo do risco social, para a construção da curva de distribuição acumulada complementar, empresas vizinhas e comunidades externas à empresa.

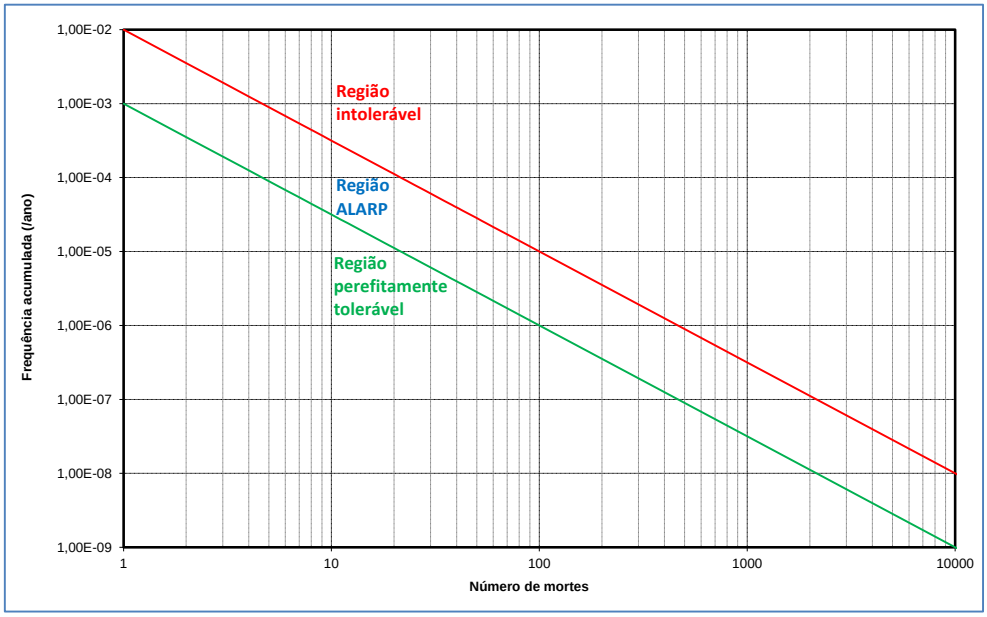



**Figura 25: Limites de tolerabilidade para o risco social – CEPRAM**

Fonte: Elaboração própria com base em CEPRAM, 2009.

## Risco individual

O risco individual deverá ser avaliado para dois critérios distintos: para população residente e para trabalhadores de outras indústrias.

### *População residente*

Para o risco individual da população residente, são estabelecidos os seguintes limites:

- Limite de inaceitabilidade igual a $1 \times 10^{-5}$ ano$^{-1}$;
- Limite de aceitabilidade sem questionamentos menor que $1 \times 10^{-6}$ ano$^{-1}$.

A região entre os limites de inaceitabilidade e de aceitabilidade sem questionamentos é denominada região ALARP, ou seja, os riscos situados nesta região deverão ser reduzidos tanto quanto praticável.

A Figura 26 ilustra os limites de aceitabilidade do risco individual para a população residente estabelecidos pela CEPRAM.

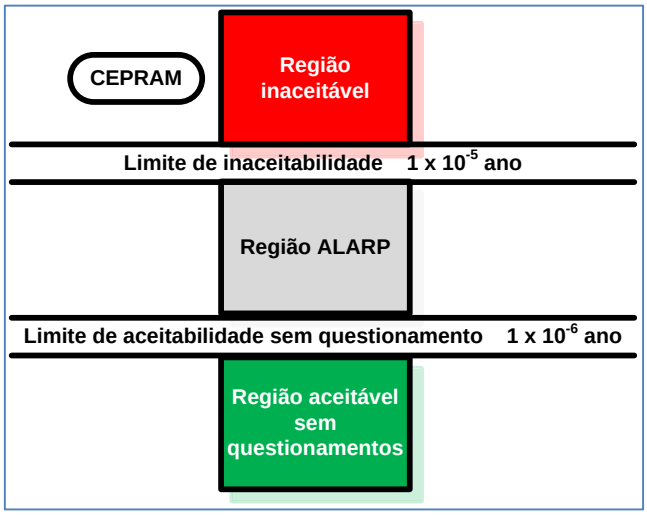



**Figura 26: Limites de aceitabilidade do risco individual para a população residente – CEPRAM**

Fonte: Elaboração própria com base em CEPRAM, 2009.

### *Trabalhadores de outras indústrias*

Para o risco individual de trabalhadores de outras indústrias, são estabelecidos os seguintes limites:

- Limite de inaceitabilidade igual a $1 \times 10^{-4}$ ano$^{-1}$;
- Limite de aceitabilidade sem questionamentos menor que $1 \times 10^{-5}$ ano$^{-1}$.

A região entre os limites de inaceitabilidade e de aceitabilidade sem questionamentos é denominada região ALARP, ou seja, os riscos situados nesta região deverão ser reduzidos tanto quanto praticável.

A Figura 27 ilustra os limites de aceitabilidade do risco individual, para os trabalhadores de outras indústrias, estabelecidos pela CEPRAM.

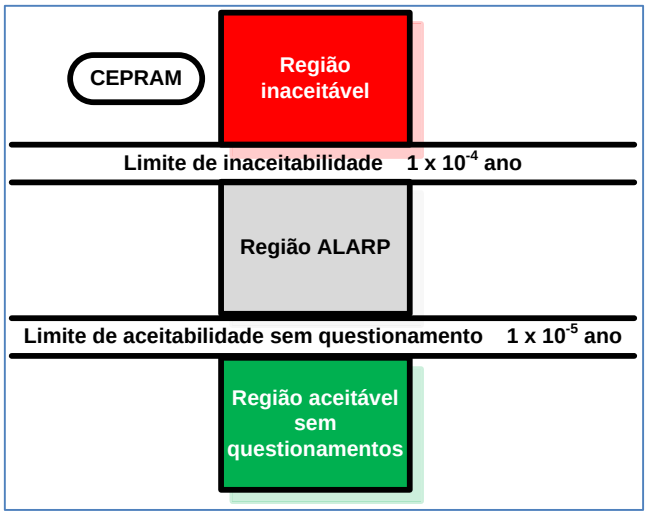



**Figura 27: Limites de aceitabilidade do risco individual para trabalhadores de outras indústrias – CEPRAM**

Fonte: Elaboração própria com base em CEPRAM, 2009.

# 3.0 ANÁLISE CRÍTICA DOS DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA PARA A ELABORAÇÃO DE ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCO NO BRASIL

## 3.1 INDIVIDUALIDADE DAS ANÁLISES QUANTITATIVAS DE RISCO

Os órgãos ambientais são responsáveis pela requisição das Análises Quantitativas de Risco no Brasil. Atualmente são solicitados estudos de avaliação dos riscos tanto para instalações novas como para instalações existentes. Após a avaliação, os órgãos ambientais concedem ou não as licenças ambientais.

Nas Análises Quantitativas de Risco são realizadas as estimativas do risco individual e do risco social. Posteriormente a essa quantificação, o risco é avaliado de modo a comparar o risco calculado com os critérios de aceitabilidade estabelecidos pelo órgão ambiental.

Como definido nas seções anteriores, o risco individual reflete a probabilidade anual de morte de um indivíduo situado na área de influência dos efeitos dos cenários acidentais. Já o risco social se refere ao risco para um determinado número ou agrupamento de pessoas expostas aos danos decorrentes de um ou mais cenários acidentais.

Com base nestas definições, podemos apontar o equívoco geralmente cometido pelos órgãos ambientais na avaliação das Análises Quantitativas de Risco. O problema ocorre no momento em que o risco é avaliado de forma individualizada para cada instalação ou atividade. O correto consiste em avaliar o risco integrado de um conjunto de instalações. A avaliação de forma individualizada indica um risco subdimensionado, uma vez que uma pessoa ou uma sociedade está na realidade submetida ao risco proporcionado por todas as instalações perigosas em sua proximidade. Deste modo o risco real, ou melhor, o que mais se aproxima da realidade é aquele no qual a avaliação é realizada de forma integrada para todas as instalações de uma área de influência.

## 3.2 PADRÕES DE TOLERABILIDADE DE RISCO

Após se obter os resultados das análises quantitativas de risco é necessário comparar os valores obtidos com níveis de risco estabelecidos pelos órgãos ambientais. Tais níveis são denominados como critérios de tolerabilidade ou aceitabilidade dos riscos. No entanto, a falta de um padrão nacional, ou seja, de um único critério de tolerabilidade dos riscos para o Brasil, leva a diferentes resultados, podendo uma instalação ter seu risco aceitável em um estado e inaceitável em outro.

A definição desses critérios depende de um julgamento por vezes subjetivo e pessoal, envolvendo temas complexos, como por exemplo, a percepção dos riscos, que varia consideravelmente de indivíduo para indivíduo. Mas apesar dessas dificuldades, a definição de um padrão nacional é importante na medida em que cria uma uniformidade para a avaliação de empreendimentos com potencial de causar grandes danos à sociedade brasileira, no qual a valoração da vida humana deverá ser a mesma em todas as regiões do país.

## 3.3 REVISÃO DAS ANÁLISES QUANTITATIVAS DE RISCO E PLANEJAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

A análise quantitativa de risco implementada durante o projeto inicial de uma instalação deve ser revisada periodicamente, de modo a serem identificadas novas situações de risco, possibilitando assim o aperfeiçoamento das operações, de modo a manter a instalação operando de acordo com os padrões de segurança requeridos.

Esta revisão deverá ser realizada em periodicidade definida no Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR) da instalação. Outras situações que requerem a revisão das análises são: alteração ou ampliação na instalação industrial, a renovação da licença ambiental ou a retomada de operações após parada por período superior a seis meses.

Geralmente as revisões das análises quantitativas de risco ocorrem a cada 5 anos devido ser este o período de validade das licenças concedidas às instalações pelos órgãos ambientais.

Silveira (2012) demonstrou os movimentos migratórios para os municípios de instalação de novas refinarias de petróleo com o crescimento da região na década de implantação do empreendimento.

É comum observamos a ocupação indiscriminada de áreas próximas a instalações perigosas. Este fato ocorre devido à falta de interconectividade entre as avaliações de risco e o planejamento do uso e ocupação territorial. Deste modo, as análises quantitativas de risco são utilizadas de maneira restrita, somente para o auxílio à tomada de decisão quando à concessão da licença.

Sem esta gestão do uso e ocupação do solo o empreendedor fica impossibilitado de prever o risco que sua instalação irá impor a sociedade no futuro e no caso de impossibilidade de medidas de redução de risco, ter seu empreendimento inviabilizado devido à ocupação indiscriminada de áreas vizinhas.

A falta deste planejamento expõe pessoas não envolvidas com a operação das instalações a riscos de acidentes ampliados. Geralmente a ocupação da vizinhança de instalações industriais ocorre devido à expectativa de crescimento econômico da região. Estas pessoas desconhecem os riscos que as instalações oferecem, logo é de responsabilidade dos órgãos públicos brasileiros o planejamento e controle da ocupação do solo.

# 4.0 ESTUDO DE CASO

Este capítulo realiza uma avaliação prática da utilização dos documentos de referência para a elaboração de Análise Quantitativa de Risco no Brasil. Será demonstrado como os órgãos ambientais trabalham os resultados das análises e como ocorrem os problemas citados no capítulo 3.0.

## 4.1 METODOLOGIA

### 4.1.1 Individualidade das Análises Quantitativas de Risco

Para a avaliação da individualidade das Análises Quantitativas de Risco será realizada a análise de um conjunto de instalações perigosas. Em concordância com os órgãos ambientais brasileiros serão realizadas as análises de cada instalação separadamente. Posteriormente será demonstrado, por meio da avaliação integrada, como o risco é subestimado quando avaliado de forma individualizada.

As instalações perigosas foram escolhidas devido a sua recorrência na indústria. Estás instalações são:

- Instalação 1: Instalação industrial que contém uma estação de tratamento de águas com cloro;
- Instalação 2: Instalação industrial que contém um sistema de refrigeração com amônia;
- Instalação 3: Instalação industrial que contém um sistema de armazenamento e transferência de líquidos inflamáveis;
- Instalação 4: Instalação industrial que contém um sistema de armazenamento e transferência de gás inflamável liquefeito.

O Arranjo espacial das instalações está apresentado na Figura 28. Neste arranjo as instalações possuem áreas de influência comum.

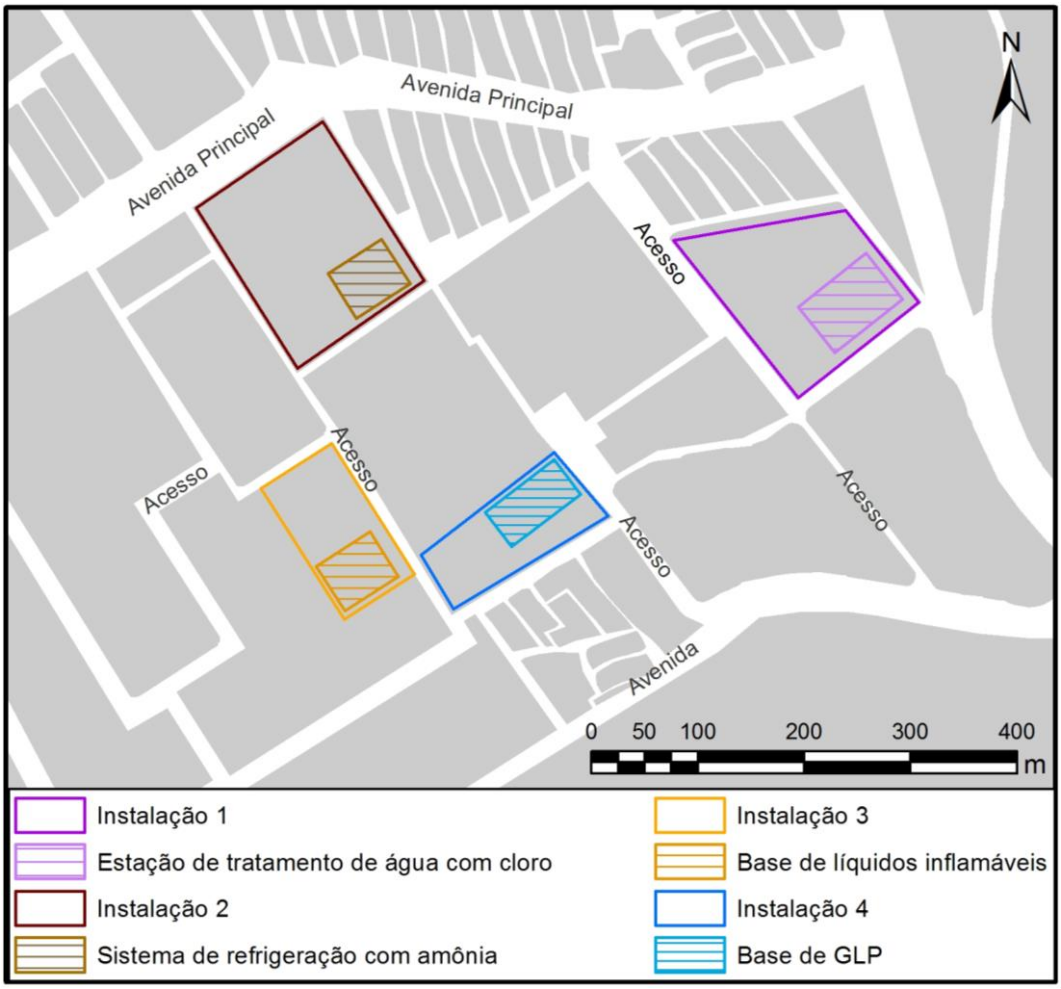



**Figura 28: Arranjo espacial das instalações**

Fonte: Elaboração própria.

A Análise Quantitativa de Risco será elaborada de acordo com as etapas apresentadas na Figura 29.

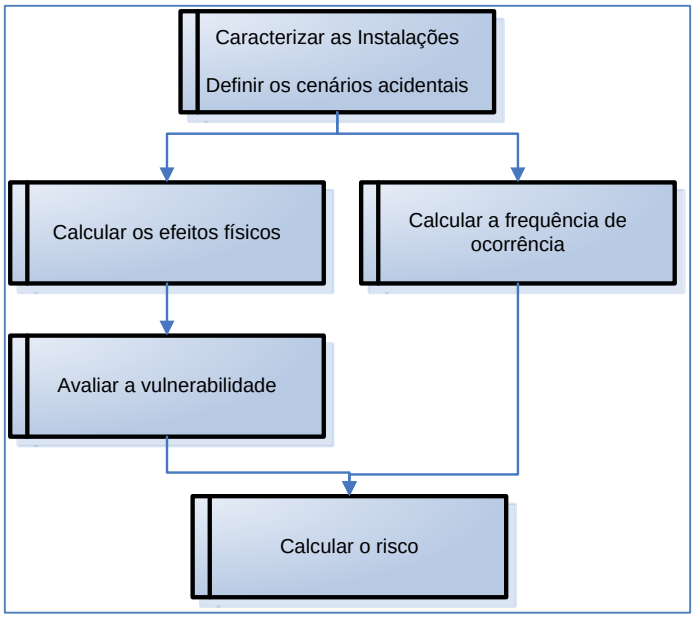



**Figura 29: Etapas da Análise Quantitativa de Risco**

Fonte: Elaboração própria.

A seguir estão descritas as etapas do fluxograma acima.

**Caracterizar as instalações e definir os cenários acidentais**

Para a caracterização será realizada uma descrição sucinta dos componentes e do processo das instalações. Os cenários acidentais serão definidos em função de eventos típicos dos sistemas presentes.

**Calcular os efeitos físicos e avaliar a vulnerabilidade**

Nesta etapa será calculada a extensão das áreas vulneráveis aos efeitos físicos danosos resultantes dos cenários acidentais postulados.

O cálculo do alcance dos efeitos físicos será feito por meio de modelagem matemática com o emprego do Programa PHAST (*Process Hazard Analysis Software Tools*) Professional, Versão 7.01, da DNV *Technica*.

A Tabela 4 apresenta os tipos e níveis de efeitos físicos que serão pesquisados na modelagem para estimativa das áreas vulneráveis, de acordo com o cenário acidental considerado.

**Tabela 4: Efeitos físicos pesquisados para estimativa das áreas vulneráveis**

| Cenário | Efeito físico | Níveis pesquisados |
|---|---|---|
| Jato de fogo | Radiação térmica | - 12,5 kW/m², correspondente à probabilidade de 1% de morte para o tempo de exposição de 30 segundos<br>- 37,5 kW/m², correspondente à probabilidade de 50% de morte para o tempo de exposição de 20 segundos |
| Incêndio em poça | Radiação térmica | - 12,5 kW/m², correspondente à probabilidade de 1% de morte para o tempo de exposição de 30 segundos<br>- 37,5 kW/m², correspondente à probabilidade de 50% de morte para o tempo de exposição de 20 segundos |
| Incêndio em nuvem | Concentração inflamável | - valor correspondente ao limite inferior de inflamabilidade |
| Explosão não confinada | Sobrepressão | - 0,1 bar, valor associado à ocorrência de danos a estruturas (paredes, portas, telhados) e consequente perigo à vida, correspondendo a uma probabilidade de 1% de fatalidade das pessoas expostas<br>- 0,3 bar, valor associado à ocorrência de danos graves a estruturas (prédios e equipamentos) e consequente perigo à vida, correspondendo a uma probabilidade de 50% de fatalidade das pessoas expostas |
| Formação de nuvem tóxica | Concentração tóxica de Cloro | - 105 ppm, correspondente à probabilidade de 1% de morte para o tempo de exposição de 10 minutos<br>- 574 ppm, correspondente à probabilidade de 50% de morte para o tempo de exposição de 10 minutos |
| | Concentração tóxica de amônia | - 4.218 ppm, correspondente à probabilidade de 1% de morte para o tempo de exposição de 10 minutos<br>- 13.523 ppm, correspondente à probabilidade de 50% de morte para o tempo de exposição de 10 minutos |

Fonte: Elaborado própria com base em VROM, 2005.

Os níveis de radiação térmica foram calculados a partir da seguinte equação de Probit (VROM, 2005):

$$Pr = - 36,38 + 2,56 \ln(Q^{4/3}.t)$$

No qual:

- Pr é o probit correspondente à probabilidade de morte
- t é o tempo de exposição, em segundos
- Q é a intensidade da radiação térmica, em $W/m^2$

Nos casos de incêndio em poça, os níveis de radiação térmica foram calculados considerando um tempo de exposição de 30 e 20 segundos.

No caso de incêndio em nuvem, foi considerado o alcance máximo do limite inferior de inflamabilidade.

Para explosão não confinada, foi utilizado o modelo TNT, com uma eficiência de explosão de 10%.

Os níveis de sobrepressão se baseiam em danos a estruturas (Mannan, 2005, Vol. 2, p. 17/190, Tabela 17.43).

Os níveis de concentrações tóxicas de $Cl_2$ e de $NH_3$ foram calculados a partir das seguintes equações de Probit (VROM, 2005):

Concentração tóxica de $Cl_2$

$Pr = - 6,35 + 0,5 \ln (C^{2,75} x\ t)$

Concentração tóxica de $NH_3$

$Pr = - 15,6 + \ln (C^2 \times t)$

Nos quais:

- Pr é o probit correspondente à probabilidade de morte
- t é o tempo de exposição, em minutos
- C é a concentração, em mg/m³

A Tabela 5 apresenta os níveis de concentração de $Cl_2$ correspondentes às probabilidades de morte de 1% e 50% da população exposta, considerando um tempo de exposição de 10 minutos.

**Tabela 5: Níveis de concentração de cloro**

| **Probabilidade de morte** | **Concentração de $Cl_2$** | |
|---|---|---|
| | **mg/m³** | **ppm** |
| **1%** | 306 | 105 |
| **50%** | 1.664 | 574 |

Fonte: Elaborado própria.

A Tabela 6 apresenta os níveis de concentração de $NH_3$ correspondentes às probabilidades de morte de 1% e 50% da população exposta, considerando um tempo de exposição de 10 minutos.

**Tabela 6: Níveis de concentração de amônia**

| **Probabilidade de morte** | **Concentração de $Cl_2$** | |
|---|---|---|
| | **mg/m³** | **ppm** |
| **1%** | 2.933 | 4.218 |
| **50%** | 9.402 | 13.523 |

Fonte: Elaborado própria.

De acordo com CETESB (2003) serão utilizados os seguintes dados para as condições meteorológicas:

*Período diurno*

- Temperatura ambiente: 25 ºC;
- Velocidade do vento: 3,0 m/s;
- Categoria de estabilidade atmosférica: C;
- Umidade relativa do ar: 80 %;
- Direção do vento: 12,5 % (distribuição uniforme em oito direções).

*Período noturno*

- Temperatura ambiente: 20 ºC;
- Velocidade do vento: 2,0 m/s;
- Categoria de estabilidade atmosférica: E;
- Umidade relativa do ar: 80 %;
- Direção do vento: 12,5 % (distribuição uniforme em oito direções).

A temperatura do solo será considerada como sendo de 5 ºC acima da temperatura ambiente.

Será assumida a incidência da liberação sobre o solo. O n-hexano e o n-nonano serão considerados como substancias representativas da gasolina e do óleo diesel respectivamente. A mistura propano (40 %) e butano (60 %) será considerada como representativa para o GLP.

## Calcular a frequência de ocorrência

A frequência de ocorrência dos cenários acidentais será estimada por meio da aplicação da técnica de árvore de eventos na qual a estimativa é realizada a partir da composição das frequências de ocorrência dos eventos iniciadores e das diferentes possibilidades de evolução do acidente.

As Figuras 30 a 32 apresentam as árvores de eventos que serão utilizadas para o cálculo das frequências dos eventos acidentais relacionados à liberação de produtos tóxicos, líquidos inflamáveis e gases inflamáveis, respectivamente.

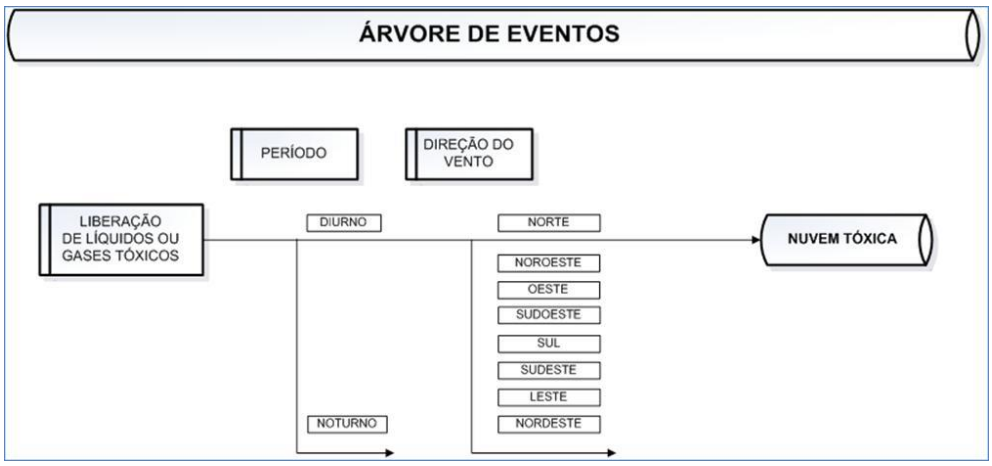



**Figura 30: Árvore de eventos relacionada à liberação de líquidos ou gases tóxicos (cloro e amônia)**

Fonte: Elaboração própria.

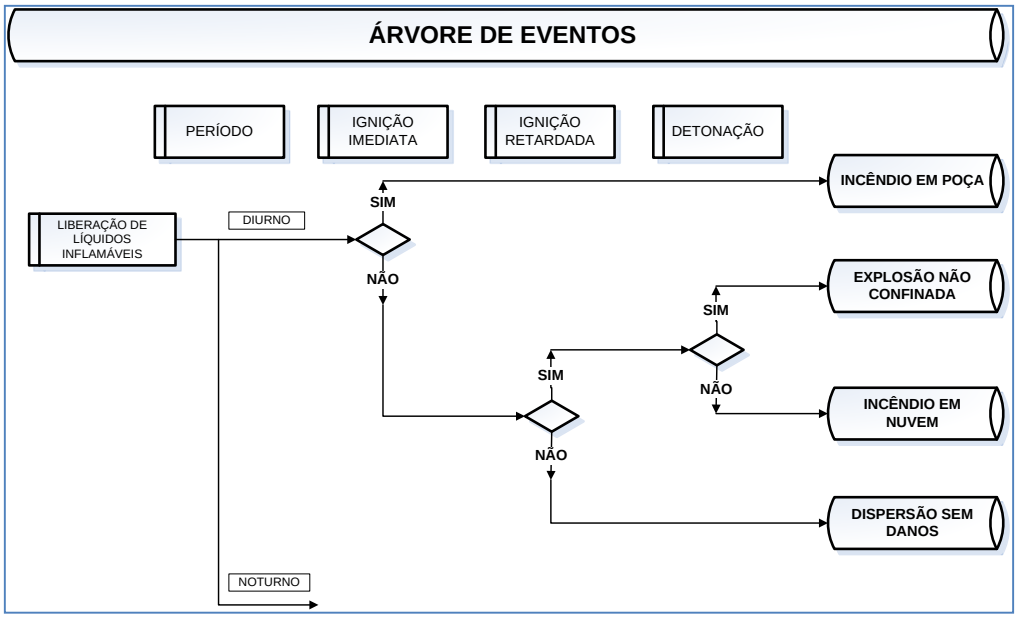



**Figura 31: Árvore de eventos relacionada à liberação de líquidos inflamáveis (gasolina, etanol e diesel)**

Fonte: Elaboração própria.

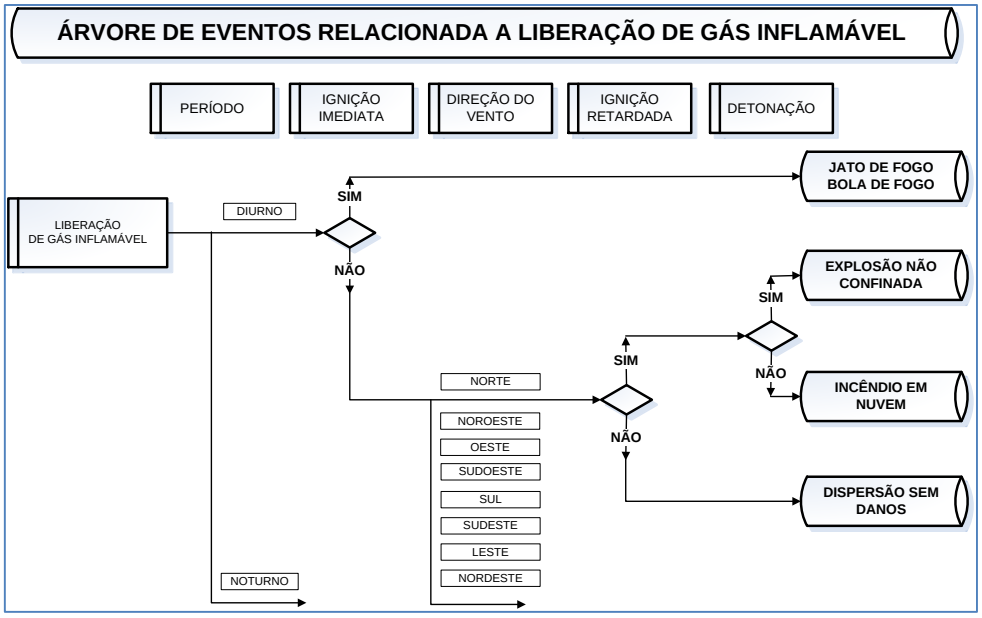



**Figura 32: Árvore de eventos relacionada à liberação de gases inflamáveis (GLP)**

Fonte: Elaboração própria.

Nestas árvores, a frequência de cada cenário acidental é obtida multiplicando-se a frequência do evento iniciador pelas probabilidades de ocorrência dos eventos intermediários, relacionados a:

- período do dia;
- ignição imediata;
- direção do vento;
- ignição retardada;
- detonação.

No caso de ignição imediata, esta ocorre logo em seguida à liberação, tendo como consequência um incêndio em poça. No caso de ignição retardada, a nuvem de vapor inflamável percorre uma determinada distância antes de sofrer ignição e a consequência é um incêndio em nuvem ou, no caso de detonação, uma explosão não confinada.

Nos casos de formação de nuvem tóxica, incêndio em nuvem e explosão não confinada, as consequências são influenciadas ainda pela direção do vento.

Para o cálculo da frequência dos eventos iniciadores serão utilizadas as taxas básicas de falhas de equipamentos apresentadas na Tabela 7.

**Tabela 7: Taxas básicas de falha**

| Componente | Taxa de falha | Referência |
|---|---|---|
| Tanque | $1 \times 10^{-4}$ /ano | HSE, 2012, p. 8 |
| Vaso | $2 \times 10^{-6}$ /ano | Mannan, 2005, p. 9/97, Tabela 9.40 |
| Tubulação | $3 \times 10^{-7}$ /m.ano | Mannan, 2005, p. 9/97, Tabela 9.40 |
| Válvula | $1 \times 10^{-5}$ /ano | Taylor, 1998, p. 11 |

Para o período do dia serão considerados dois horários distintos:

- dia, de 7:00 a 17:00 (probabilidade = 10/24 = 0,42)
- noite, de 17:00 a 7:00 (probabilidade = 14/24 = 0,58)

Conforme recomendado em CETESB (2003), quanto à direção dos ventos, será utilizada uma distribuição percentual uniforme para os octantes (N, NE, L, SE, S, SO, O, NO) de 12,5 %.

Com relação à probabilidade de ignição, Será assumido o valor de 0,08. (Mannan, 2005, Volume 1, p. 16/148, Tabela 16.49), considerando esse valor distribuído igualmente entre as probabilidades de ignição imediata e retardada e que, no caso de ignição retardada, haja 10% de probabilidade de detonação (Mannan, 2005, Volume 1, p. 16/148).

## Avaliar os riscos

### *Risco individual*

O risco individual reflete a probabilidade anual de morte de um indivíduo situado na área de influência dos efeitos dos cenários acidentais postulados. O cálculo da contribuição de cada cenário acidental para o risco individual total será feito com base nos resultados obtidos anteriormente para a sua frequência de ocorrência e para os alcances dos níveis de efeitos físicos correspondentes às diferentes probabilidades de morte das pessoas expostas.

O cálculo da variação do risco individual será realizado empregando uma regressão linear simples relacionando distância e nível de risco, com base nos dois pontos referentes às probabilidades de morte de 1% e 50%, segundo a equação:

$$Y = R(X) = A.X + B$$

onde:

- R(X) é o risco à distância X da instalação;
- A e B são respectivamente os coeficientes angular e linear da reta.

Os resultados serão apresentados por meio dos perfis de risco individual e dos respectivos contornos de isorrisco. As projeções dos contornos de isorrisco serão feitas a partir dos sistemas das instalações analisadas, visto serem estas as áreas associadas aos cenários acidentais postulados.

Será avaliado o risco individual das quatro instalações separadamente e de forma integrada. O critério de tolerabilidade utilizado para a avaliação será o definido pela CETESB (2003).

***Risco social***

O cálculo do risco social será feito a partir da frequência de ocorrência de cada cenário acidental e da estimativa do número de mortes entre a população exposta. Os resultados serão apresentados em um gráfico F-N, que fornece a frequência acumulada de ocorrência de acidentes com N ou mais mortes.

Serão utilizadas as frequências dos cenários acidentais calculadas na etapa anterior.

Para a estimativa da população exposta aos cenários acidentais foi suposta a ocupação territorial apresentada na Figura 33. Nesta figura cada ponto representa uma ocupação residencial.

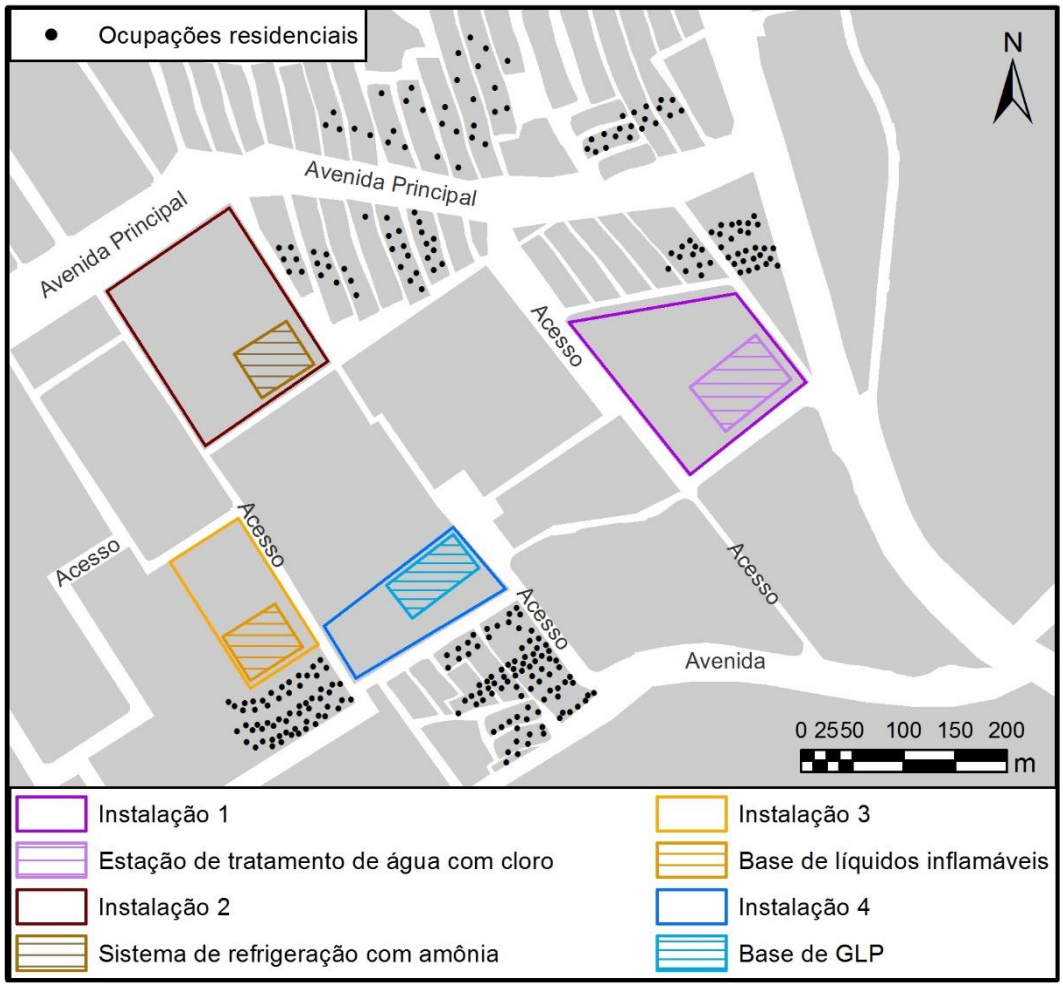



**Figura 33: Ocupações no entorno das instalações**

Fonte: Elaboração própria.

A estimativa do número de mortes será feita com base no número de pessoas expostas adotando os seguintes critérios (CETESB, 2003):

<u>No caso de formação de jato de fogo, nuvem tóxica, incêndio em poça e explosão não confinada</u>

- probabilidade de 75% de morte para as pessoas situadas na área delimitada pelo alcance do nível de radiação térmica correspondente à probabilidade de morte de 50%;
- probabilidade de 25% de morte para as pessoas situadas na área delimitada pelos alcances dos níveis de radiação térmica correspondentes às probabilidades de morte de 50% e 1%.

A Figura 34 ilustra como é realizada a estimativa do número de morte para os cenários descritos acima.

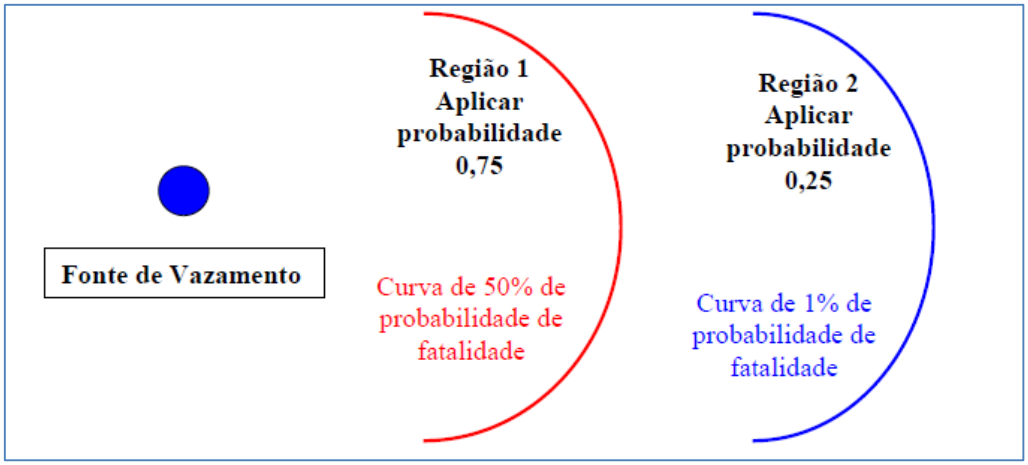



**Figura 34: Estimativa do número de vítimas para o cálculo do risco social**

Fonte: CETESB, 2003.

<u>No caso de incêndio em nuvem</u>

- probabilidade de 100% de morte para as pessoas situadas na área delimitada pelo alcance do limite inferior de inflamabilidade.

Será assumida uma ocupação média de três habitantes por residência.

Será considerada a presença de todas as pessoas (100%) nas residências durante a noite, e de 50% durante o dia.

Será avaliado o risco social das quatro instalações separadamente e de forma integrada. O critério de tolerabilidade utilizado para a avaliação será o definido pela CETESB (2003).

### 4.1.2 Padrões de Tolerabilidade de Risco

Para demonstrar o problema da falta de um padrão nacional, será realizada uma análise comparativa dos critérios de tolerabilidade definidos pelos órgãos ambientais nos documentos de referência para a elaboração e avaliação de estudos de análise de riscos.

O risco social será o parâmetro utilizado na análise comparativa devido o enfoque principal na avaliação de riscos esta voltado aos impactos decorrentes de grandes acidentes que afetam agrupamentos de pessoas.

Serão utilizados os resultados obtidos para o risco social da instalação 2 durante a avaliação da individualidade das análises quantitativas de risco apresentados na seção 4.1.1.

A instalação 2 contém um sistema de refrigeração com amônia. Este sistema pode ser encontrado em frigoríficos, fabricas de gelo, indústrias de bebidas, indústrias de corantes, dentre diversas outras aplicações. Esta avaliação mostrará como a mesma curva de distribuição acumulada complementar (curva FN) se situa frente aos critérios de tolerabilidade ou aceitabilidade dos riscos definidos pelos estados de São Paulo, Bahia, Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro.

### 4.1.3 Revisão das Análises Quantitativas de Risco e Planejamento do Uso e Ocupação do Solo

Para verificarmos o incremento do risco com o tempo devido à falta de planejamento do uso e ocupação territorial no Brasil será realizada uma análise comparativa do risco em dois momentos distintos, como por exemplo, o momento da implantação da instalação e o momento da renovação da licença de operação, geralmente em um período de 5 anos.

Assim como na avaliação dos critérios de tolerabilidade o risco social será o parâmetro utilizado na análise.

Os resultados obtidos para o risco social da instalação 2 durante a avaliação da individualidade das análises quantitativas de risco serão utilizados para representar o risco no momento da implantação do empreendimento.

Para o momento da renovação da licença de operação será realizado o cálculo do risco social, de acordo com os critérios apresentados na seção 4.1.1 (risco social), considerando o crescimento populacional indiscriminado no entorno da instalação.

Este crescimento será representado pela criação de uma igreja a cerca de 150 metros da instalação 2. A Figura 35 apresenta a nova ocupação no entorno das instalações. Nesta figura os pontos representam as ocupações residenciais e a cruz vermelha representa a nova igreja.

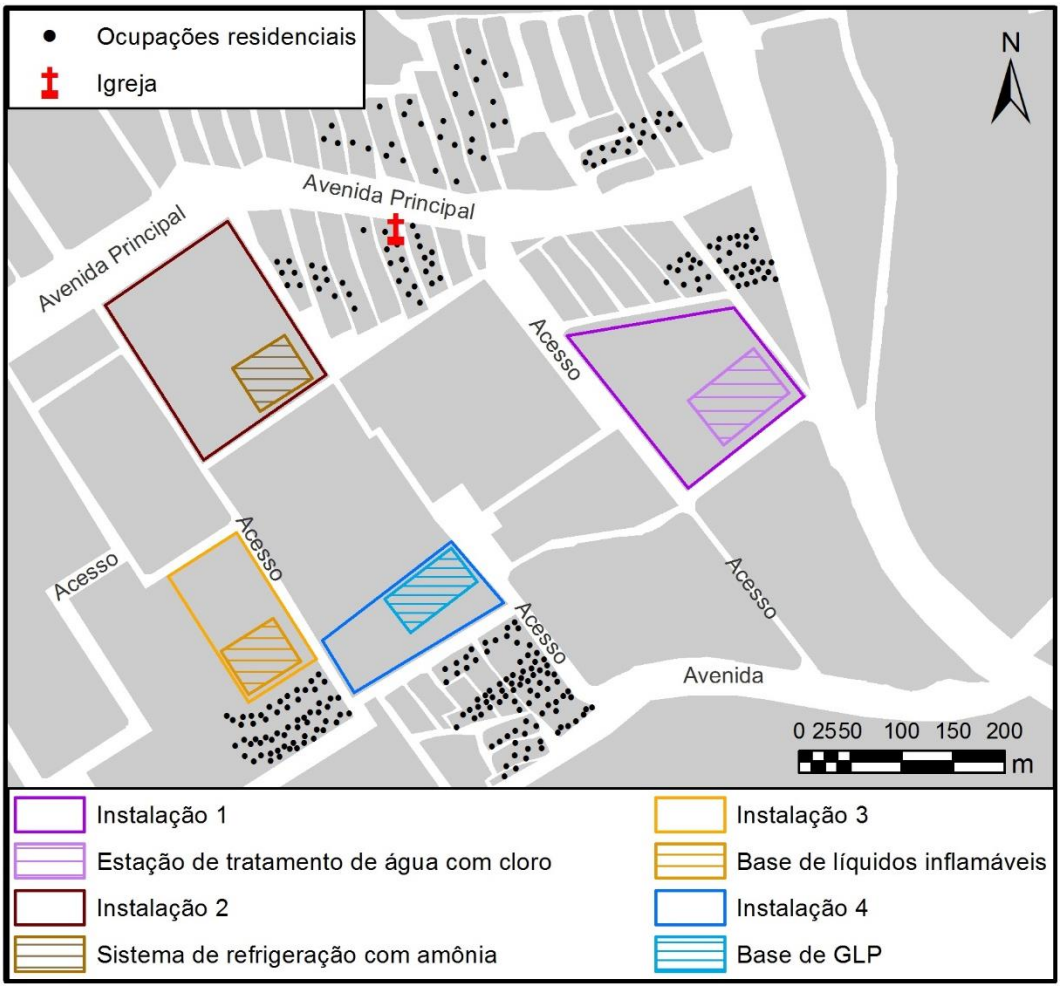



**Figura 35: Ocupações no entorno das instalações no momento da renovação da licença de operação**

Fonte: Elaboração própria.

Será considerado que 100 pessoas frequentam a igreja no período da manhã e 200 frequentam no período da noite.

O critério de tolerabilidade utilizado para a avaliação será o definido pela CETESB (2003).

## 4.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.2.1 Individualidade das Análises Quantitativas de Risco

***Caracterização das instalações e definição dos cenários acidentais***

A caracterização das instalações e seus respectivos cenários acidentais estão apresentados a seguir:

***Instalação industrial 1: Estação de tratamento de águas com cloro***

O sistema de cloração da estação de tratamento utiliza cilindros de cloro de 900 kg. Três cilindros permanecem normalmente conectados ao manifold de cloração. Do manifold, o cloro é enviado para os cloradores para a cloração da água. Além dos cilindros conectados ao manifold, três cilindros reservas são mantidos na área, desconectado do sistema. O sistema de cloração está situado em um galpão de dimensões iguais a 4 m de altura, 8 m de largura e 15 m de comprimento.

As Figuras 36 e 37 ilustram um típico sistema de cloração.

**Figura 36: Cilindros de cloro**

Fonte: GOLDER, 2012.

**Figura 37: Sistema de cloração**

Fonte: GOLDER, 2012.

*Cenários acidentais*

- Liberação de cloro devido a ruptura do cilindro.
- Liberação de cloro devido a ruptura do manifold.

***Instalação industrial 2: Sistema de refrigeração com amônia***

O sistema de refrigeração com amônia apresenta os seguintes equipamentos: reservatório principal, vaso separador de líquido, compressor e condensador.

Do reservatório principal, que possui capacidade de 6 $m^3$, a amônia líquida alimenta os vasos separadores de líquido. Destes vasos a amônia líquida é bombeada para os pontos de resfriamento. Após receber calor nestes pontos, a amônia retorna para os vasos separadores, de onde é feita a sucção para o sistema de compressão. Dos compressores a amônia é enviada para o sistema de condensação e finalmente, dos condensadores a amônia líquida retorna para o reservatório principal.

As Figuras 38 e 39 ilustram um típico sistema de refrigeração com amônia.

**Figura 38: Sala dos compressores de amônia**

Fonte: GOLDER, 2010.

**Figura 39: Reservatório principal e condensador**

Fonte: GOLDER, 2010.

*Cenários acidentais*

- Liberação de amônia devido a ruptura do reservatório principal ou vaso separador.
- Liberação de amônia devido a ruptura da tubulação de transferência.

***Instalação industrial 3: Sistema de armazenamento e transferência de líquidos inflamáveis***

A base de armazenamento e transferência de líquidos inflamáveis tem como atividade principal o recebimento, armazenamento e distribuição de combustíveis (gasolina, etanol e diesel). Os produtos são recebidos na base por meio rodoviário por intermédio de caminhões-tanque. O armazenamento é realizado em 16 tanques com capacidade operacional para 500 m³ cada. Dentre estes tanques 8 são para armazenamento de diesel, 4 para armazenamento de gasolina e 4 para armazenamento de etanol. Todos os tanques estão situados no interior de bacia de contenção com drenagem direcionada para o sistema separador de água e óleo. A transferência de produtos é realizada por bombeamento. Tanto as operações de descarregamento quanto as de carregamento de caminhões-tanque são realizadas em plataformas de concreto cercada por canaletas direcionadas para o sistema separador de água e óleo.

As Figuras 40 e 41 ilustram um típico sistema de armazenamento e transferência de líquidos inflamáveis.

**Figura 40: Tanques de armazenamento (1)**
Fonte: OBRIENS, 2013.

**Figura 41: Tanques de armazenamento (2)**

Fonte: OBRIENS, 2013.

*Cenários acidentais*

- Liberação de gasolina devido a ruptura do tanque de armazenamento.
- Liberação de etanol devido a ruptura do tanque de armazenamento.
- Liberação de diesel devido a ruptura do tanque de armazenamento.

***Instalação industrial 4: Sistema de armazenamento e transferência de gás inflamável liquefeito***

O recebimento ocorre por intermédio dos veículos abastecedores que realizam as transferências do GLP para os 10 vasos de armazenamento de GLP. Os vasos possuem capacidade de 15 m³ cada, porem são abastecidos com até 85 % desta capacidade (13 m³). Destes vasos o GLP é transferido por bombeamento para o sistema de queima da área de produção.

As Figuras 42 e 43 ilustram um sistema de armazenamento e transferência de GLP.

**Figura 42: Vaso de armazenamento**

Fonte: Desconhecida.

**Figura 43: Tubulações de transferência**

Fonte: Desconhecida.

*Cenários acidentais*

- Liberação de GLP devido a ruptura do vaso de armazenamento.
- Liberação de GLP devido a ruptura de tubulação de transferência.

## Cálculo dos efeitos físicos e avaliação de vulnerabilidade

Os cenários acidentais postulados na etapa anterior estão relacionados a:

- Formação de nuvem tóxica nos casos de liberação de cloro e amônia;
- Jato de fogo, incêndio em poça, incêndio em nuvem ou explosão não confinada no caso de liberação de gasolina, etanol, diesel e GLP.

Os cenários acidentais analisados estão apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8: Cenários acidentais para estimativa dos efeitos físicos**

| Instalação | Cenário acidental | Descrição do cenário acidental |
|---|---|---|
| 1 | 1.1 | Liberação de cloro devido a ruptura do cilindro |
| | 1.2 | Liberação de cloro devido a ruptura do manifold |
| 2 | 2.1 | Liberação de amônia devido a ruptura do reservatório principal |
| | 2.2 | Liberação de amônia devido a ruptura da tubulação de transferência |
| 3 | 3.1 | Liberação de gasolina devido a ruptura do tanque de armazenamento |
| | 3.2 | Liberação de etanol devido a ruptura do tanque de armazenamento |
| | 3.3 | Liberação de diesel devido a ruptura do tanque de armazenamento |
| 4 | 4.1 | Liberação de GLP devido a ruptura do vaso de armazenamento |
| | 4.2 | Liberação de GLP devido a ruptura de tubulação de transferência |

Fonte: Elaboração própria.

### *Caracterização dos cenários acidentais*

Com base nas premissas apresentadas anteriormente, foi feita a caracterização dos cenários acidentais para a modelagem e cálculo do alcance dos efeitos físicos danosos, que se encontra apresentada nas Tabelas 9 a 17.

*Instalação 1 - Estação de tratamento de águas com cloro*

**Tabela 9: Cenário acidental 1.1**

| | |
|---|---|
| **Descrição** | Liberação de cloro devido a ruptura do cilindro |
| **Cenário acidental** | Formação de nuvem tóxica |
| **Substância** | Cloro |
| **Estado físico da substância** | Líquido saturado |
| **Temperatura** | 25 ºC |
| **Quantidade disponível para liberação** | 900 kg (correspondente à capacidade do cilindro) |

Fonte: Elaboração própria.

**Tabela 10: Cenário acidental 1.2**

| | |
|---|---|
| **Descrição** | Liberação de cloro devido a ruptura do manifold |
| **Cenário acidental** | Formação de nuvem tóxica |
| **Substância** | Cloro |
| **Estado físico da substância** | Líquido saturado |
| **Temperatura** | 25 ºC |
| **Quantidade disponível para liberação** | 900 kg (correspondente à capacidade do cilindro) |
| **Diâmetro equivalente do furo** | 2” (correspondente ao diâmetro do manifold) |

Fonte: Elaboração própria.

*Instalação 2 - Sistema de refrigeração com amônia*

**Tabela 11: Cenário acidental 2.1**

| | |
|---|---|
| **Descrição** | Liberação de amônia devido a ruptura do reservatório principal ou vaso separador |
| **Cenário acidental** | Formação de nuvem tóxica |
| **Substância** | Amônia |
| **Estado físico da substância** | Líquido saturado |
| **Temperatura** | 25 ºC |
| **Quantidade disponível para liberação** | 6 m³ (correspondente à capacidade do reservatório principal) |

Fonte: Elaboração própria.

**Tabela 12: Cenário acidental 2.2**

| | |
|---|---|
| **Descrição** | Liberação de amônia devido a ruptura da tubulação de transferência |
| **Cenário acidental** | Formação de nuvem tóxica |
| **Substância** | Amônia |
| **Estado físico da substância** | Líquido saturado |
| **Temperatura** | 25 ºC |
| **Quantidade disponível para liberação** | 6 m³ (correspondente à capacidade do reservatório principal) |
| **Diâmetro equivalente do furo** | 2” (correspondente ao diâmetro da linha conectada ao cilindro) |

Fonte: Elaboração própria.

*Instalação 3 - Sistema de armazenamento e transferência de líquidos inflamáveis*

**Tabela 13: Cenário acidental 3.1**

| | |
|---|---|
| **Descrição** | Liberação de gasolina devido a ruptura do tanque de armazenamento |
| **Cenários acidentais** | Incêndio em poça, incêndio em nuvem ou explosão não confinada |
| **Substância** | Gasolina |
| **Substância representativa** | n-hexano |
| **Estado físico da substância** | Líquido |
| **Quantidade disponível para liberação** | 500 m³ |
| **Área da bacia de tanques** | 3.000 m² |

Fonte: Elaboração própria.

**Tabela 14: Cenário acidental 3.2**

| | |
|---|---|
| **Descrição** | Liberação de etanol devido a ruptura do tanque de armazenamento |
| **Cenários acidentais** | Incêndio em poça, incêndio em nuvem ou explosão não confinada |
| **Substância** | Etanol |
| **Substância representativa** | Etanol |
| **Estado físico da substância** | Líquido |
| **Quantidade disponível para liberação** | 500 m³ |
| **Área da bacia de tanques** | 3.000 m² |

Fonte: Elaboração própria.

**Tabela 15: Cenário acidental 3.3**

| | |
|---|---|
| **Descrição** | Liberação de diesel devido a ruptura do tanque de armazenamento |
| **Cenários acidentais** | Incêndio em poça, incêndio em nuvem ou explosão não confinada |
| **Substância** | Diesel |
| **Substância representativa** | n-nonano |
| **Estado físico da substância** | Líquido |
| **Quantidade disponível para liberação** | 500 m³ |
| **Área da bacia de tanques** | 3.000 m² |

Fonte: Elaboração própria.

### *Instalação 4 - Sistema de armazenamento e transferência de GLP*

**Tabela 16: Cenário acidental 4.4**

| | |
|---|---|
| **Descrição** | Liberação de GLP devido a ruptura do vaso de armazenamento |
| **Cenários acidentais** | Incêndio em poça, incêndio em nuvem ou explosão não confinada |
| **Substância** | GLP |
| **Substância representativa** | Propano (40 %) + Butano (60 %) |
| **Estado físico da substância** | Líquido saturado |
| **Quantidade disponível para liberação** | 13 m³ |

Fonte: Elaboração própria.

**Tabela 17: Cenário acidental 4.2**

| | |
|---|---|
| **Descrição** | Liberação de GLP devido a ruptura de tubulação de transferência |
| **Cenários acidentais** | Incêndio em poça, incêndio em nuvem ou explosão não confinada |
| **Substância** | GLP |
| **Substância representativa** | Propano (40 %) + Butano (60 %) |
| **Estado físico da substância** | Líquido saturado |
| **Quantidade disponível para liberação** | 13 m³ |
| **Diâmetro equivalente do furo** | 2” (correspondente ao diâmetro da tubulação de transferência) |

Fonte: Elaboração própria.

*Alcances das modelagens*

As Tabelas 18 a 25 apresentam as distâncias alcançadas pelos níveis de efeitos físicos pesquisados para os cenários acidentais postulados. O Anexo A contém os relatórios da modelagem gerados pelo software PHAST 7.01.

*Instalação 1 - Estação de tratamento de águas com cloro*

**Tabela 18: Distância alcançada pelos níveis de concentração tóxica de $Cl_2$**

| **Cenário acidental** | **Distância (m) até:** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **1% fatal** | | **50% fatal** | |
| | **Dia** | **Noite** | **Dia** | **Noite** |
| **1.1** | 154 | 344 | 65 | 96 |
| **1.2** | 154 | 344 | 65 | 96 |

Fonte: Elaboração própria.

*Instalação 2 - Sistema de refrigeração com amônia*

**Tabela 19: Distância alcançada pelos níveis de concentração tóxica de $NH_3$**

| Cenário acidental | Distância (m) até: | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1% fatal | | 50% fatal | |
| | Dia | Noite | Dia | Noite |
| **2.1** | 282 | 340 | 113 | 87 |
| **2.2** | 269 | 235 | 65 | 33 |

Fonte: Elaboração própria.

*Instalação 3 - Sistema de armazenamento e transferência de líquidos inflamáveis*

**Tabela 20: Distância alcançada pelos níveis de radiação térmica – Incêndio em poça**

| Cenário acidental | Distância (m) até: | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 12,5 kW/m²\ | | 37,5 kW/m² | |
| | Dia | Noite | Dia | Noite |
| **3.1** | 32 | 32 | --- | --- |
| **3.2** | 76 | 73 | 41 | 39 |
| **3.3** | 32 | 32 | | |

Fonte: Elaboração própria.

**Tabela 21: Distância alcançada pelo limite inferior de inflamabilidade (LII) – Incêndio em nuvem**

| Cenário acidental | Distância (m) até o LII: | |
|---|---|---|
| | Dia | Noite |
| **3.1** | 57 | 59 |
| **3.2** | 14 | 15 |
| **3.3** | 32 | 32 |

Fonte: Elaboração própria.

**Tabela 22: Distância alcançada pelos níveis de sobrepressão – Explosão não confinada**

| Cenário acidental | Distância (m) até: | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 0,1 bar | | 0,3 bar | |
| | Dia | Noite | Dia | Noite |
| **3.1** | 123 | 125 | 83 | 92 |
| **3.2** | 37 | 41 | 25 | 28 |
| **3.3** | 19 | 19 | 15 | 15 |

Fonte: Elaboração própria.

*Instalação 4 - Sistema de armazenamento e transferência de gás inflamável liquefeito*

**Tabela 23: Distância alcançada pelos níveis de radiação térmica – Jato de fogo**

| Cenário acidental | Distância (m) até: | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 12,5 kW/m²\ | | 37,5 kW/m² | |
| | Dia | Noite | Dia | Noite |
| **4.1** | --- | --- | --- | --- |
| **4.2** | 88 | 94 | 73 | 78 |

Fonte: Elaboração própria.

**Tabela 24: Distância alcançada pelo limite inferior de inflamabilidade (LII) – Incêndio em nuvem**

| Cenário acidental | Distância (m) até o LII: | |
|---|---|---|
| | Dia | Noite |
| **4.1** | 122 | 111 |
| **4.2** | 108 | 130 |

Fonte: Elaboração própria.

**Tabela 25: Distância alcançada pelos níveis de sobrepressão – Explosão não confinada**

| Cenário acidental | Distância (m) até: | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 0,1 bar | | 0,3 bar | |
| | Dia | Noite | Dia | Noite |
| **4.1** | 225 | 212 | 166 | 155 |
| **4.2** | 176 | 222 | 142 | 176 |

Fonte: Elaboração própria.

## Avaliação das Frequências de ocorrência

### *Frequência dos eventos iniciadores*

Os eventos iniciadores dos cenários acidentais postulados estão indicados na Tabela 26.

**Tabela 26: Eventos iniciadores dos cenários acidentais**

| Instalação | Cenário acidental | Evento iniciador |
|---|---|---|
| 1 | 1.1 Liberação de cloro devido a ruptura do cilindro | Ruptura em um dos seis cilindros |
| | 1.2 Liberação de cloro devido a ruptura do manifold | Ruptura do manifold de 30 metros de comprimento que contem 12 válvulas |
| 2 | 2.1 Liberação de amônia devido a ruptura do reservatório principal | Ruptura do reservatório principal ou nos vasos separadores |
| | 2.2 Liberação de amônia devido a ruptura da tubulação de transferência | Ruptura da tubulação de transferência de 300 metros de comprimento que contem 25 válvulas |
| 3 | 3.1 Liberação de gasolina devido a ruptura do tanque de armazenamento | Ruptura em um dos quatro tanques de armazenamento |
| | 3.2 Liberação de etanol devido a ruptura do tanque de armazenamento | Ruptura em um dos quatro tanques de armazenamento |
| | 3.3 Liberação de diesel devido a ruptura do tanque de armazenamento | Ruptura em um dos oito tanques de armazenamento |
| 4 | 4.1 Liberação de GLP devido a ruptura do vaso de armazenamento | Ruptura em um dos sete vasos de armazenamento |

| | | |
|---|---|---|
| | 4.2 Liberação de GLP devido a ruptura de tubulação de transferência | Ruptura da tubulação de transferência de 500 metros de comprimento que contem 30 válvulas |

Fonte: Elaboração própria.

As Tabelas 27 a 35 apresentam as frequências dos eventos iniciadores calculadas a partir das taxas básicas de falha e do número ou extensão dos componentes envolvidos.

*Instalação 1 - Estação de tratamento de águas com cloro*

**Tabela 27: Frequência do evento iniciador 1.1**

| **Componentes** | **Comprimento (m) ou n° de componentes** | **Frequência total de falha (/ano)** |
|---|---|---|
| Vaso | 6 | 1,20E-05 |
| **Frequência do evento iniciador: ∑fi** | | **1,20E-05** |

Fonte: Elaboração própria.

**Tabela 28: Frequência do evento iniciador 1.2**

| **Componentes** | **Comprimento (m) ou n° de componentes** | **Frequência total de falha (/ano)** |
|---|---|---|
| Tubulação | 30 | 9,00E-06 |
| Válvulas | 12 | 1,20E-04 |
| **Frequência do evento iniciador: ∑fi** | | **1,29E-04** |

Fonte: Elaboração própria.

*Instalação 2 - Sistema de refrigeração com amônia*

**Tabela 29: Frequência do evento iniciador 2.1**

| **Componentes** | **Comprimento (m) ou n° de componentes** | **Frequência total de falha (/ano)** |
|---|---|---|
| Vaso | 3 | 6,00E-06 |
| **Frequência do evento iniciador: ∑fi** | | **6,00E-06** |

Fonte: Elaboração própria.

**Tabela 30: Frequência do evento iniciador 2.2**

| Componentes | Comprimento (m) ou n° de componentes | Frequência total de falha (/ano) |
|---|---|---|
| Tubulação | 300 | 9,00E-05 |
| Válvulas | 25 | 2,50E-04 |
| **Frequência do evento iniciador: ∑fi** | | **3,40E-04** |

Fonte: Elaboração própria.

*Instalação 3 - Sistema de armazenamento e transferência de líquidos inflamáveis*

**Tabela 31: Frequência do evento iniciador 3.1**

| Componentes | Comprimento (m) ou n° de componentes | Frequência total de falha (/ano) |
|---|---|---|
| Tanque | 4 | 4,00E-04 |
| **Frequência do evento iniciador: ∑fi** | | **4,00E-04** |

Fonte: Elaboração própria.

**Tabela 32: Frequência do evento iniciador 3.2**

| Componentes | Comprimento (m) ou n° de componentes | Frequência total de falha (/ano) |
|---|---|---|
| Tanque | 4 | 4,00E-04 |
| **Frequência do evento iniciador: ∑fi** | | **4,00E-04** |

Fonte: Elaboração própria.

**Tabela 33: Frequência do evento iniciador 3.3**

| Componentes | Comprimento (m) ou n° de componentes | Frequência total de falha (/ano) |
|---|---|---|
| Tanque | 8 | 8,00E-04 |
| **Frequência do evento iniciador: ∑fi** | | **8,00E-04** |

Fonte: Elaboração própria.

*Instalação 4 - Sistema de armazenamento e transferência de GLP*

**Tabela 34: Frequência do evento iniciador 4.1**

| **Componentes** | **Comprimento (m) ou n° de componentes** | **Frequência total de falha (/ano)** |
|---|---|---|
| Vaso | 10 | 2,00E-05 |
| **Frequência do evento iniciador: ∑fi** | | **2,00E-05** |

Fonte: Elaboração própria.

**Tabela 35: Frequência do evento iniciador 4.2**

| **Componentes** | **Comprimento (m) ou n° de componentes** | **Frequência total de falha (/ano)** |
|---|---|---|
| Tubulação | 800 | 2,40E-04 |
| Válvulas | 40 | 4,00E-04 |
| **Frequência do evento iniciador: ∑fi** | | **6,40E-04** |

Fonte: Elaboração própria.

*Frequência dos cenários acidentais*

As frequências dos cenários acidentais estão calculadas a seguir:

Fcan = frequência do cenário acidental n;

Pdn = probabilidade do evento ocorrer de dia ou de noite;

Pdv = probabilidade de ocorrer em uma das oito direções do vento;

Pii = probabilidade de ocorrer ignição imediata;

Pir = probabilidade de ocorrer ignição retardada;

Pdet = probabilidade de ocorrer detonação.

*Instalação 1 - Estação de tratamento de águas com cloro*

Cenário 1.1

Formação de nuvem tóxica

Fca1.1=Fev1.1*Pdn*Pv = 6,25E-7 (dia)

Fca1.1=Fev1.1*Pdn*Pv = 8,75E-7 (noite)

Cenário 1.2

Formação de nuvem tóxica

Fca1.2=Fev1.2*Pdn*Pv = 6,72E-6 (dia)

Fca1.2=Fev1.2*Pdn*Pv = 9,41E-6 (noite)

*Instalação 2 - Sistema de refrigeração com amônia*

Cenário 2.1

Formação de nuvem tóxica

Fca2.1=Fev2.1*Pdn*Pv = 3,13E-7 (dia)

Fca2.1=Fev2.1*Pdn*Pv = 4,38E-7 (noite)

Cenário 2.2

Formação de nuvem tóxica

Fca2.2=Fev2.2*Pdn*Pv = 1,77E-5 (dia)

Fca2.2=Fev2.2*Pdn*Pv = 2,48E-5 (noite)

*Instalação 3 - Sistema de armazenamento e transferência de líquidos inflamáveis*

Cenário 3.1

Incêndio em poça

Fca3.1=Fev3.1*Pdn*Pii = 6,67E-06 (dia)

Fca3.1=Fev3.1*Pdn*Pii = 9,33E-06 (noite)

Incêndio em nuvem

Fca3.1=Fev3.1*Pdn*Pv*Pir*(1-Pdet) = 7,50E-07 (dia)

Fca3.1=Fev3.1*Pdn*Pv*Pir*(1-Pdet) = 1,05E-06 (noite)

Explosão não confinada

Fca3.1=Fev3.1*Pdn*Pv*Pir*Pdet = 8,33E-08 (dia)

Fca3.1=Fev3.1*Pdn*Pv*Pir*Pdet = 1,17E-07 (noite)

Cenário 3.2

Incêndio em poça

Fca3.2=Fev3.2*Pdn*Pii = 6,67E-06 (dia)

Fca3.2=Fev3.2*Pdn*Pii = 9,33E-06 (noite)

Incêndio em nuvem

Fca3.2=Fev3.2*Pdn*Pv*Pir*(1-Pdet) = 7,50E-07 (dia)

Fca3.2=Fev3.2*Pdn*Pv*Pir*(1-Pdet) = 1,05E-06 (noite)

Explosão não confinada

Fca3.2=Fev3.2*Pdn*Pv*Pir*Pdet = 8,33E-08 (dia)

Fca3.2=Fev3.2*Pdn*Pv*Pir*Pdet = 1,17E-07 (noite)

Cenário 3.3

Incêndio em poça

Fca3.3=Fev3.3*Pdn*Pii = 1,33E-05 (dia)

Fca3.3=Fev3.3*Pdn*Pii = 1,87E-05 (noite)

Incêndio em nuvem

Fca3.3=Fev3.3*Pdn*Pv*Pir*(1-Pdet) = 1,50E-06 (dia)

Fca3.3=Fev3.3*Pdn*Pv*Pir*(1-Pdet) = 2,10E-06 (noite)

Explosão não confinada

Fca3.3=Fev3.3*Pdn*Pv*Pir*Pdet = 1,67E-07 (dia)

Fca3.3=Fev3.3*Pdn*Pv*Pir*Pdet = 2,33E-07 (noite)

*Instalação 4 - Sistema de armazenamento e transferência de GLP*

Cenário 4.1

Incêndio em nuvem

Fca4.1=Fev4.1*Pdn*Pv*Pir*(1-Pdet) = 3,75E-08 (dia)

Fca4.1=Fev4.1*Pdn*Pv*Pir*(1-Pdet) = 5,25E-08 (noite)

Explosão não confinada

Fca4.1=Fev4.1*Pdn*Pv*Pir*Pdet = 4,17E-09 (dia)

Fca4.1=Fev4.1*Pdn*Pv*Pir*Pdet = 5,83E-09 (noite)

Cenário 4.2

Jato de fogo

Fca4.1=Fev4.1*Pdn*Pii = 1,07E-05 (dia)

Fca4.1=Fev4.1*Pdn*Pii = 1,49E-05 (noite)

Incêndio em nuvem

Fca4.2=Fev4.2*Pdn*Pv*Pir*(1-Pdet) = 1,20E-06 (dia)

Fca4.2=Fev4.2*Pdn*Pv*Pir*(1-Pdet) = 1,68E-06 (noite)

Explosão não confinada

Fca4.2=Fev4.2*Pdn*Pv*Pir*Pdet = 1,33E-07 (dia)

Fca4.2=Fev4.2*Pdn*Pv*Pir*Pdet = 1,87E-07 (noite)

## Avaliação dos riscos

### *Risco individual*

Os perfis de risco individual e os respectivos contornos de isorrisco estão apresentados nas Figuras 44 a 52. Nessas figuras, as projeções dos contornos de isorrisco foram feitas a partir dos sistemas das instalações analisadas, visto serem estas as áreas associadas aos cenários acidentais postulados. As regiões de risco foram definidas de acordo com o critério de tolerabilidade definido pela CETESB. As memórias de cálculo do risco individual estão apresentadas no Anexo B.

*Instalação 1 - Estação de tratamento de águas com cloro*

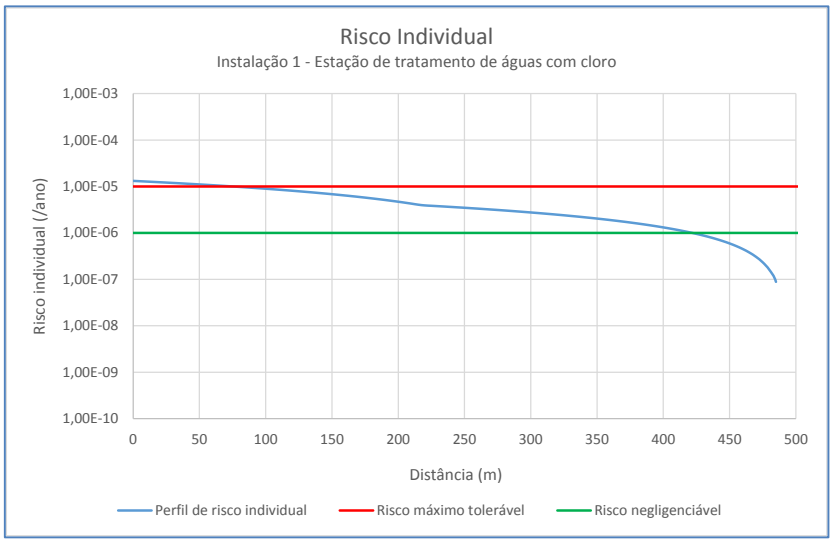



**Figura 44: Perfil de risco individual instalação 1**

Fonte: Elaboração própria.

Com base na observação da Figura 44 delimita-se como região de risco intolerável da fonte de liberação até o ponto que representa o nível de risco máximo tolerável (1,00E-5), ou seja, da fonte até 75 metros. A região denominada ALARP está compreendida entre os pontos de nível de risco máximo tolerável e o ponto de risco negligenciável, ou seja, de 75 metros até 420 metros. E a região de risco negligenciável configura-se do ponto de risco negligenciável em diante, ou seja, de 420 metros em diante.

A Figura 45 ilustra as regiões de risco para a instalação 1.

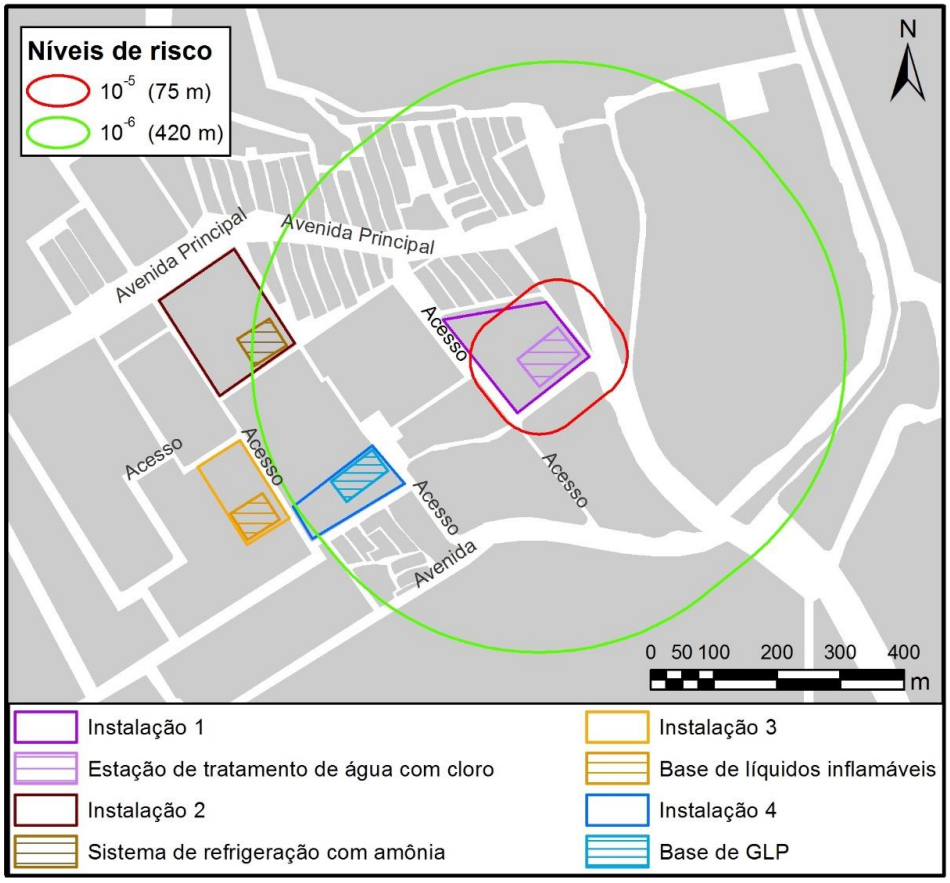



**Figura 45: Contornos de isorrisco para instalação 1**

Fonte: Elaboração própria.

*Instalação 2 - Sistema de refrigeração com amônia*

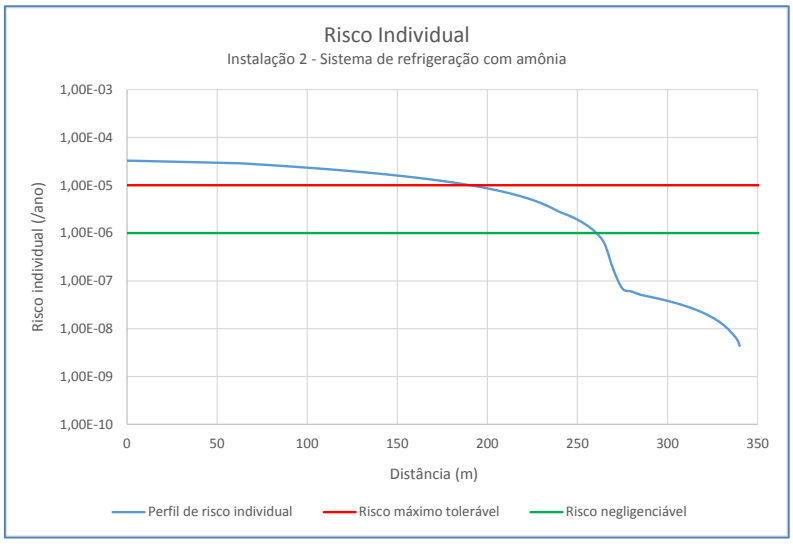



**Figura 46: Perfil de risco individual instalação 2**

Fonte: Elaboração própria.

Com base na observação da Figura 46 delimita-se como região de risco intolerável da fonte de liberação até o ponto que representa o nível de risco máximo tolerável (1,00E-5), ou seja, da fonte até 190 metros. A região denominada ALARP está compreendida entre os pontos de nível de risco máximo tolerável e o ponto de risco negligenciável, ou seja, de 190 metros até 260 metros. E a região de risco negligenciável configura-se do ponto de risco negligenciável em diante, ou seja, de 260 metros em diante.

A Figura 47 ilustra as regiões de risco para a instalação 2.

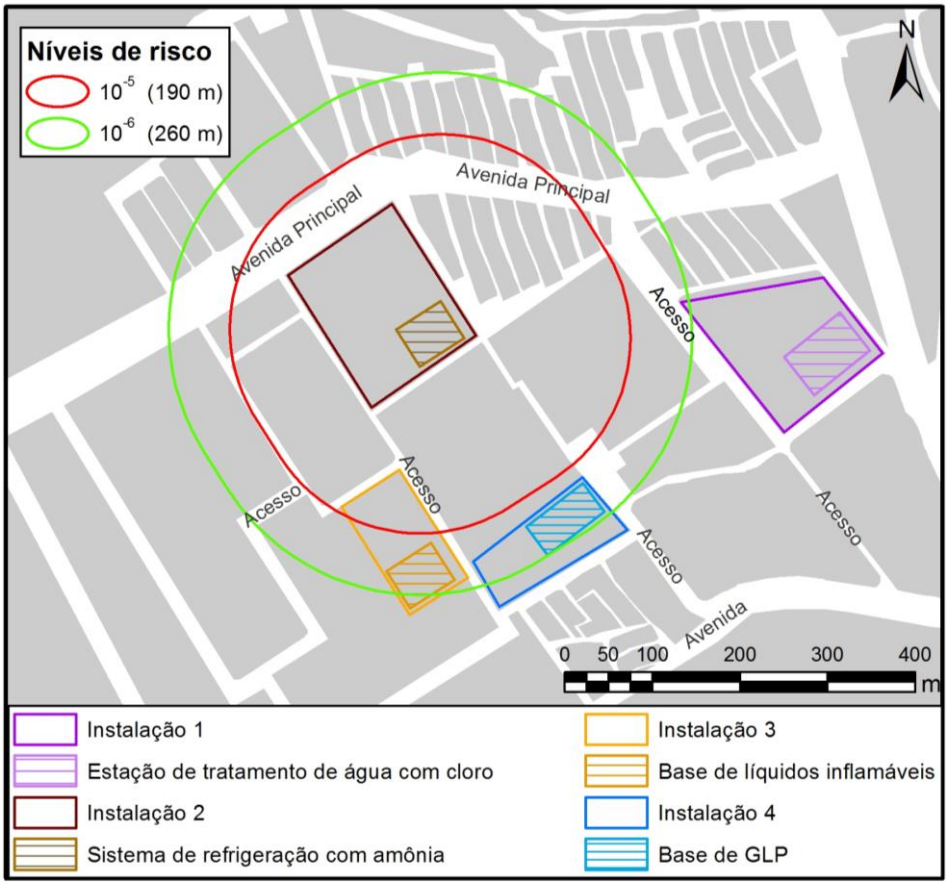



**Figura 47: Contornos de isorrisco para instalação 2**

Fonte: Elaboração própria.

*Instalação 3 - Sistema de armazenamento e transferência de líquidos inflamáveis*

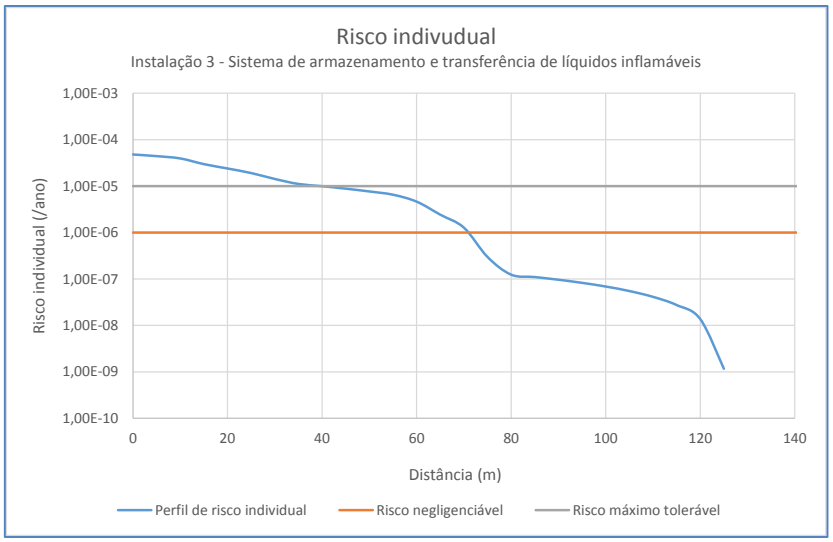



**Figura 48: Perfil de risco individual instalação 3**

Fonte: Elaboração própria.

Com base na observação da Figura 48 delimita-se como região de risco intolerável da fonte de liberação até o ponto que representa o nível de risco máximo tolerável (1,00E-5), ou seja, da fonte até 40 metros. A região denominada ALARP está compreendida entre os pontos de nível de risco máximo tolerável e o ponto de risco negligenciável, ou seja, de 40 metros até 70 metros. E a região de risco negligenciável configura-se do ponto de risco negligenciável em diante, ou seja, de 70 metros em diante.

A Figura 49 ilustra as regiões de risco para a instalação 3.

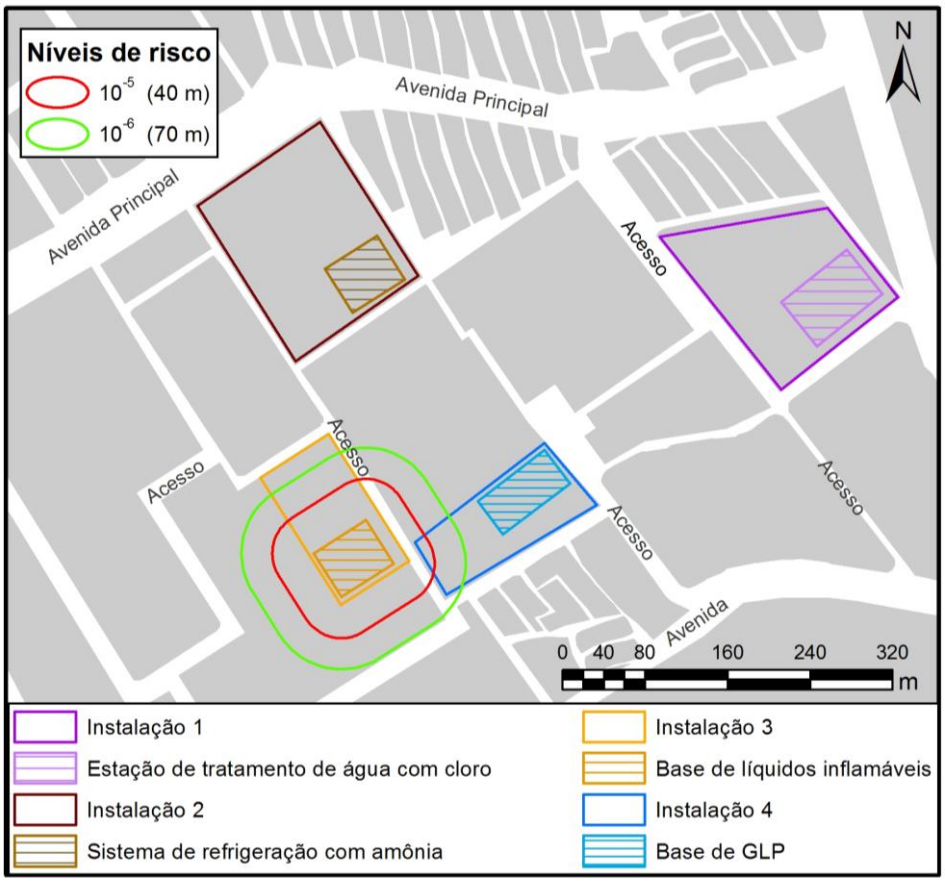



**Figura 49: Contornos de isorrisco para instalação 3**

Fonte: Elaboração própria.

*Instalação 4 - Sistema de armazenamento e transferência de GLP*

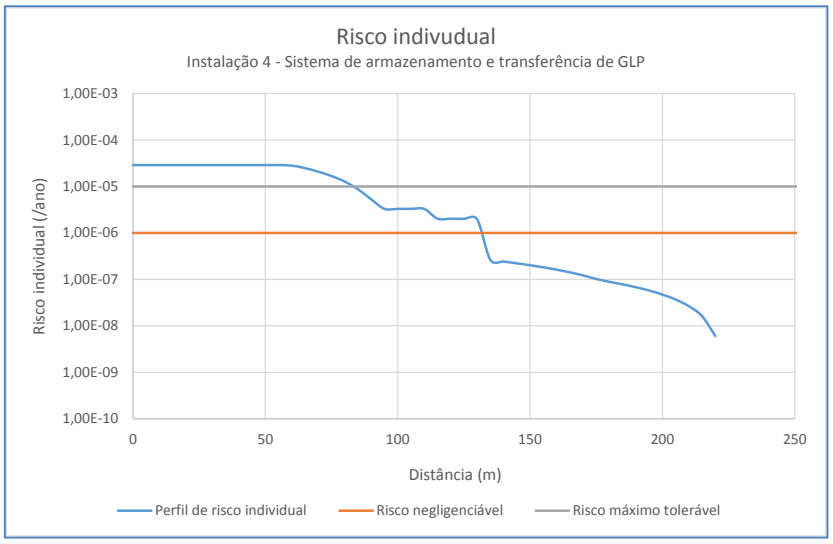



**Figura 50: Perfil de risco individual instalação 4**

Fonte: Elaboração própria.

Com base na observação da Figura 50 delimita-se como região de risco intolerável da fonte de liberação até o ponto que representa o nível de risco máximo tolerável (1,00E-5), ou seja, da fonte até 80 metros. A região denominada ALARP está compreendida entre os pontos de nível de risco máximo tolerável e o ponto de risco negligenciável, ou seja, de 80 metros até 130 metros. E a região de risco negligenciável configura-se do ponto de risco negligenciável em diante, ou seja, de 130 metros em diante.

A Figura 51 ilustra as regiões de risco para a instalação 4.

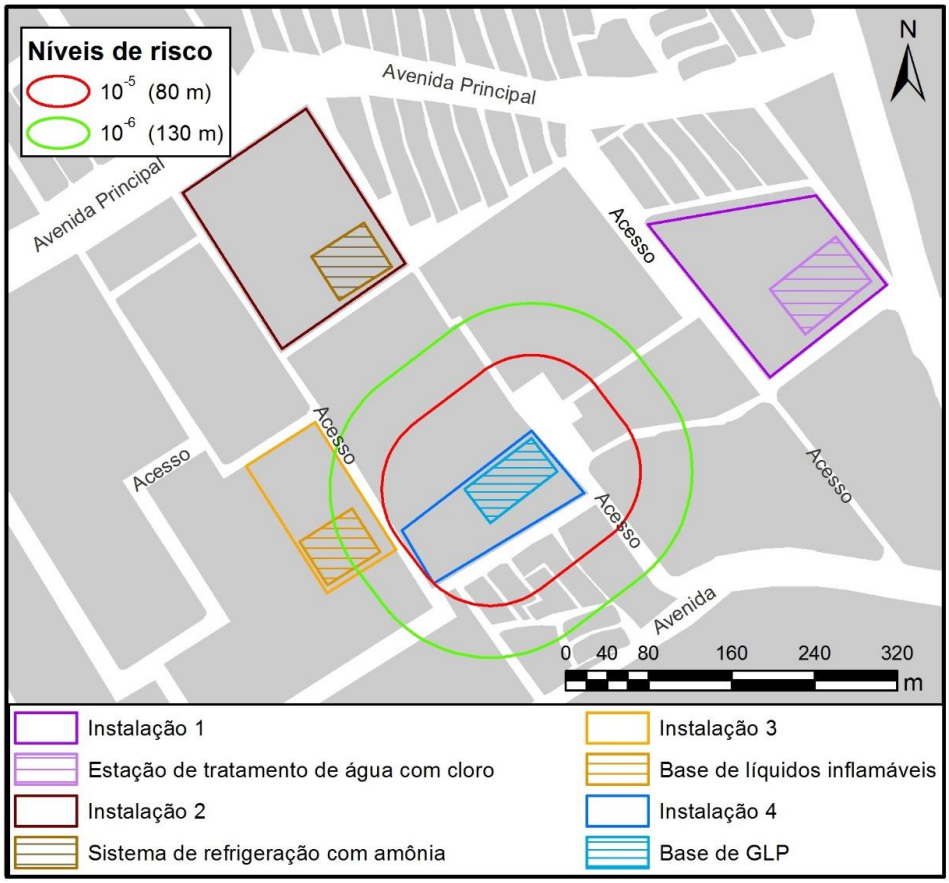



**Figura 51: Contornos de isorrisco para instalação 4**

Fonte: Elaboração própria.

*Avaliação integrada do risco individual para as instalações 1, 2, 3 e 4*

A Figura 52 ilustra a integração das regiões de risco para as instalações 1, 2, 3 e 4. A observação desta figura nos permite avaliar o aumento da região vulnerável aos riscos originados nas instalações, bem como o incremento de risco para os indivíduos situados nas áreas de influência comum, ou seja, nas áreas de interseção dos contornos de isorrisco. Estes indivíduos estão sujeitos a um incremento de risco que não mais aquele quando apenas uma instalação encontrava-se em avaliação.

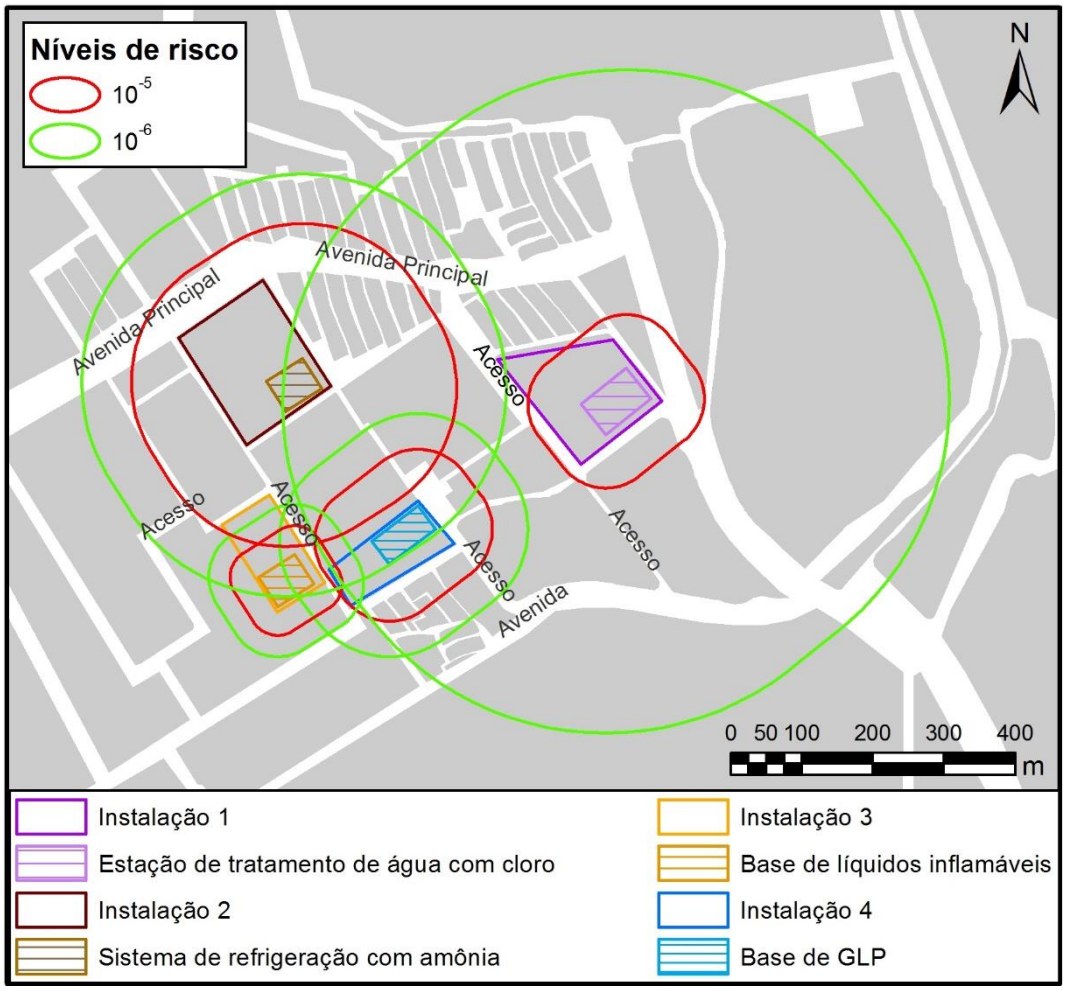



**Figura 52: Integração do risco individual para as instalações 1, 2, 3 e 4**

Fonte: Elaboração própria.

## ***Risco social***

*Instalação 1 - Estação de tratamento de águas com cloro*

Com base na Figura 33, foi realizada a contagem do número de residências situadas no interior dos raios de alcance dos cenários acidentais. Para a estimativa do número de morte foram adotados os critérios apresentados na descrição da metodologia. A Tabela 36 apresenta a estimativa do número de mortes de acordo com o cenário acidental considerado.

**Tabela 36: Número de mortes por cenário acidental**

| Cenário | | Frequência | Pessoas expostas | | Nº de mortes |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 75% fatalidade | 25% fatalidade | |
| CA1.1 | Dia | 6,25E-07 | 30 | 30 | 30 |
| CA1.2 | | 6,72E-06 | 60 | 30 | 53 |
| CA1.1 | Noite | 8,75E-07 | 60 | 60 | 60 |
| CA1.2 | | 9,41E-06 | 120 | 60 | 105 |

Fonte: Elaboração própria.

Com base na Tabela 36 foram realizados os cálculos para a obtenção da distribuição acumulada complementar também conhecida como curva FN. Os valores calculados para a frequência acumulada e seus respectivos números de morte estão apresentados na Tabela 37. A Figura 53 apresenta a curva FN comparada ao critério de tolerabilidade definido pela CETESB.

**Tabela 37: Frequência acumulada por número de mortes**

| Frequência acumulada | Nº mortes |
|---|---|
| 1,76E-05 | 1 |
| 1,76E-05 | 30 |
| 1,70E-05 | 53 |
| 1,03E-05 | 60 |
| 9,41E-06 | 105 |

Fonte: Elaboração própria.

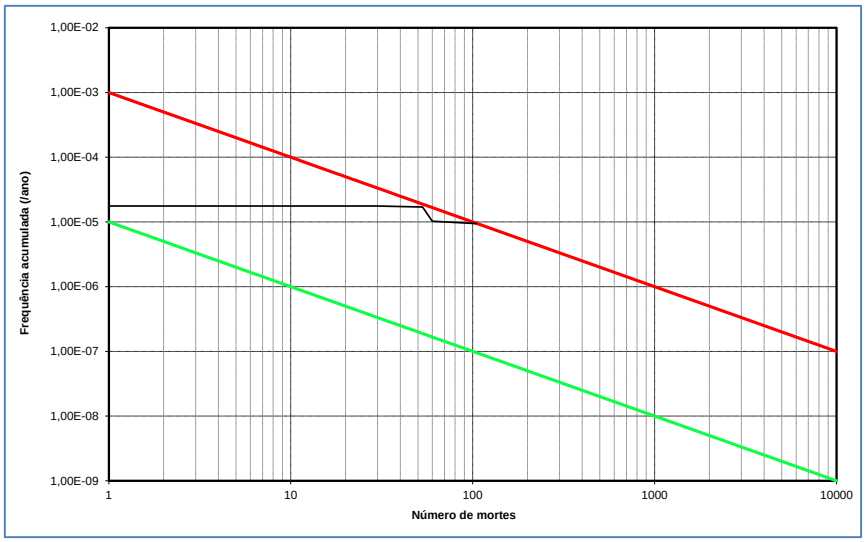



**Figura 53: Curva FN – Instalação 1**

Fonte: Elaboração própria.

De acordo com a figura acima observamos que a curva FN está situada inteiramente na região definida como ALARP de acordo com o critério de tolerabilidade adotado pela CETESB. No entanto esta curva situa-se muito próxima ao limiar de risco intolerável.

*Instalação 2 - Sistema de refrigeração com amônia*

Com base na Figura 33, foi realizada a contagem do número de residências situadas no interior dos raios de alcance dos cenários acidentais. Para a estimativa do número de morte foram adotados os critérios apresentados na descrição da metodologia. A Tabela 38 apresenta a estimativa do número de mortes de acordo com o cenário acidental considerado.

**Tabela 38: Número de mortes por cenário acidental**

| Cenário | | Frequência | Pessoas expostas | | Nº de mortes |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 75% fatalidade | 25% fatalidade | |
| CA2.1 | Dia | 3,13E-07 | 23 | 60 | 33 |
| CA2.2 | | 1,77E-05 | 23 | 75 | 36 |
| CA2.1 | Noite | 4,38E-07 | 105 | 60 | 94 |
| CA2.2 | | 2,48E-05 | 0 | 90 | 23 |

Fonte: Elaboração própria.

Com base na Tabela 38 foram realizados os cálculos para a obtenção da distribuição acumulada complementar também conhecida como curva FN. Os valores calculados para a frequência acumulada e seus respectivos números de morte estão apresentados na Tabela 39. A Figura 54 apresenta a curva FN comparada ao critério de tolerabilidade definido pela CETESB.

**Tabela 39: Frequência acumulada por número de mortes**

| Frequência acumulada | Nº mortes |
|---|---|
| 4,33E-05 | 1 |
| 4,33E-05 | 23 |
| 1,85E-05 | 32 |
| 1,81E-05 | 36 |
| 4,38E-07 | 94 |

Fonte: Elaboração própria.

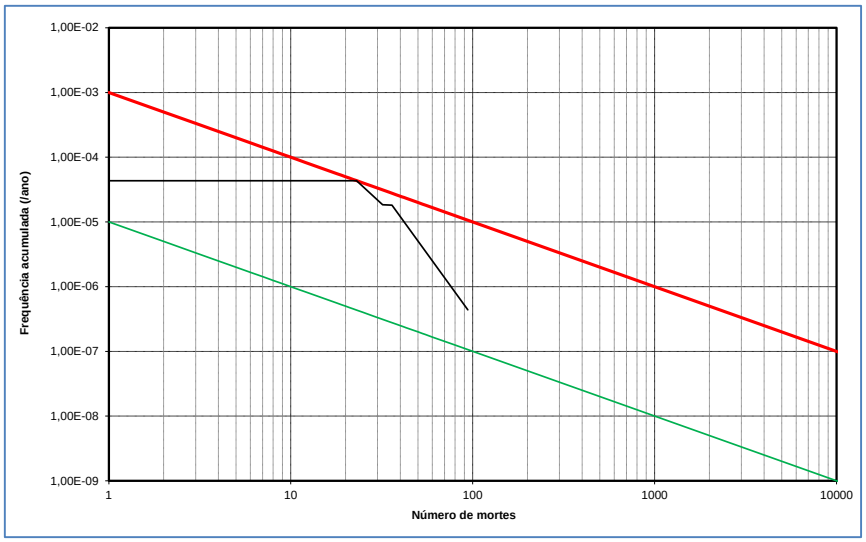



**Figura 54: Curva FN – Instalação 2**

Fonte: Elaboração própria.

De acordo com a figura acima observamos que a curva FN está situada inteiramente na região definida como ALARP de acordo com o critério de tolerabilidade adotado pela CETESB. No entanto está curva situa-se muito próxima ao limiar de risco intolerável.

*Instalação 3 - Sistema de armazenamento e transferência de líquidos inflamáveis*

Com base na Figura 33, foi realizada a contagem do número de residências situadas no interior dos raios de alcance dos cenários acidentais. Para a estimativa do número de morte foram adotados os critérios apresentados na descrição da metodologia. A Tabela 40 apresenta a estimativa do número de mortes de acordo com o cenário acidental considerado.

**Tabela 40: Número de mortes por cenário acidental**

| | Cenário | | Frequência | Pessoas expostas | | Nº de mortes |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 75% fatalidade | 25% fatalidade | |
| Incêndio em poça | CA3.1 | Dia | 6,67E-06 | 6,67E-06 | 0 | 30 |
| | CA3.2 | | 6,67E-06 | 6,67E-06 | 30 | 60 |
| | CA3.3 | | 1,33E-05 | 1,33E-05 | 0 | 30 |
| | CA3.1 | Noite | 9,33E-06 | 9,33E-06 | 0 | 60 |
| | CA3.2 | | 9,33E-06 | 9,33E-06 | 60 | 120 |
| | CA3.3 | | 1,87E-05 | 1,87E-05 | 0 | 60 |
| Incêndio em nuvem | CA3.1 | Dia | 7,50E-07 | 7,50E-07 | 60 | 60 |
| | CA3.2 | | 7,50E-07 | 7,50E-07 | 0 | 0 |
| | CA3.3 | | 1,50E-06 | 1,50E-06 | 0 | 0 |
| | CA3.1 | Noite | 1,05E-06 | 1,05E-06 | 120 | 120 |
| | CA3.2 | | 1,05E-06 | 1,05E-06 | 0 | 0 |
| | CA3.3 | | 2,10E-06 | 2,10E-06 | 0 | 0 |
| Explosão não confinada | CA3.1 | Dia | 8,33E-08 | 8,33E-08 | 60 | 60 |
| | CA3.2 | | 8,33E-08 | 8,33E-08 | 0 | 30 |
| | CA3.3 | | 1,67E-07 | 1,67E-07 | 0 | 0 |
| | CA3.1 | Noite | 1,17E-07 | 1,17E-07 | 180 | 180 |
| | CA3.2 | | 1,17E-07 | 1,17E-07 | 0 | 60 |
| | CA3.3 | | 2,33E-07 | 2,33E-07 | 0 | 0 |

Fonte: Elaboração própria.

Com base na Tabela 40 foram realizados os cálculos para a obtenção da distribuição acumulada complementar também conhecida como curva FN. Os valores calculados para a frequência acumulada e seus respectivos números de morte estão apresentados na Tabela 41. A Figura 55 apresenta a curva FN comparada ao critério de tolerabilidade definido pela CETESB.

**Tabela 41: Frequência acumulada por número de mortes**

| Frequência acumulada | Nº mortes |
|---|---|
| 6,62E-05 | 1 |
| 6,62E-05 | 8 |
| 4,61E-05 | 15 |
| 1,80E-05 | 38 |
| 1,13E-05 | 60 |
| 1,05E-05 | 75 |
| 1,17E-06 | 120 |
| 1,17E-07 | 180 |

Fonte: Elaboração própria.

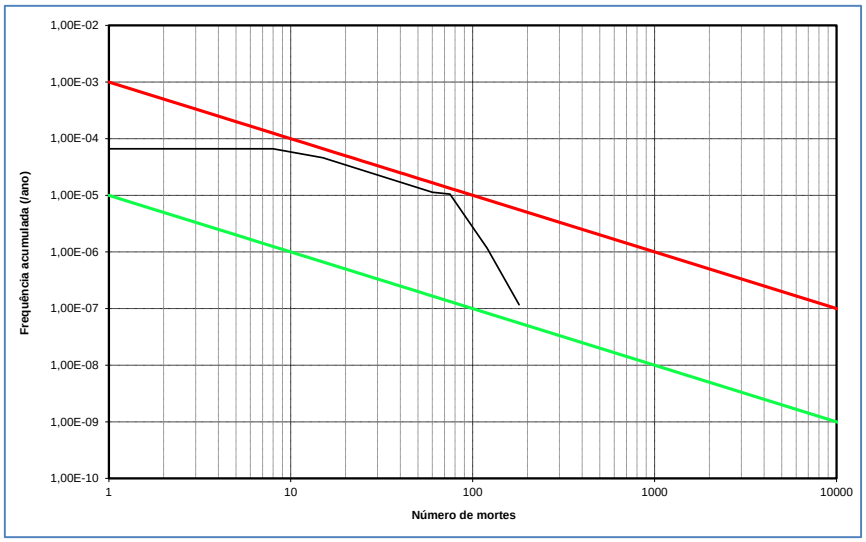



**Figura 55: Curva FN – Instalação 3**

Fonte: Elaboração própria.

De acordo com a figura acima observamos que a curva FN está situada inteiramente na região definida como ALARP de acordo com o critério de tolerabilidade adotado pela CETESB. No entanto está curva situa-se muito próxima ao limiar de risco intolerável.

*Instalação 4 - Sistema de armazenamento e transferência de GLP*

Com base na Figura 33, foi realizada a contagem do número de residências situadas no interior dos raios de alcance dos cenários acidentais. Para a estimativa do número de morte foram adotados os critérios apresentados na descrição da metodologia. A Tabela 42 apresenta a estimativa do número de mortes de acordo com o cenário acidental considerado.

**Tabela 42: Número de mortes por cenário acidental**

| | **Cenário** | | **Frequência** | **Pessoas expostas** | | **Nº de mortes** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | **75% fatalidade** | **25% fatalidade** | |
| Jato de fogo | CA4.1 | Dia | 0,00E+00 | 0 | 0 | 0 |
| | CA4.2 | | 1,07E-05 | 23 | 3 | 18 |
| | CA4.1 | Noite | 0,00E+00 | 0 | 0 | 0 |
| | CA4.2 | | 1,49E-05 | 45 | 15 | 38 |
| Incêndio em nuvem | CA4.1 | Dia | 3,75E-08 | 83 | 83 | 83 |
| | CA4.2 | | 1,20E-06 | 83 | 83 | 83 |
| | CA4.1 | Noite | 5,25E-08 | 150 | 150 | 150 |
| | CA4.2 | | 1,68E-06 | 180 | 180 | 180 |
| Explosão não confinada | CA4.1 | Dia | 4,17E-09 | 135 | 0 | 102 |
| | CA4.2 | | 1,33E-07 | 90 | 45 | 79 |
| | CA4.1 | Noite | 5,83E-09 | 225 | 45 | 180 |
| | CA4.2 | | 1,87E-07 | 270 | 0 | 203 |

Fonte: Elaboração própria.

Com base na Tabela 42 foram realizados os cálculos para a obtenção da distribuição acumulada complementar também conhecida como curva FN. Os valores calculados para a frequência acumulada e seus respectivos números de morte estão apresentados na Tabela 43. A Figura 56 apresenta a curva FN comparada ao critério de tolerabilidade adotado pela CETESB.

**Tabela 43: Frequência acumulada por número de mortes**

| Frequência acumulada | Nº mortes |
|---|---|
| 2,89E-05 | 1 |
| 2,89E-05 | 18 |
| 1,82E-05 | 38 |
| 3,30E-06 | 79 |
| 3,17E-06 | 83 |
| 1,93E-06 | 102 |
| 1,93E-06 | 150 |
| 1,87E-06 | 180 |
| 1,87E-07 | 203 |

Fonte: Elaboração própria.

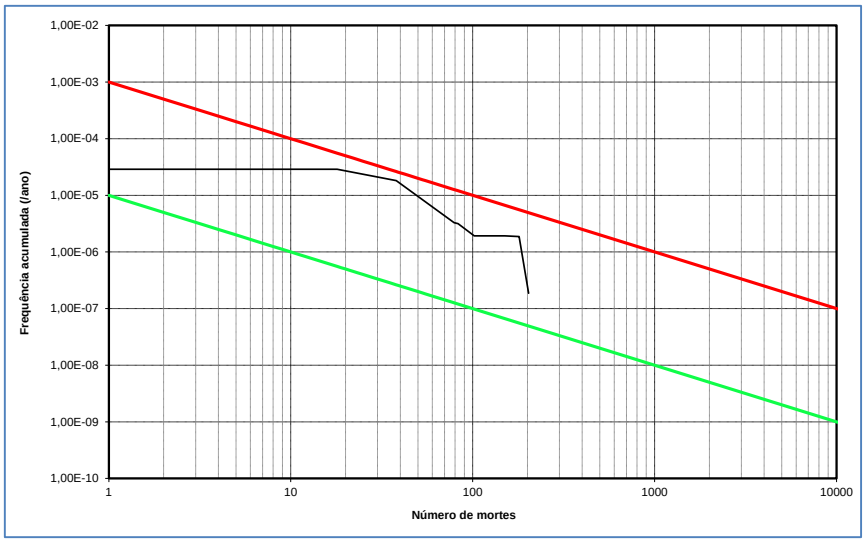



**Figura 56: Curva FN – Instalação 4**

Fonte: Elaboração própria.

De acordo com a figura acima observamos que a curva FN está situada inteiramente na região definida como ALARP de acordo com o critério de tolerabilidade adotado pela CETESB. No entanto está curva situa-se muito próxima ao limiar de risco intolerável.

*Avaliação integrada do risco social para as instalações 1, 2, 3 e 4*

A integração do risco social é feita a partir da frequência de ocorrência de cada cenário acidental e da estimativa do número de mortes entre a população exposta para cada instalação. As frequências dos cenários e a estimativa do número de pessoas expostas para as instalações 1, 2, 3 e 4 estão apresentados nas Tabelas 34, 36, 38 e 40, respectivamente.

Os valores calculados para a integração da frequência acumulada e seus respectivos números de morte estão apresentados na Tabela 44. A Figura 57 apresenta a curva FN da integração dos riscos comparada ao critério de tolerabilidade definido pela CETESB.

**Tabela 44: Frequência acumulada por número de mortes**

| Frequência acumulada | Nº mortes |
|---|---|
| 1,62E-04 | 1 |
| 1,62E-04 | 8 |
| 1,36E-04 | 15 |
| 1,08E-04 | 18 |
| 9,71E-05 | 23 |
| 7,23E-05 | 30 |
| 7,17E-05 | 33 |
| 7,14E-05 | 36 |
| 5,37E-05 | 38 |
| 3,21E-05 | 53 |
| 2,54E-05 | 60 |
| 2,36E-05 | 75 |
| 1,43E-05 | 79 |
| 1,42E-05 | 83 |
| 1,29E-05 | 94 |
| 1,25E-05 | 102 |
| 1,25E-05 | 105 |
| 3,09E-06 | 120 |
| 2,04E-06 | 150 |
| 1,99E-06 | 180 |
| 1,87E-07 | 203 |

Fonte: Elaboração própria.

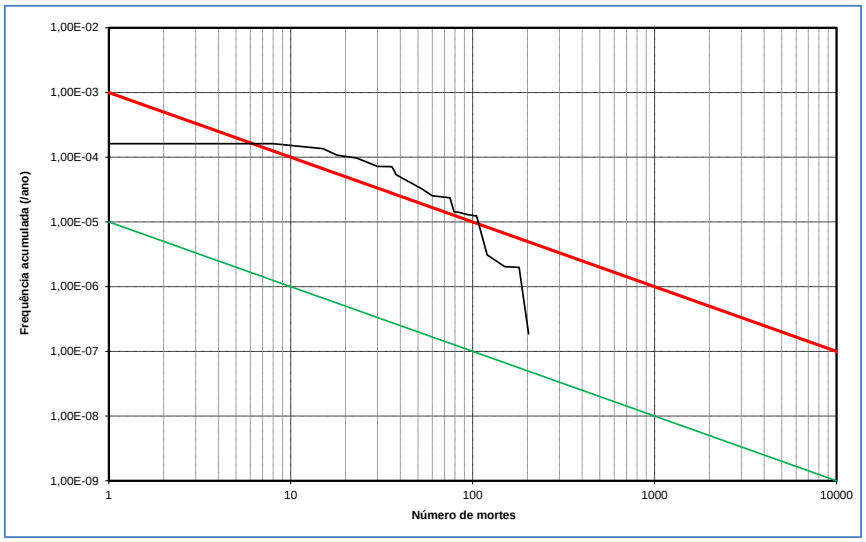



**Figura 57: Curva FN – Integração do risco social das instalações 1, 2, 3 e 4**

Fonte: Elaboração própria.

De acordo com a figura acima observamos que a curva FN, correspondente a integração dos riscos para as instalações 1, 2, 3 e 4, está situada na região de risco intolerável de acordo com o critério de tolerabilidade adotado pela CETESB. Nesta condição de risco a implantação das instalações seria inviável diante da ocupação da região. Com estes resultados demonstra-se como o risco é subestimado quando avaliado pontualmente para cada instalação.

### 4.2.2 Comparação dos Padrões de Tolerabilidade de Risco

Os resultados obtidos para o risco social da instalação 2 durante a avaliação da individualidade das análises quantitativas de risco estão reapresentados na Tabela 45.

**Tabela 45: Frequência acumulada por número de mortes**

| Frequência acumulada | Nº mortes |
|---|---|
| 4,33E-05 | 1 |
| 4,33E-05 | 23 |
| 1,85E-05 | 32 |
| 1,81E-05 | 36 |
| 4,38E-07 | 94 |

Fonte: Elaboração própria.

As figuras abaixo apresentam a curva FN comparada com os critérios de tolerabilidade de risco social definidos pelos órgãos ambientais dos estados de São Paulo, Bahia, Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro respectivamente.

*Estado de São Paulo - CETESB*

A Figura 58 apresenta a curva FN comparada ao critério de tolerabilidade adotado pela CETESB.

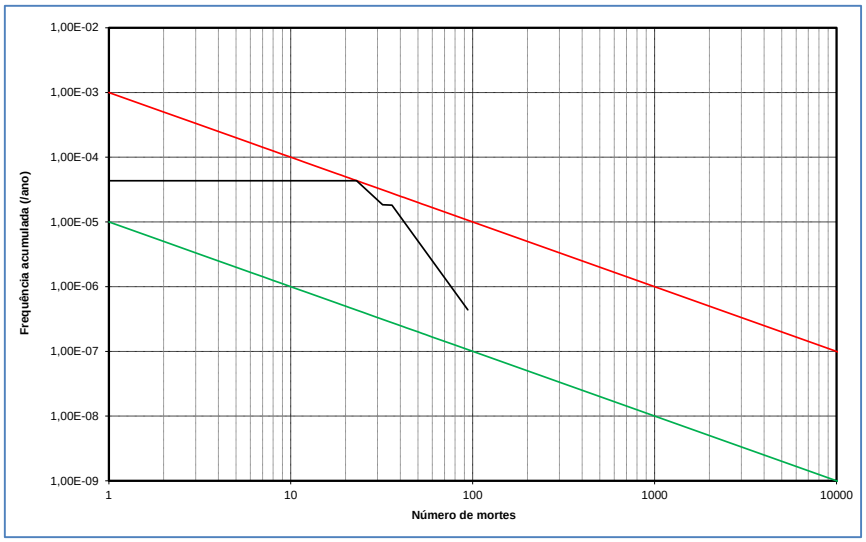



**Figura 58: Curva FN – Instalação 2, critério CETESB**

Fonte: Elaboração própria.

De acordo com a figura acima observamos que a curva FN está situada inteiramente na região definida como ALARP de acordo com o critério de tolerabilidade adotado pela CETESB. Nesta região os riscos devem ser reduzidos tanto quanto praticável.

*Estado da Bahia - CEPRAM*

A Figura 59 apresenta a curva FN comparada ao critério de tolerabilidade adotado pela CEPRAM.

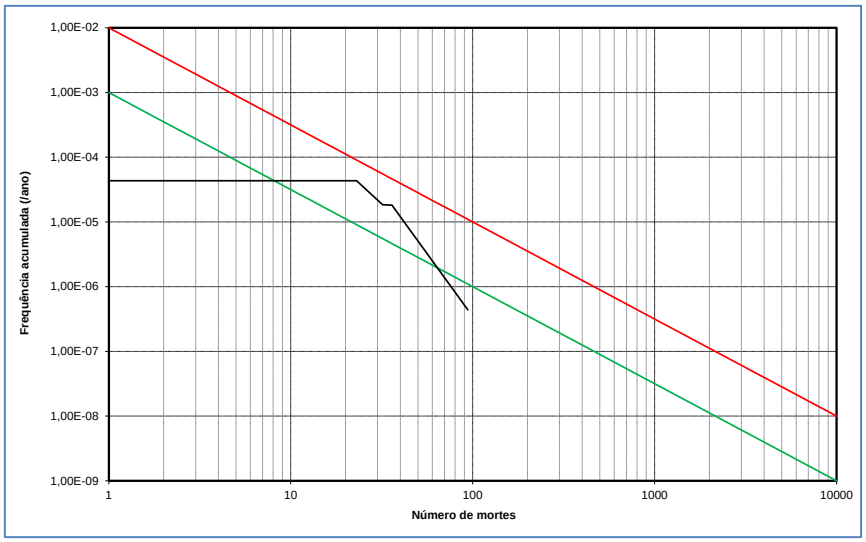



**Figura 59: Curva FN – Instalação 2, critério CEPRAM**

Fonte: Elaboração própria.

De acordo com a figura acima observamos que parte da curva FN está situada na região de risco aceitável e parte na região definida como ALARP de acordo com o critério de tolerabilidade adotado pela CEPRAM. A observação da figura permite concluir que este critério é menos restritivo do que o critério da CETESB.

*Estado do Rio Grande do Sul - FEPAM*

A Figura 60 apresenta a curva FN comparada ao critério de tolerabilidade adotado pela FEPAM.

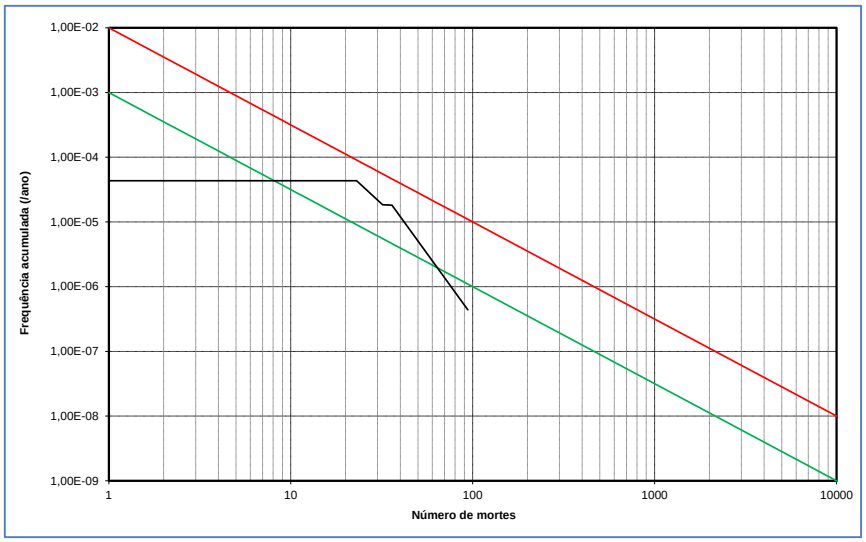



**Figura 60: Curva FN – Instalação 2, critério FEPAM**

Fonte: Elaboração própria.

De acordo com a figura acima observamos que parte da curva FN está situada na região de risco aceitável e parte na região definida como ALARP de acordo com o critério de tolerabilidade adotado pela FEPAM. A observação da figura permite concluir que este critério é igual ao critério da CEPRAM, no entanto ambos são menos restritivos do que o critério da CETESB.

*Estado do Rio de Janeiro - INEA*

A Figura 61 apresenta a curva FN comparada ao critério de tolerabilidade adotado pelo INEA para instalações novas.

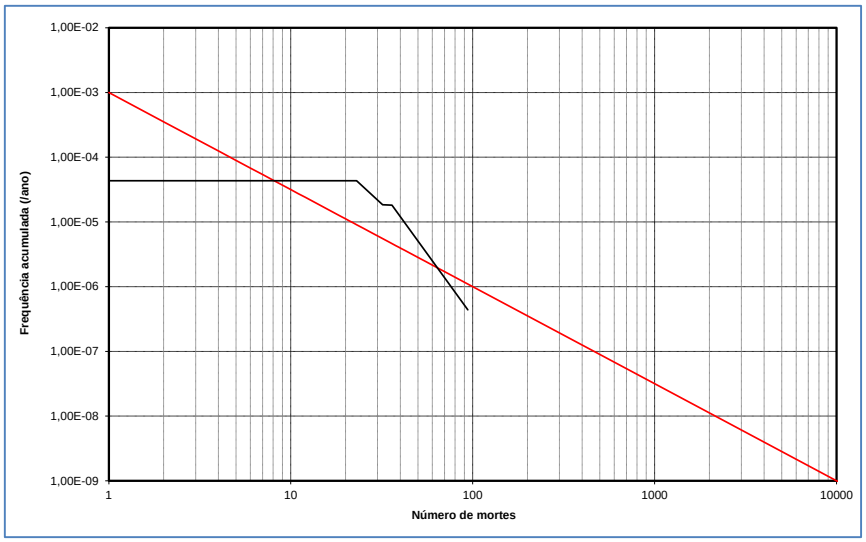



**Figura 61: Curva FN – Instalação 2, critério INEA instalações novas**

Fonte: Elaboração própria.

De acordo com a figura acima observamos que parte da curva FN está situada na região de risco aceitável e parte na região de risco inaceitável de acordo com o critério de tolerabilidade adotado pelo INEA. Observamos a inexistência da região ALARP segundo este critério. Dentre os critérios analisados este é o mais restritivo sendo o Rio de Janeiro o único estado em que não seria permitida a implantação da instalação.

A variação dos critérios de tolerabilidade além de inviabilizar a implantação de empreendimentos, demonstra a diferenciação na valoração da vida em diferentes regiões do Brasil.

Para que não ocorram estas distorções é necessário a criação de um padrão nacional para a avaliação de riscos e concessão de licenças ambientais. No entanto um padrão único para o país exigiria análises pontuais onde fossem ponderados os benefícios sociais decorrente da atividade e a inviabilidade de medidas para a redução do risco.

### 4.2.3 Avaliação do período de revisão das Análises Quantitativas de Risco e do Planejamento do Uso e Ocupação do Solo

*Momento da implantação*

O risco social calculado na seção 4.2.1 e reapresentado abaixo será utilizado para representar o momento da implantação da instalação.

A Tabela 46 apresenta a estimativa do número de pessoas expostas bem como o número de mortes de acordo com o cenário acidental considerado.

**Tabela 46: Número de mortes por cenário acidental**

| Cenário | | Frequência | Pessoas expostas | | Nº de mortes |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 75% fatalidade | 25% fatalidade | |
| CA1.1 | Dia | 3,13E-07 | 23 | 60 | 33 |
| CA1.2 | | 1,77E-05 | 23 | 75 | 36 |
| CA1.1 | Noite | 4,38E-07 | 105 | 60 | 94 |
| CA1.2 | | 2,48E-05 | 0 | 90 | 23 |

Fonte: Elaboração própria.

Com base na Tabela 46 foram realizados os cálculos para a obtenção da distribuição acumulada complementar também conhecida como curva FN. Os valores calculados para a frequência acumulada e seus respectivos números de morte estão apresentados na Tabela 47. A Figura 62 apresenta a curva FN no momento da implantação comparada ao critério de tolerabilidade definido pela CETESB.

**Tabela 47: Frequência acumulada por número de mortes**

| Frequência acumulada | Nº mortes |
|---|---|
| 4,33E-05 | 1 |
| 4,33E-05 | 23 |
| 1,85E-05 | 32 |
| 1,81E-05 | 36 |
| 4,38E-07 | 94 |

Fonte: Elaboração própria.

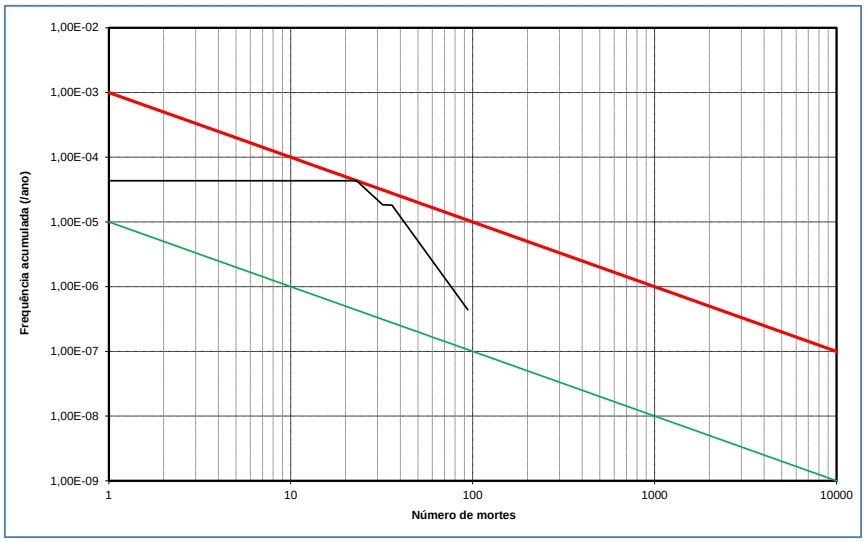



**Figura 62: Curva FN – Instalação 2 no momento da implantação**

Fonte: Elaboração própria.

*Momento da renovação da licença de operação*

Com base na Figura 35, foi realizada a contagem do número de residências situadas no interior dos raios de alcance dos cenários acidentais. Foi considerado que 100 pessoas frequentam a igreja no período da manhã e 200 frequentam no período da noite. A Tabela 48 apresenta a estimativa do número de mortes de acordo com o cenário acidental considerado.

**Tabela 48: Número de mortes por cenário acidental**

| **Cenário** | | **Freq.** | **Pessoas expostas** | | | | **Nº de mortes** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **Residência** | | **Igreja** | | |
| | | | **75% fatalidade** | **25% fatalidade** | **75% fatalidade** | **25% fatalidade** | |
| CA1.1 | Dia | 3,13E-07 | 23 | 60 | 0 | 100 | 57 |
| CA1.2 | | 1,77E-05 | 23 | 75 | 100 | 0 | 111 |
| CA1.1 | Noite | 4,38E-07 | 105 | 60 | 0 | 200 | 144 |
| CA1.2 | | 2,48E-05 | 0 | 90 | 0 | 200 | 73 |

Fonte: Elaboração própria.

Com base na Tabela 48 foram realizados os cálculos para a obtenção da distribuição acumulada complementar também conhecida como curva FN. Os valores calculados para a frequência acumulada e seus respectivos números de morte estão apresentados na Tabela 49. A Figura 63 apresenta a curva FN comparada ao critério de tolerabilidade adotado pela CETESB.

**Tabela 49: Frequência acumulada por número de mortes**

| Frequência acumulada | Nº mortes |
|---|---|
| 4,33E-05 | 1 |
| 4,33E-05 | 57 |
| 4,29E-05 | 73 |
| 1,81E-05 | 111 |
| 4,38E-07 | 144 |

Fonte: Elaboração própria.

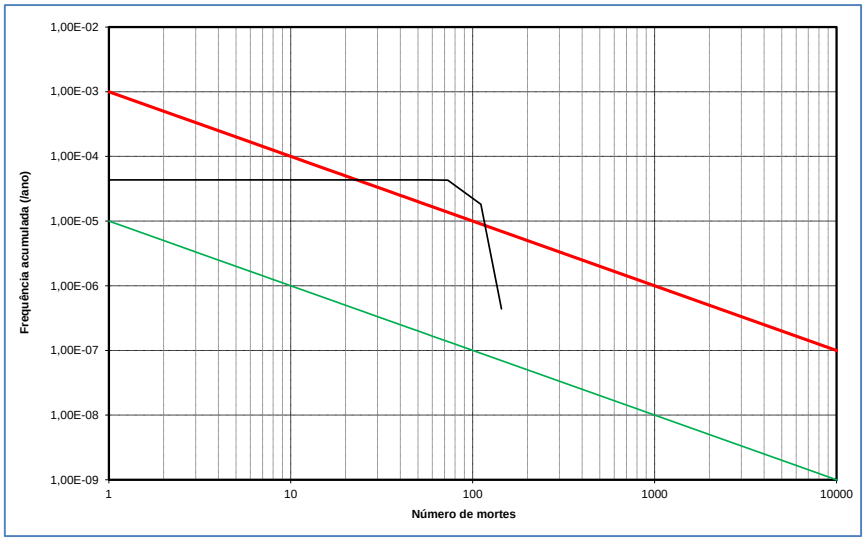



**Figura 63: Curva FN – Instalação 2 no momento da revisão da licença de operação**

Fonte: Elaboração própria.

De acordo com a figura acima observamos que a curva FN está situada na região de risco intolerável, segundo critério adotado pela CETESB. Está condição de intolerabilidade ocorre devido ao incremento de risco proporcionado pela criação da

igreja nas proximidades das instalações perigosas devido à falta de planejamento territorial.

Para a manutenção das condições de segurança da instalação serão necessários investimentos em medidas mitigadoras. No entanto verificamos que nem sempre esses investimentos são viáveis, levando a medidas extremas, que podem comprometer a continuidade das operações.

# 5.0 APLICAÇÃO DO MODELO DE GESTÃO TERRITORIAL BASEADA EM RISCO

Conforme descrito anteriormente, atualmente no Brasil não é realizado o planejamento do uso e ocupação do solo na vizinhança de instalações industriais. Diferente do Reino Unido que possui uma gestão territorial baseada em risco cuja a metodologia foi apresentada na seção 2.3.

Neste capitulo aplicaremos no estudo de caso do capitulo 4.0, a metodologia desenvolvida para o planejamento territorial no Reino Unido.

Serão utilizados os valores calculados para o risco individual e o mesmo arranjo espacial das instalações para a aplicação da metodologia.

A Figura 64 apresenta o resultado da aplicação da metodologia de planejamento territorial do Reino Unido no estudo de caso.

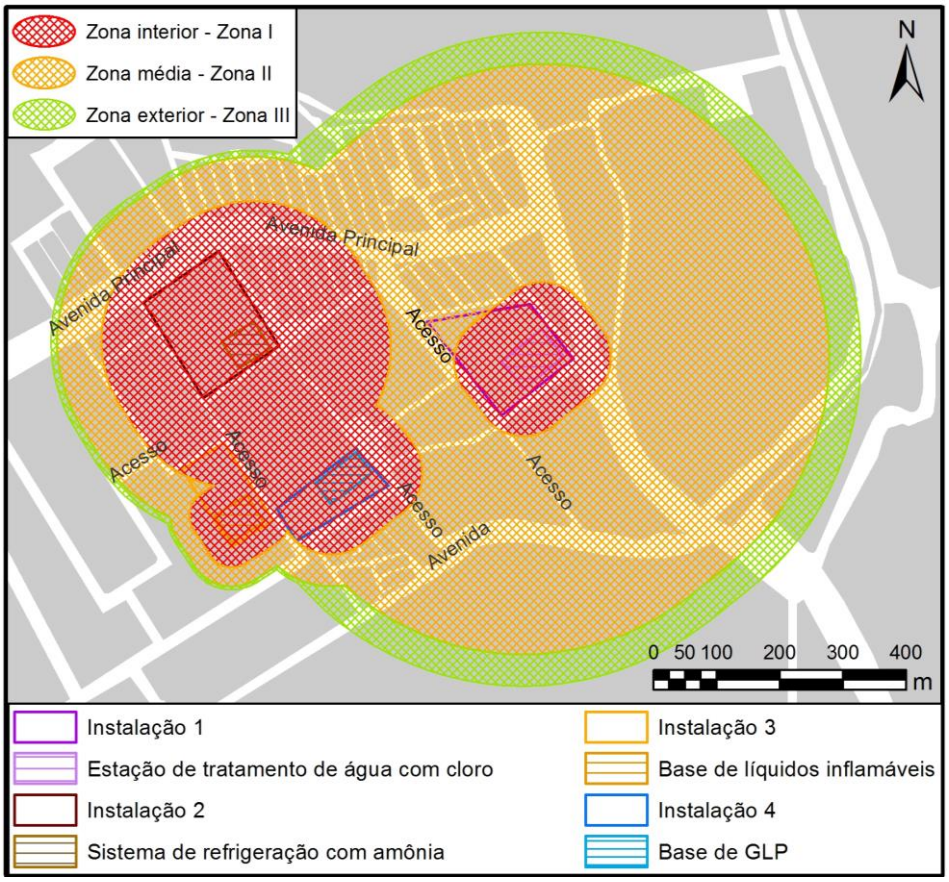



**Figura 64: Aplicação da metodologia de gestão territorial no Reino Unido no estudo de caso.**

Fonte: Elaboração própria.

De acordo com o resultado da aplicação da metodologia propõe-se a seguinte ocupação para as áreas de influência das instalações:

- Zona interior ou zona I, zona com hachuras vermelhas - ocupada por fábricas.
- Zona média ou zona II, zona com hachuras laranjas – ocupada por residências.
- Zona exterior ou zona III, zona com hachuras verdes – ocupada por residências e escolas.

Em nenhuma das três zonas é permitida a ocupação de instalações que concentrem um grande número de pessoas como por exemplo **igrejas, estádios de futebol ou grandes hospitais**.

## 6.0 CONCLUSÕES

Este estudo teve como principal objetivo avaliar de forma crítica como a análise quantitativa de risco (AQR) é utilizada para a gestão pública no Brasil.

Foram exemplificados acidentes industriais que tiveram consequências catastróficas não somente para os trabalhadores e para as instalações onde ocorreram, mas também para o seu entorno, afetando severamente populações e o meio ambiente. Os acidentes de Flixborough, Seveso, Bhopal, Cubatão, dentre outros, levaram vários países, especialmente os mais industrializados, ao estabelecimento de regulamentações para um maior controle sobre as atividades industriais. Nesse contexto, as AQRs começaram a ser utilizadas como uma ferramenta de apoio à tomada de decisão nos processos de gestão pública do risco.

Constatou-se que a AQR é uma valiosa ferramenta para determinar o risco da utilização, manuseio, transporte e armazenamento de substâncias perigosas, bem como para realizar o planejamento do uso e ocupação territorial.

Dentre os documentos de referência analisados, verifica-se que as etapas para o desenvolvimento de uma AQR são:

- Descrição do processo, da planta e da região
- Identificação de perigos
- Consolidação das hipóteses acidentais
- Estimativa de consequências
- Estimativa de frequências
- Avaliação de riscos

No Brasil a AQR é utilizada como ferramenta para a gestão pública durante os processos de licenciamento ambiental de instalações. Cabe aos órgãos ambientais municipais, estaduais e federais adotarem seus procedimentos e requisitos próprios para a consideração dos aspectos relacionados ao risco ambiental de uma instalação.

No entanto apenas o Rio de Janeiro, São Paulo, Rio Grande do Sul e Bahia dentre os 26 estados brasileiros possuem documentos de referência com a definição do conteúdo e as orientações para elaboração das Análises de Risco.

O resultado da análise crítica desses documentos identificou falhas que são cometidas pelos órgãos ambientais durante o processo de licenciamento. A primeira está

relacionada a individualidade das AQRs, neste caso o problema ocorre no momento em que o risco é avaliado separadamente para cada instalação. O correto seria avaliar o risco integrado de um conjunto de instalações. A avaliação de forma individualizada fornece um risco subdimensionado, uma vez que um indivíduo ou uma sociedade está na realidade submetida ao risco proporcionado por todas as instalações em sua proximidade. Deste modo o risco real, ou melhor, o que mais se aproxima da realidade, é aquele no qual a avaliação é realizada de forma integrada para todas as instalações de uma área de influência.

A segunda falha ocorre devido à falta de um padrão nacional de tolerabilidade de risco o que leva a diferentes resultados, podendo uma instalação ter seu risco aceitável em um estado e inaceitável em outro.

A definição dos critérios de tolerabilidade depende de um julgamento por vezes subjetivo e pessoal, envolvendo temas complexos, como por exemplo, a percepção dos riscos, que varia consideravelmente de indivíduo para indivíduo. O estabelecimento de um padrão nacional de tolerabilidade é importante na medida em que cria uma uniformidade para a avaliação de empreendimentos com potencial de causar grandes danos à sociedade brasileira, no qual a valoração da vida humana deverá ser a mesma em todas as regiões do país.

A terceira e última falha identificada está relacionada ao período de revisão das AQRs e ao planejamento do uso e ocupação do solo. É comum observamos a ocupação indiscriminada de áreas próximas às instalações industriais. Este fato ocorre devido à falta de interconectividade entre as avaliações de risco e o planejamento do uso e ocupação territorial. Deste modo as AQRs são utilizadas de maneira restrita, somente para o auxílio à tomada de decisão para a concessão da licença.

Na ausência de uma gestão do uso e ocupação do solo o empreendedor fica impossibilitado de prever o risco que sua instalação irá impor à sociedade, podendo no futuro ter seu empreendimento inviabilizado devido à ocupação indiscriminada de áreas vizinhas.

A falta desta gestão também expõe pessoas não envolvidas com a operação das instalações a riscos de acidentes ampliados. Geralmente a ocupação da vizinhança de instalações industriais ocorre devido à expectativa de crescimento econômico da

região. Estas pessoas desconhecem os riscos que as instalações oferecem, logo é de responsabilidade dos órgãos públicos brasileiros o planejamento e controle da ocupação territorial.

O estudo de caso realizado no capitulo 4 demonstra, por meio de um caso prático, como os órgãos ambientais trabalham os resultados das análises e como ocorrem os problemas citados anteriormente.

Foi formulada a hipótese de um *layout* com quatro instalações com área de influência comum. Os riscos das quatro instalações foram calculados individualmente e de forma integrada. O resultado da integração do risco individual das instalações mostra o incremento de risco nas áreas de interseção dos contornos de issorrisco. Os resultados da integração do risco social deslocam a curva FN para uma região de inaceitabilidade. Desta forma demonstra-se a maneira como o risco é subestimado quando avaliado individualmente por instalação.

A ausência de um padrão nacional de tolerabilidade levou a diferentes resultados, uma instalação analisada possui o risco aceitável nos estados de São Paulo, Rio Grande do Sul e Bahia porem inaceitável no estado do Rio de Janeiro.

A falta de planejamento do uso e ocupação territorial dos municípios gera insegurança para as instalações devido à incerteza da condição de risco futura ocasionada pelas ocupações irregulares. Demonstrou-se que basta a instalação de uma única igreja nas proximidades das quatro instalações para deslocar a curva para uma condição de inaceitabilidade dos riscos. A aplicação do modelo de gestão territorial do Reino Unido no *layout* das instalações demonstrou a viabilidade de realizar a gestão territorial baseada em risco.

Desta forma, conclui-se a necessidade de uma revisão da forma de utilização das AQRs nos processos de licenciamento ambiental e a criação de um documento, único, nacional, com instruções para a elaboração das Análises de Risco, de modo que tenhamos uma ferramenta efetiva para a gestão ambiental e territorial no Brasil.

## 7.0 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Como sugestões de estudos futuros recomendam-se:

Elaborar um termo de referência nacional para a elaboração de análises quantitativas de risco.

Avaliar a criação de um padrão nacional de tolerabilidade dos riscos, assim como suas limitações.

Integrar estudos existentes, já aprovados pelos órgãos ambientais, cujas as análises foram realizadas individualmente durante o processo de licenciamento. Apresentar os resultados para os órgãos ambientais.

Demonstrar por meio de outros softwares o estudo de caso desta dissertação.

## 8.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARENDT, J.S.; LORENZO, D.K. (2000). **Evaluating Process Safety In The Chemical Industry – A user guide to quantitative risk analysis.** American Chemistry Council and Center for Chemical Process Safety.

CCPS (1989). **Guidelines for Process Equipment Reliability Data**. Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, New York.

CCPS (1992). **Guidelines for Hazard Evaluation Procedures**. Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, New York.

CCPS (1994). **Guidelines for Preventing Human Error in Process Safety**. Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, New York.

CCPS (1995). **Understanding Atmospheric Dispersion of Accidental Releases**. Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, New York.

CCPS (1996). **Guidelines for Evaluating Process Plant Buildings for External Explosions and Fires**. Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, New York.

CCPS (1996). **Use of Vapor Cloud Dispersion Models**. Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, New York.

CCPS (2000). **Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis**. Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, New York.

CETESB (2003). **Norma CETESB P4.261 – 2003 - Manual de Orientação para a elaboração de Estudos de Análise de Riscos**. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2003.

CETESB (2006). **Análise, Avaliação e Gerenciamento de Riscos**. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2006.

CEPRAM (2009). **Norma Técnica NT – 01/2009 – Gerenciamento de Risco no Estado da Bahia**. Bahia: Conselho Estadual do Ambiente, 2009.

CHIABÒ, J. S. **Segurança em Instalações Offshore*:* Conscientização, Capacitação e Educação.** TPQB/EQ. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

CHRISTOU, D.M.; MATTARELLI, M. **Land-use Planning in the Vicinity of Chemical Sites: Risk-informed Decision Making at a Local Community Level.** Journal of Hazardous Materials, 1999.

CONAMA (1997). Resolução Nº 237, de 16 de dezembro de 1997. Conselho Nacional do Meio Ambiente.

CROWL, D. A. LOUVAR, J. F. (2002). **Chemical Process Safety**. Prentice Hall International Series in the Physical and Chemical Engineering Sciences. Second Edition. 2002.

DEMAJOROVIC, J (2006). **Geração e Distribuição de Riscos: acesso a informações e a questão da vulnerabilidade dos países em desenvolvimento**. Universidad de Huelva, PORTULARIA VOL. VI, Nº 2-2006, [39-58], ISSN 1578-0236.

DNV Software (2014). **PHAST 7.01**. Software para cálculo de consequências,versão 7.01.

DUIJNE, F. H.; AKEN, D; SCHOUTEN, E. (2008). **Considerations in developing complete and quantified methods for risk assessment**. Safety Science, Elsevier, 2008.

ECKHOFF, R. K. (2005). **Explosion Hazards in the Process Industries**. Gulf Publishing Company.

EISENBERG N. A. (1975). **Vulnerability model. A Simulation System for Assessing Damage Resulting from Marine Spills.** U.S. Department of Commerce, 1975.

FAWCETT. H. H., 1981, **“The changing nature of acute chemical hazards: A historical perspective”**, Journal of Hazardous Materials, v. 4, pp. 313-319.

FEPAM (2001). **Manual de Análise de Riscos Industriais.** Porto Alegre: Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. 2001.

FREITAS, C; PORTE, M. F. S; MACHADO, J, M. (2000). **Acidentes químicos ampliados: desafios e perspectivas para o controle e a prevenção**. A questão dos acidentes ampliados. Rio de Janeiro. Editora Fiocruz, 2000.

FREITAS, C. M.; PORTE, M. F. S.; GOMEZ, C. M. **Acidentes químicos ampliados: um desafio para a saúde pública**, Centro de Estudo da Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana, Escola Nacional de Saúde Pública (Fiocruz), Rio de Janeiro, Brasil, 1995.

FULLWOOD, R. R., (2000). **Probabilistic Safety Assessment in the Chemical and Nuclear Industries**. Butterworths Heinemann.

FUNDACENTRO e Ministério do Trabalho e Emprego (2002). **Prevenção de Acidentes Industriais Maiores.** Contribuição da OIT para o Programa Internacional de Segurança Química do PNUMA, OIT e OMS (IPCS).

GABOR, T., 1981, **“Mutual aid systems in the United States for chemical emergencies”**, Journal of Hazardous Materials, v. 4.

GADD, S.A.; KEELEY, D.M.; BALMFORTH. H.F. (2004). **Pitfalls in risk assessment: examples from the UK**. Safety Science, Elsevier, (2004).

GARRICK, B. J.; CHRISTIEB, R. F. (2002). **Probabilistic Risk Assessment Practices in the USA for Nuclear Power Plants**. Safety Science, 2002.

GARRICK, B. J. (2002). **The use of risk assessment to evaluate waste disposal facilities in the United States of America**. Safety Science, Elsevier, 2002.

HSE. **HSE’s Current Approach to Land use Planning (LUP) - Policy & Practice.** Health and Safety Executive.

HSE (2001). **Reducing Risks, Protecting People.** Health and Safety Executive.

HSE (2002). **Application of QRA in Operational Safety Issues.** Health and Safety Executive.

HSE (2009). **An independent review of HSE methodology for assessing societal risk.** Health and Safety Executive.

HSE (2011). **HSE's land use planning methodology.** Health and Safety Executive.

HSE (2012). **The major accident failure rates project.** Health and Safety Executive.

INEA (2012). Termo de Referência para Elaboração de Estudo de Análise de Risco para Instalações Convencionais. Rio de Janeiro: Instituto Estadual do Ambiente. 2012.

KELLER, W.; MODARRES, M., (2005). **A historical overview of probabilistic risk assessment development and its use in the nuclear power industry: a tribute to the late Professor Norman Carl Rasmussen**. Reliability Engineering and System Safety. Science Direct, 2005.

KLETZ, Trevor A. (1998). **"What Went Wrong ? – Cases of Process Plant Disasters"**. Gulf Publishing Company, 1998.

LESS, F. P. (1996). **Loss Prevention in the Process Industries – Hazard Identification, Assessment and Control**. Butterworths Heinemann.

MHIDAS. **Major Hazzard Incident Data Service**, Reino Unido, 2007.

MIL-STD-882D (2000). **Standard Practice for System Safety.** U. S. Department of Defense, 2000.

MODESTO DOS SANTOS, F.; MARAMDOLA JR., E. (2012). **Risco ambiental e vulnerabilidade do lugar: um estudo sobre o entorno do Tebar em São Sebastião, litoral de São Paulo.** São Paulo, 2012.

NUREG (1981). **Fault Tree Handbook.** U. S. Nuclear Regulatory Commission, 1981.

RIVM. National Institute of Public Health and the Environment. **Reference Manual Bevi Risk Assessment**, rev. 3.2, Holanda, 2009.

SOUZA JUNIOR, A. B. **Planejamento de Emergência para Acidentes Industriais com Consequências Externas: Experiência Internacional e a Situação Brasileira.** COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

SUDDLE, S (2009).**The weighted risk analysis**. Safety Science, Elsevier (2009).

TNO (1989). **Methods for the determination of possible damage (Green Book), CPR 16E.** First Edition, The Netherlands Organizational of Applied Scientific Research, The Netherlands, 1989.

TRBOJEVIC, V.M. **Risk Criteria in EU**. Risk Support Limited, London, 2005.

VANEM, E. (2012). **Ethics and fundamental principles of risk acceptance criteria**. Safety Science. Elsevier.

VROM (2005). **Methods for the Calculation of Physical Effects (Yellow Book), Publication Series on Dangerous Substances (PGS 2).** Second edition, The State Secretary of Housing Spatial Planning and the Environment, The Netherlands, 2005.

VROM (2005). **Guidelines for quantitative risk assessment (Purple Book), Publication Series on Dangerous Substances (PGS 3).** Third edition, The State Secretary of Housing Spatial Planning and the Environment, The Netherlands, 2005.

VROM (2005). **Methods for Determining and Processing Probabilities (Red Book), Publication Series on Dangerous Substances (PGS 4).** Second edition, The State Secretary of Housing Spatial Planning and the Environment, The Netherlands, 2005.

WALAS, S. M. (1990). **Chemical Process Equipment, Selection and Design**. Butterworths Heinemann.

WILEY & SONS, J. (2003). **Foundations of Risk Analysis: A Knowledge and Decision Oriented Perspective.** University of Stavanger, Noruega, 2003.

# Anexo A

## Relatórios das modelagens matemáticas PHAST

**Estudo de caso cloro**

**Study**

**CA1\CA 1%**

**Base Case**

**CASE Name:** **Data**

**Path:** Study\CA1\CA 1%

**User-Defined Data**

**Scenario**

**Release location**

| | | |
|---|---|---|
| [Tank head | 0 | m] |
| [Elevation | 1 | m] |

**Material**

**Material**

| | |
|---|---|
| [User selected Flam/Toxic/Both results flag | Toxic] |

**Phase**

| | |
|---|---|
| [Phase to be released | Liquid] |

**Discharge parameters**

**Droplet breakup mechanism**

| | |
|---|---|
| [Droplet break-up mechanism - instantaneous | Use flashing correlation] |

**Dispersion**

**Averaging time for reports**

| | | |
|---|---|---|
| ERPG [1 hr] | No | |
| IDLH [30 mins] | Yes | |
| STEL [15 mins] | No | |

**Dispersion scope**

| | | |
|---|---|---|
| Concentration of interest | 105 | ppm |
| User-specified averaging time index for width and height calcul | 1hr averaging time | |
| Specify user-defined averaging time | No | |

**Bund, building and terrain: Default terrain**

**Dispersing surface**

| | | |
|---|---|---|
| [Surface over which the dispersion occurs | Land] | |
| [Surface roughness length | User-defined] | |
| [User-defined length | 183,156 | mm] |

**Bund, building and terrain: No bund**

**Bund properties**

| | | |
|---|---|---|
| [Bund height | 0 | m] |
| [Bund area | 0 | m2] |

| | | |
|---|---|---|
| [Bund failure modeling | Bund cannot fail] | |
| **Surface for pools** | | |
| [Type of surface for pools | Concrete] | |
| **Bund, building and terrain** | | |
| **Building definition** | | |
| [Specify the release building type | Yes] | |
| **Bund, building and terrain: Galpao** | | |
| **Dimensions** | | |
| [Building height | 4 | m] |
| Building width | 8 | m |
| Building length | 15 | m |
| **In-building release** | | |
| [Ventilation type | Natural ventilation] | |
| [Air changes | 3 | /hr] |
| [Handling of droplets | Not trapped] | |
| **Indoor toxic modelling** | | |
| [Building exchange rate | 4 | /hr] |
| [Tail time | 1800 | s] |
| [Wind speed dependent | From Building] | |
| **Toxic parameters** | | |
| **Exposure time data** | | |
| [Set averaging time equal to exposure time | Use a fixed averaging time] | |
| **Indoor toxic calculations** | | |
| [Specify the downwind building | Unselected] | |
| **Toxic contours** | | |
| [Number of toxic levels | 4] | |
| [Dose levels(1) | 130000] | |
| [Dose levels(2) | 1,3E+06] | |
| [Dose levels(3) | 1,3E+07] | |
| [Dose levels(4) | 1,3E+08] | |
| [Probit levels(1) | 2] | |
| [Probit levels(2) | 3] | |
| [Probit levels(3) | 4] | |
| [Probit levels(4) | 10] | |
| [Lethality levels(1) | 0,001 | fraction] |
| [Lethality levels(2) | 0,01 | fraction] |
| [Lethality levels(3) | 0,1 | fraction] |
| [Lethality levels(4) | 1 | fraction] |
| **Flammable** | | |

**Fireball emissive power**

| | |
|---|---|
| Use vessel burst pressure | No |

**Ignition and explosion**

| | |
|---|---|
| [Supply late ignition location | No ignition location] |
| [Explosion method | TNT] |

**Jet fire method**

| | |
|---|---|
| [Jet fire method | Cone model] |

**Explosion parameters**

**TNT parameters**

| | |
|---|---|
| [Air or ground burst | Air burst] |
| [Default TNT explosion efficiency | 0,1 fraction] |

**Vapour liquid method**

| | |
|---|---|
| [Use of explosion mass modification factor | Early and late explosions] |
| [Liquid mass modification factor for flammable mass | 3] |

**Path:** Study\CA1\CA 1%

**DISCHARGE DATA for Weather:** Weather folder\Dia

| | | |
|---|---|---|
| Wind Speed: | 3,00 | m/s |
| Wind Speed at Height (Calculated) | 2,20 | m/s |
| Pasquill Stability: | C | |

**USER-DEFINED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Material | CHLORINE | |
| Scenario | Catastrophic rupture | |
| Inventory | 900,00 | kg |
| Fixed Duration | n/a | s |

Stagnation data (data at upstream end for long pipe):

| | | |
|---|---|---|
| - Pressure | 7,81 | bar |
| - Temperature | 25,00 | degC |
| - Fluid State | Saturated liquid | |

**CALCULATED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Mass Flow of Air (Vent from Vapor Space only) | n/a | |
| Mass Flowrate | | kg/s |
| Release Duration | n/a | s |

Orifice or pipe exit data (before atmospheric expansion):

| | | |
|---|---|---|
| - Pressure | n/a | bar |
| - Temperature | n/a | degC |
| - Vena Contracta Velocity (exit velocity for pipe releases) | n/a | m/s |
| - Discharge Coefficient | n/a | |

Final data (after atmospheric expansion):

| | | |
|---|---|---|
| - Temperature | -33,99 | degC |

| | | |
|---|---|---|
| - Liquid Mass Fraction | 0,83 | fraction |
| - Droplet Diameter | 194,14 | um |
| - Expanded Radius | n/a | m |
| - Velocity | 109,78 | m/s |

**DISCHARGE DATA for Weather:** Weather folder\Noite

| | | |
|---|---|---|
| Wind Speed: | 2,00 | m/s |
| Wind Speed at Height (Calculated) | 0,98 | m/s |
| Pasquill Stability: | E | |

**USER-DEFINED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Material | CHLORINE | |
| Scenario | Catastrophic rupture | |
| Inventory | 900,00 | kg |
| Fixed Duration | n/a | s |

Stagnation data (data at upstream end for long pipe):

| | | |
|---|---|---|
| - Pressure | 7,81 | bar |
| - Temperature | 25,00 | degC |
| - Fluid State | Saturated liquid | |

**CALCULATED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Mass Flow of Air (Vent from Vapor Space only) | n/a | |
| Mass Flowrate | | kg/s |
| Release Duration | n/a | s |

Orifice or pipe exit data (before atmospheric expansion):

| | | |
|---|---|---|
| - Pressure | n/a | bar |
| - Temperature | n/a | degC |
| - Vena Contracta Velocity (exit velocity for pipe releases) | n/a | m/s |
| - Discharge Coefficient | n/a | |

Final data (after atmospheric expansion):

| | | |
|---|---|---|
| - Temperature | -33,99 | degC |
| - Liquid Mass Fraction | 0,83 | fraction |
| - Droplet Diameter | 194,14 | um |
| - Expanded Radius | n/a | m |
| - Velocity | 109,78 | m/s |

## Consequence Results

### Distance to Concentration Results

**Path:** Study\CA1\CA 1%

The height for user defined concentrations is the user defined height 0 m
All toxic results are reported at the toxic effect height 0 m
All flammable results are reported at the cloud centreline height

| Concentration(ppm) | Averaging Time | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| User Conc (105) | 600 | s | 153,553 | 344,316 |

| Concentration(ppm) | Averaging Time | | | Heights (m) for above distances |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| User Conc (105) | 600 | s | 0 | 0 |

### Distance to Equivalent Toxic Dose

**Path:** Study\CA1\CA 1%

Toxic Calculation Method = Mixture probit

| Concentration(ppm) | Reference Time | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| User Conc (105) | 600 | s | 176,408 | 412,297 |

### Weather Conditions

**Path:** Study\CA1\CA 1%

| | | Dia | Noite |
|---|---|---|---|
| Wind Speed | m/s | 3 | 2 |
| Pasquill Stability | | C | E |
| Atmospheric Temperature | degC | 25 | 20 |
| Surface Temperature | degC | 30 | 25 |
| Relative Humidity | fraction | 0,8 | 0,8 |

**CA1\CA 50%**

**Base Case**

**CASE Name:** **Data**

**Path:** Study\CA1\CA 50%

**User-Defined Data**

**Scenario**

**Release location**

| | | |
|---|---|---|
| [Tank head | 0 | m] |
| [Elevation | 1 | m] |

**Material**

**Material**

| | |
|---|---|
| [User selected Flam/Toxic/Both results flag | Toxic] |

**Phase**

| | |
|---|---|
| [Phase to be released | Liquid] |

**Discharge parameters**

**Droplet breakup mechanism**

| | |
|---|---|
| [Droplet break-up mechanism - instantaneous | Use flashing correlation] |

**Dispersion**

**Averaging time for reports**

| | | |
|---|---|---|
| ERPG [1 hr] | No | |
| IDLH [30 mins] | Yes | |
| STEL [15 mins] | No | |

**Dispersion scope**

| | | |
|---|---|---|
| Concentration of interest | 574 | ppm |
| User-specified averaging time index for width and height calcul | Toxic averaging time | |
| Specify user-defined averaging time | No | |

**Bund, building and terrain: Default terrain**

**Dispersing surface**

| | | |
|---|---|---|
| [Surface over which the dispersion occurs | Land] | |
| [Surface roughness length | User-defined] | |
| [User-defined length | 183,156 | mm] |

**Bund, building and terrain: No bund**

**Bund properties**

| | | |
|---|---|---|
| [Bund height | 0 | m] |
| [Bund area | 0 | m2] |
| [Bund failure modeling | Bund cannot fail] | |

**Surface for pools**

| | |
|---|---|
| [Type of surface for pools | Concrete] |

**Bund, building and terrain**

**Building definition**

| | | |
|---|---|---|
| [Specify the release building type | Yes] | |

**Bund, building and terrain: Galpao**

**Dimensions**

| | | |
|---|---|---|
| [Building height | 4 | m] |
| Building width | 8 | m |
| Building length | 15 | m |

**In-building release**

| | | |
|---|---|---|
| [Ventilation type | Natural ventilation] | |
| [Air changes | 3 | /hr] |
| [Handling of droplets | Not trapped] | |

**Indoor toxic modelling**

| | | |
|---|---|---|
| [Building exchange rate | 4 | /hr] |
| [Tail time | 1800 | s] |
| [Wind speed dependent | From Building] | |

**Toxic parameters**

**Exposure time data**

| | | |
|---|---|---|
| [Set averaging time equal to exposure time | Use a fixed averaging time] | |

**Indoor toxic calculations**

| | | |
|---|---|---|
| [Specify the downwind building | Unselected] | |

**Toxic contours**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of toxic levels | 4] | |
| [Dose levels(1) | 130000] | |
| [Dose levels(2) | 1,3E+06] | |
| [Dose levels(3) | 1,3E+07] | |
| [Dose levels(4) | 1,3E+08] | |
| [Probit levels(1) | 2] | |
| [Probit levels(2) | 3] | |
| [Probit levels(3) | 4] | |
| [Probit levels(4) | 10] | |
| [Lethality levels(1) | 0,001 | fraction] |
| [Lethality levels(2) | 0,01 | fraction] |
| [Lethality levels(3) | 0,1 | fraction] |
| [Lethality levels(4) | 1 | fraction] |

**Flammable**

**Fireball emissive power**

| | | |
|---|---|---|
| Use vessel burst pressure | No | |

**Ignition and explosion**

| | | |
|---|---|---|
| [Supply late ignition location | No ignition location] | |
| [Explosion method | TNT] | |

**Jet fire method**

| | | |
|---|---|---|
| [Jet fire method | Cone model] | |

**Explosion parameters**

**TNT parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Air or ground burst | Air burst] | |
| [Default TNT explosion efficiency | 0,1 | fraction] |

**Vapour liquid method**

| | | |
|---|---|---|
| [Use of explosion mass modification factor | Early and late explosions] | |
| [Liquid mass modification factor for flammable mass | 3] | |

**Path:** Study\CA1\CA 50%

**DISCHARGE DATA for Weather:** Weather folder\Dia

| | | |
|---|---|---|
| Wind Speed: | 3,00 | m/s |
| Wind Speed at Height (Calculated) | 2,20 | m/s |
| Pasquill Stability: | C | |

**USER-DEFINED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Material | CHLORINE | |
| Scenario | Catastrophic rupture | |
| Inventory | 900,00 | kg |
| Fixed Duration | n/a | s |

Stagnation data (data at upstream end for long pipe):

| | | |
|---|---|---|
| - Pressure | 7,81 | bar |
| - Temperature | 25,00 | degC |
| - Fluid State | Saturated liquid | |

**CALCULATED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Mass Flow of Air (Vent from Vapor Space only) | n/a | |
| Mass Flowrate | | kg/s |
| Release Duration | n/a | s |

Orifice or pipe exit data (before atmospheric expansion):

| | | |
|---|---|---|
| - Pressure | n/a | bar |
| - Temperature | n/a | degC |
| - Vena Contracta Velocity (exit velocity for pipe releases) | n/a | m/s |
| - Discharge Coefficient | n/a | |

Final data (after atmospheric expansion):

| | | |
|---|---|---|
| - Temperature | -33,99 | degC |
| - Liquid Mass Fraction | 0,83 | fraction |
| - Droplet Diameter | 194,14 | um |
| - Expanded Radius | n/a | m |
| - Velocity | 109,78 | m/s |

**DISCHARGE DATA for Weather:** Weather folder\Noite

| | | |
|---|---|---|
| Wind Speed: | 2,00 | m/s |
| Wind Speed at Height (Calculated) | 0,98 | m/s |
| Pasquill Stability: | E | |

**USER-DEFINED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Material | CHLORINE | |
| Scenario | Catastrophic rupture | |
| Inventory | 900,00 | kg |
| Fixed Duration | n/a | s |
| Stagnation data (data at upstream end for long pipe): | | |
| - Pressure | 7,81 | bar |
| - Temperature | 25,00 | degC |
| - Fluid State | Saturated liquid | |

**CALCULATED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Mass Flow of Air (Vent from Vapor Space only) | n/a | |
| Mass Flowrate | | kg/s |
| Release Duration | n/a | s |
| Orifice or pipe exit data (before atmospheric expansion): | | |
| - Pressure | n/a | bar |
| - Temperature | n/a | degC |
| - Vena Contracta Velocity (exit velocity for pipe releases) | n/a | m/s |
| - Discharge Coefficient | n/a | |
| Final data (after atmospheric expansion): | | |
| - Temperature | -33,99 | degC |
| - Liquid Mass Fraction | 0,83 | fraction |
| - Droplet Diameter | 194,14 | um |
| - Expanded Radius | n/a | m |
| - Velocity | 109,78 | m/s |

## Consequence Results

### Distance to Concentration Results

**Path:** Study\CA1\CA 50%

The height for user defined concentrations is the user defined height 0 m
All toxic results are reported at the toxic effect height 0 m
All flammable results are reported at the cloud centreline height

| Concentration(ppm) | Averaging Time | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| User Conc (574) | 600 | s | 64,7703 | 96,4143 |

| Concentration(ppm) | Averaging Time | | | Heights (m) for above distances |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| User Conc (574) | 600 | s | 0 | 0 |

### Distance to Equivalent Toxic Dose

**Path:** Study\CA1\CA 50%

Toxic Calculation Method = Mixture probit

| Concentration(ppm) | Reference Time | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| User Conc (574) | 600 | s | 72,0821 | 117,224 |

### Weather Conditions

**Path:** Study\CA1\CA 50%

| | | Dia | Noite |
|---|---|---|---|
| Wind Speed | m/s | 3 | 2 |
| Pasquill Stability | | C | E |
| Atmospheric Temperature | degC | 25 | 20 |
| Surface Temperature | degC | 30 | 25 |
| Relative Humidity | fraction | 0,8 | 0,8 |

**CA2\Leak 1%**

**Base Case**

**CASE Name:** **Data**

**Path:** Study\CA2\Leak 1%

**User-Defined Data**

**Scenario**

**Hole**

| | | |
|---|---|---|
| Orifice diameter | 50,8 | mm |
| Use specified discharge coefficient? | No | |

**Release location**

| | | |
|---|---|---|
| [Tank head | 0 | m] |
| [Elevation | 1 | m] |

**Material**

**Material**

| | |
|---|---|
| [User selected Flam/Toxic/Both results flag | Toxic] |

**Phase**

| | |
|---|---|
| [Phase to be released | Liquid] |

**Discharge parameters**

**Droplet breakup mechanism**

| | |
|---|---|
| [Droplet break-up mechanism - instantaneous | Use flashing correlation] |
| [Droplet break-up mechanism - continuous | Do not force correlation] |

**Model settings**

| | |
|---|---|
| [Atmospheric expansion method | Closest to initial conditions] |
| [Is flashing allowed to the orifice? | No flashing in the orifice] |

**Dispersion**

**Averaging time for reports**

| | |
|---|---|
| ERPG [1 hr] | No |
| IDLH [30 mins] | Yes |
| STEL [15 mins] | No |

**Dispersion scope**

| | | |
|---|---|---|
| Concentration of interest | 105 | ppm |
| User-specified averaging time index for width and height calculation | Total averaging time | |
| Specify user-defined averaging time | No | |

**Bund, building and terrain: Default terrain**

**Dispersing surface**

| | | |
|---|---|---|
| [Surface over which the dispersion occurs | Land] | |
| [Surface roughness length | User-defined] | |
| [User-defined length | 183,156 | mm] |

**Bund, building and terrain: No bund**

**Bund properties**

| | | |
|---|---|---|
| [Bund height | 0 | m] |
| [Bund area | 0 | m2] |
| [Bund failure modeling | Bund cannot fail] | |

**Surface for pools**

| | | |
|---|---|---|
| [Type of surface for pools | Concrete] | |

**Bund, building and terrain**

**Building definition**

| | | |
|---|---|---|
| [Specify the release building type | Yes] | |

**Bund, building and terrain: Galpao**

**Dimensions**

| | | |
|---|---|---|
| [Building height | 4 | m] |
| Building width | 8 | m |
| Building length | 15 | m |

**In-building release**

| | | |
|---|---|---|
| [Ventilation type | Natural ventilation] | |
| [Air changes | 3 | /hr] |
| [Handling of droplets | Not trapped] | |

**Indoor toxic modelling**

| | | |
|---|---|---|
| [Building exchange rate | 4 | /hr] |
| [Tail time | 1800 | s] |
| [Wind speed dependent | From Building] | |

**Toxic parameters**

**Exposure time data**

| | | |
|---|---|---|
| [Set averaging time equal to exposure time | Use a fixed averaging time] | |

**Indoor toxic calculations**

| | | |
|---|---|---|
| [Specify the downwind building | Unselected] | |

**Toxic contours**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of toxic levels | 4] | |
| [Dose levels(1) | 130000] | |
| [Dose levels(2) | 1,3E+06] | |
| [Dose levels(3) | 1,3E+07] | |
| [Dose levels(4) | 1,3E+08] | |
| [Probit levels(1) | 2] | |
| [Probit levels(2) | 3] | |
| [Probit levels(3) | 4] | |
| [Probit levels(4) | 10] | |
| [Lethality levels(1) | 0,001 | fraction] |
| [Lethality levels(2) | 0,01 | fraction] |

| | | |
|---|---|---|
| [Lethality levels(3) | 0,1 | fraction] |
| [Lethality levels(4) | 1 | fraction] |

**Flammable**

**Ignition and explosion**

| | | |
|---|---|---|
| [Supply late ignition location | No ignition location] | |
| [Explosion method | TNT] | |

**Jet fire method**

| | | |
|---|---|---|
| [Jet fire method | Cone model] | |

**Explosion parameters**

**TNT parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Air or ground burst | Air burst] | |
| [Default TNT explosion efficiency | 0,1 | fraction] |

**Vapour liquid method**

| | | |
|---|---|---|
| [Use of explosion mass modification factor | Early and late explosions] | |
| [Liquid mass modification factor for flammable mass | 3] | |

**Path:** Study\CA2\Leak 1%

**DISCHARGE DATA for Weather:** Weather folder\Dia

| | | |
|---|---|---|
| Wind Speed: | 3,00 | m/s |
| Wind Speed at Height (Calculated) | 2,20 | m/s |
| Pasquill Stability: | C | |

**USER-DEFINED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Material | CHLORINE | |
| Scenario | Leak | |
| Inventory | 900,00 | kg |
| Fixed Duration | n/a | s |

Stagnation data (data at upstream end for long pipe):

| | | |
|---|---|---|
| - Pressure | 7,81 | bar |
| - Temperature | 25,00 | degC |
| - Fluid State | Saturated liquid | |

**CALCULATED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Mass Flow of Air (Vent from Vapor Space only) | n/a | |
| Mass Flowrate | 55,1273 | kg/s |
| Release Duration | 16,33 | s |

Orifice or pipe exit data (before atmospheric expansion):

| | | |
|---|---|---|
| - Pressure | 1,01 | bar |
| - Temperature | 24,58 | degC |
| - Vena Contracta Velocity (exit velocity for pipe releases) | 32,49 | m/s |
| - Discharge Coefficient | 0,60 | |

| | | |
|---|---|---|
| Final data (after atmospheric expansion): | | |
| - Temperature | -33,99 | degC |
| - Liquid Mass Fraction | 0,83 | fraction |
| - Droplet Diameter | 200,87 | um |
| - Expanded Radius | 0,08 | m |
| - Velocity | 114,13 | m/s |

**DISCHARGE DATA for Weather:** Weather folder\Noite

| | | |
|---|---|---|
| Wind Speed: | 2,00 | m/s |
| Wind Speed at Height (Calculated) | 0,98 | m/s |
| Pasquill Stability: | E | |

**USER-DEFINED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Material | CHLORINE | |
| Scenario | Leak | |
| Inventory | 900,00 | kg |
| Fixed Duration | n/a | s |
| Stagnation data (data at upstream end for long pipe): | | |
| - Pressure | 7,81 | bar |
| - Temperature | 25,00 | degC |
| - Fluid State | Saturated liquid | |

**CALCULATED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Mass Flow of Air (Vent from Vapor Space only) | n/a | |
| Mass Flowrate | 55,1273 | kg/s |
| Release Duration | 16,33 | s |
| Orifice or pipe exit data (before atmospheric expansion): | | |
| - Pressure | 1,01 | bar |
| - Temperature | 24,58 | degC |
| - Vena Contracta Velocity (exit velocity for pipe releases) | 32,49 | m/s |
| - Discharge Coefficient | 0,60 | |
| Final data (after atmospheric expansion): | | |
| - Temperature | -33,99 | degC |
| - Liquid Mass Fraction | 0,83 | fraction |
| - Droplet Diameter | 200,87 | um |
| - Expanded Radius | 0,08 | m |
| - Velocity | 114,13 | m/s |

## Consequence Results

### Distance to Concentration Results

**Path:** Study\CA2\Leak 1%

The height for user defined concentrations is the user defined height 0 m
All toxic results are reported at the toxic effect height 0 m
All flammable results are reported at the cloud centreline height

| Concentration(ppm) | Averaging Time | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| User Conc (105) | 600 | s | 153,434 | 344,382 |

| Concentration(ppm) | Averaging Time | | | Heights (m) for above distances |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| User Conc (105) | 600 | s | 0 | 0 |

### Distance to Equivalent Toxic Dose

**Path:** Study\CA2\Leak 1%

Toxic Calculation Method = Mixture probit

| Concentration(ppm) | Reference Time | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| User Conc (105) | 600 | s | 176,473 | 412,378 |

### Weather Conditions

**Path:** Study\CA2\Leak 1%

| | | Dia | Noite |
|---|---|---|---|
| Wind Speed | m/s | 3 | 2 |
| Pasquill Stability | | C | E |
| Atmospheric Temperature | degC | 25 | 20 |
| Surface Temperature | degC | 30 | 25 |
| Relative Humidity | fraction | 0,8 | 0,8 |

**CA2\Leak 50%**

**Base Case**

**CASE Name:** **Data**

**Path:** Study\CA2\Leak 50%

**User-Defined Data**

**Scenario**

**Hole**

| | | |
|---|---|---|
| Orifice diameter | 50,8 | mm |
| Use specified discharge coefficient? | No | |

**Release location**

| | | |
|---|---|---|
| [Tank head | 0 | m] |
| [Elevation | 1 | m] |

**Material**

**Material**

| | |
|---|---|
| [User selected Flam/Toxic/Both results flag | Toxic] |

**Phase**

| | |
|---|---|
| [Phase to be released | Liquid] |

**Discharge parameters**

**Droplet breakup mechanism**

| | |
|---|---|
| [Droplet break-up mechanism - instantaneous | Use flashing correlation] |
| [Droplet break-up mechanism - continuous | Do not force correlation] |

**Model settings**

| | |
|---|---|
| [Atmospheric expansion method | Closest to initial conditions] |
| [Is flashing allowed to the orifice? | No flashing in the orifice] |

**Dispersion**

**Averaging time for reports**

| | | |
|---|---|---|
| ERPG [1 hr] | No | |
| IDLH [30 mins] | Yes | |
| STEL [15 mins] | No | |

**Dispersion scope**

| | | |
|---|---|---|
| Concentration of interest | 574 | ppm |
| User-specified averaging time index for width and height calculation | 1hour averaging time | |
| Specify user-defined averaging time | No | |

**Bund, building and terrain: Default terrain**

**Dispersing surface**

| | | |
|---|---|---|
| [Surface over which the dispersion occurs | Land] | |
| [Surface roughness length | User-defined] | |
| [User-defined length | 183,156 | mm] |

**Bund, building and terrain: No bund**

**Bund properties**

| | | |
|---|---|---|
| [Bund height | 0 | m] |
| [Bund area | 0 | m2] |
| [Bund failure modeling | Bund cannot fail] | |

**Surface for pools**

| | | |
|---|---|---|
| [Type of surface for pools | Concrete] | |

**Bund, building and terrain**

**Building definition**

| | | |
|---|---|---|
| [Specify the release building type | Yes] | |

**Bund, building and terrain: Galpao**

**Dimensions**

| | | |
|---|---|---|
| [Building height | 4 | m] |
| Building width | 8 | m |
| Building length | 15 | m |

**In-building release**

| | | |
|---|---|---|
| [Ventilation type | Natural ventilation] | |
| [Air changes | 3 | /hr] |
| [Handling of droplets | Not trapped] | |

**Indoor toxic modelling**

| | | |
|---|---|---|
| [Building exchange rate | 4 | /hr] |
| [Tail time | 1800 | s] |
| [Wind speed dependent | From Building] | |

**Toxic parameters**

**Exposure time data**

| | | |
|---|---|---|
| [Set averaging time equal to exposure time | Use a fixed averaging time] | |

**Indoor toxic calculations**

| | | |
|---|---|---|
| [Specify the downwind building | Unselected] | |

**Toxic contours**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of toxic levels | 4] | |
| [Dose levels(1) | 130000] | |
| [Dose levels(2) | 1,3E+06] | |
| [Dose levels(3) | 1,3E+07] | |
| [Dose levels(4) | 1,3E+08] | |
| [Probit levels(1) | 2] | |
| [Probit levels(2) | 3] | |
| [Probit levels(3) | 4] | |
| [Probit levels(4) | 10] | |
| [Lethality levels(1) | 0,001 | fraction] |
| [Lethality levels(2) | 0,01 | fraction] |

| | | |
|---|---|---|
| [Lethality levels(3) | 0,1 | fraction] |
| [Lethality levels(4) | 1 | fraction] |

**Flammable**

**Ignition and explosion**

| | |
|---|---|
| [Supply late ignition location | No ignition location] |
| [Explosion method | TNT] |

**Jet fire method**

| | |
|---|---|
| [Jet fire method | Cone model] |

**Explosion parameters**

**TNT parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Air or ground burst | Air burst] | |
| [Default TNT explosion efficiency | 0,1 | fraction] |

**Vapour liquid method**

| | |
|---|---|
| [Use of explosion mass modification factor | Early and late explosions] |
| [Liquid mass modification factor for flammable mass | 3] |

**Path:** Study\CA2\Leak 50%

**DISCHARGE DATA for Weather:** Weather folder\Dia

| | | |
|---|---|---|
| Wind Speed: | 3,00 | m/s |
| Wind Speed at Height (Calculated) | 2,20 | m/s |
| Pasquill Stability: | C | |

**USER-DEFINED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Material | CHLORINE | |
| Scenario | Leak | |
| Inventory | 900,00 | kg |
| Fixed Duration | n/a | s |

Stagnation data (data at upstream end for long pipe):

| | | |
|---|---|---|
| - Pressure | 7,81 | bar |
| - Temperature | 25,00 | degC |
| - Fluid State | Saturated liquid | |

**CALCULATED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Mass Flow of Air (Vent from Vapor Space only) | n/a | |
| Mass Flowrate | 55,1273 | kg/s |
| Release Duration | 16,33 | s |

Orifice or pipe exit data (before atmospheric expansion):

| | | |
|---|---|---|
| - Pressure | 1,01 | bar |
| - Temperature | 24,58 | degC |
| - Vena Contracta Velocity (exit velocity for pipe releases) | 32,49 | m/s |
| - Discharge Coefficient | 0,60 | |

| | | |
|---|---|---|
| Final data (after atmospheric expansion): | | |
| - Temperature | -33,99 | degC |
| - Liquid Mass Fraction | 0,83 | fraction |
| - Droplet Diameter | 200,87 | um |
| - Expanded Radius | 0,08 | m |
| - Velocity | 114,13 | m/s |

**DISCHARGE DATA for Weather:** Weather folder\Noite

| | | |
|---|---|---|
| Wind Speed: | 2,00 | m/s |
| Wind Speed at Height (Calculated) | 0,98 | m/s |
| Pasquill Stability: | E | |

**USER-DEFINED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Material | CHLORINE | |
| Scenario | Leak | |
| Inventory | 900,00 | kg |
| Fixed Duration | n/a | s |
| Stagnation data (data at upstream end for long pipe): | | |
| - Pressure | 7,81 | bar |
| - Temperature | 25,00 | degC |
| - Fluid State | Saturated liquid | |

**CALCULATED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Mass Flow of Air (Vent from Vapor Space only) | n/a | |
| Mass Flowrate | 55,1273 | kg/s |
| Release Duration | 16,33 | s |
| Orifice or pipe exit data (before atmospheric expansion): | | |
| - Pressure | 1,01 | bar |
| - Temperature | 24,58 | degC |
| - Vena Contracta Velocity (exit velocity for pipe releases) | 32,49 | m/s |
| - Discharge Coefficient | 0,60 | |
| Final data (after atmospheric expansion): | | |
| - Temperature | -33,99 | degC |
| - Liquid Mass Fraction | 0,83 | fraction |
| - Droplet Diameter | 200,87 | um |
| - Expanded Radius | 0,08 | m |
| - Velocity | 114,13 | m/s |

## Consequence Results

### Distance to Concentration Results

**Path:** Study\CA2\Leak 50%

The height for user defined concentrations is the user defined height 0 m
All toxic results are reported at the toxic effect height 0 m
All flammable results are reported at the cloud centreline height

| Concentration(ppm) | Averaging Time | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| User Conc (574) | 600 | s | 64,8155 | 96,4908 |

| Concentration(ppm) | Averaging Time | | | Heights (m) for above distances |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| User Conc (574) | 600 | s | 0 | 0 |

### Distance to Equivalent Toxic Dose

**Path:** Study\CA2\Leak 50%

Toxic Calculation Method = Mixture probit

| Concentration(ppm) | Reference Time | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| User Conc (574) | 600 | s | 72,1436 | 117,306 |

### Weather Conditions

**Path:** Study\CA2\Leak 50%

| | | Dia | Noite |
|---|---|---|---|
| Wind Speed | m/s | 3 | 2 |
| Pasquill Stability | | C | E |
| Atmospheric Temperature | degC | 25 | 20 |
| Surface Temperature | degC | 30 | 25 |
| Relative Humidity | fraction | 0,8 | 0,8 |

**Estudo de caso amonia**

**Study**

**CA1\CA 1%**

**Base Case**

**CASE Name:** **Data**

**Path:** Study\CA1\CA 1%

**User-Defined Data**

**Scenario**

**Release location**

| | | |
|---|---|---|
| [Tank head | 0 | m] |
| [Elevation | 1 | m] |

**Material**

**Material**

| | |
|---|---|
| [User selected Flam/Toxic/Both results flag | Both flammable and toxic] |

**Phase**

| | |
|---|---|
| [Phase to be released | Liquid] |

**Discharge parameters**

**Droplet breakup mechanism**

| | |
|---|---|
| [Droplet break-up mechanism - instantaneous | Use flashing correlation] |

**Dispersion**

**Averaging time for reports**

| | |
|---|---|
| ERPG [1 hr] | No |
| IDLH [30 mins] | Yes |
| STEL [15 mins] | No |

**Dispersion scope**

| | | |
|---|---|---|
| Concentration of interest | 4218 | ppm |
| User-specified averaging time index for width and height calculation | 1hr averaging time | |
| Specify user-defined averaging time | No | |

**Bund, building and terrain: Default terrain**

**Dispersing surface**

| | | |
|---|---|---|
| [Surface over which the dispersion occurs | Land] | |
| [Surface roughness length | User-defined] | |
| [User-defined length | 183,156 | mm] |

**Bund, building and terrain: No bund**

**Bund properties**

| | | |
|---|---|---|
| [Bund height | 0 | m] |
| [Bund area | 0 | m2] |

| | | |
|---|---|---|
| [Bund failure modeling | Bund cannot fail] | |
| **Surface for pools** | | |
| [Type of surface for pools | Concrete] | |
| **Bund, building and terrain** | | |
| **Building definition** | | |
| [Specify the release building type | No] | |
| **Toxic parameters** | | |
| **Exposure time data** | | |
| [Set averaging time equal to exposure time | Use a fixed averaging time] | |
| **Indoor toxic calculations** | | |
| [Specify the downwind building | Unselected] | |
| **Toxic contours** | | |
| [Number of toxic levels | 4] | |
| [Dose levels(1) | 130000] | |
| [Dose levels(2) | 1,3E+06] | |
| [Dose levels(3) | 1,3E+07] | |
| [Dose levels(4) | 1,3E+08] | |
| [Probit levels(1) | 2] | |
| [Probit levels(2) | 3] | |
| [Probit levels(3) | 4] | |
| [Probit levels(4) | 10] | |
| [Lethality levels(1) | 0,001 | fraction] |
| [Lethality levels(2) | 0,01 | fraction] |
| [Lethality levels(3) | 0,1 | fraction] |
| [Lethality levels(4) | 1 | fraction] |
| **Flammable** | | |
| **Fireball emissive power** | | |
| Use vessel burst pressure | No | |
| **Ignition and explosion** | | |
| [Supply late ignition location | No ignition location] | |
| [Explosion method | TNT] | |
| **Jet fire method** | | |
| [Jet fire method | Cone model] | |
| **Explosion parameters** | | |
| **TNT parameters** | | |
| [Air or ground burst | Air burst] | |
| [Default TNT explosion efficiency | 0,1 | fraction] |
| **Vapour liquid method** | | |

[Use of explosion mass modification factor Early and late explosions]
[Liquid mass modification factor for flammable mass 3]

**Fireball**

**Calculation method**

[Fireball model DNV recommended]

**Parameters**

[Mass modification factor 3]

**Radiation levels**

[Number of input radiation levels 3]
[Intensity levels(1) 4 kW/m2]
[Intensity levels(2) 12,5 kW/m2]
[Intensity levels(3) 37,5 kW/m2]

**Which radiation levels to calculate**

[Calculate probit No]
[Calculate dose No]
[Calculate lethality No]

**Pool fire**

**Parameters**

[Radiative fraction for general fires 0,4 fraction]

**Radiation levels**

[Number of input radiation levels 3]
[Intensity levels(1) 4 kW/m2]
[Intensity levels(2) 12,5 kW/m2]
[Intensity levels(3) 37,5 kW/m2]

**Which radiation levels to calculate**

[Calculate probit No]
[Calculate dose No]
[Calculate lethality No]

**Path:** Study\CA1\CA 1%

**DISCHARGE DATA for Weather:** Weather folder\Dia

| | |
|---|---|
| Wind Speed: | 3,00 m/s |
| Wind Speed at Height (Calculated) | 2,20 m/s |
| Pasquill Stability: | C |

**USER-DEFINED QUANTITIES**

| | |
|---|---|
| Material | AMMONIA |
| Scenario | Catastrophic rupture |
| Inventory | 3.308,19 kg |

| | | |
|---|---|---|
| Fixed Duration | n/a | s |
| Stagnation data (data at upstream end for long pipe): | | |
| - Pressure | 23,70 | bar |
| - Temperature | 56,14 | degC |
| - Fluid State | Saturated liquid | |

**CALCULATED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Mass Flow of Air (Vent from Vapor Space only) | n/a | |
| Mass Flowrate | | kg/s |
| Release Duration | n/a | s |
| Orifice or pipe exit data (before atmospheric expansion): | | |
| - Pressure | n/a | bar |
| - Temperature | n/a | degC |
| - Vena Contracta Velocity (exit velocity for pipe releases) | n/a | m/s |
| - Discharge Coefficient | n/a | |
| Final data (after atmospheric expansion): | | |
| - Temperature | -33,40 | degC |
| - Liquid Mass Fraction | 0,73 | fraction |
| - Droplet Diameter | 14,15 | um |
| - Expanded Radius | n/a | m |
| - Velocity | 374,11 | m/s |

**DISCHARGE DATA for Weather:** Weather folder\Noite

| | | |
|---|---|---|
| Wind Speed: | 2,00 | m/s |
| Wind Speed at Height (Calculated) | 0,98 | m/s |
| Pasquill Stability: | E | |

**USER-DEFINED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Material | AMMONIA | |
| Scenario | Catastrophic rupture | |
| Inventory | 3.308,19 | kg |
| Fixed Duration | n/a | s |
| Stagnation data (data at upstream end for long pipe): | | |
| - Pressure | 23,70 | bar |
| - Temperature | 56,14 | degC |
| - Fluid State | Saturated liquid | |

**CALCULATED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Mass Flow of Air (Vent from Vapor Space only) | n/a | |
| Mass Flowrate | | kg/s |
| Release Duration | n/a | s |
| Orifice or pipe exit data (before atmospheric expansion): | | |
| - Pressure | n/a | bar |
| - Temperature | n/a | degC |
| - Vena Contracta Velocity (exit velocity for pipe releases) | n/a | m/s |
| - Discharge Coefficient | n/a | |
| Final data (after atmospheric expansion): | | |
| - Temperature | -33,40 | degC |
| - Liquid Mass Fraction | 0,73 | fraction |

| | | |
|---|---|---|
| - Droplet Diameter | 14,15 | um |
| - Expanded Radius | n/a | m |
| - Velocity | 374,11 | m/s |

## Consequence Results

### Distance to Concentration Results

**Path:** Study\CA1\CA 1%

The height for user defined concentrations is the user defined height 0 m
All toxic results are reported at the toxic effect height 0 m
All flammable results are reported at the cloud centreline height

| Concentration(ppm) | Averaging Time | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| User Conc (4218) | 600 | s | 282,044 | 340,251 |
| UFL (250000) | 18,75 | s | 11,9513 | 11,6655 |
| LFL (160000) | 18,75 | s | 15,1062 | 14,4829 |
| LFL Frac (80000) | 18,75 | s | 21,8909 | 20,3505 |

| Concentration(ppm) | Averaging Time | | | Heights (m) for above distances |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| User Conc (4218) | 600 | s | 0 | 0 |
| UFL (250000) | 18,75 | s | 1 | 1 |
| LFL (160000) | 18,75 | s | 1 | 1 |
| LFL Frac (80000) | 18,75 | s | 1 | 1 |

### Distance to Equivalent Toxic Dose

**Path:** Study\CA1\CA 1%

Toxic Calculation Method = Mixture probit

| Concentration(ppm) | Reference Time | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| User Conc (4218) | 600 | s | 44,1042 | 55,4882 |

### Fireball Hazard

**Path:** Study\CA1\CA 1%

| | Dia | Noite |
|---|---|---|
| Fireball Flame Status | Hazard | Hazard |

### Radiation Effects: Fireball Ellipse

**Path:** Study\CA1\CA 1%

| | | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| Radiation Level | 4 | kW/m2 | 161,305 | 164,514 |
| Radiation Level | 12,5 | kW/m2 | 66,9508 | 69,1959 |
| Radiation Level | 37,5 | kW/m2 | Not Reached | Not Reached |

### Flash Fire Envelope

**Path:** Study\CA1\CA 1%

All flammable results are reported at the cloud centreline height

| | | | Distance (m) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| Furthest Extent | 80000 | ppm | 21,8909 | 20,3505 |
| Furthest Extent | 160000 | ppm | 15,1062 | 14,4829 |

| | | | Heights (m) for above distances | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| Furthest Extent | 80000 | ppm | 1 | 1 |
| Furthest Extent | 160000 | ppm | 1 | 1 |

### Explosion Effects: Early Explosion

**Path:** Study\CA1\CA 1%

Early Explosions are assumed to be centered at the release location
Explosion Model Used : TNT

| | | | Dia | Noite |
|---|---|---|---|---|
| Supplied Flammable Mass | | kg | 3308,19 | 3308,19 |

| | | | Distance (m) at Overpressure Levels | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| Overpressure | 0,02068 | bar | 339,596 | 339,596 |
| Overpressure | 0,1379 | bar | 87,9298 | 87,9298 |
| Overpressure | 0,2068 | bar | 68,0381 | 68,0381 |

| | | | Used Mass (kg) at Overpressure Levels | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| Overpressure | 0,02068 | bar | 2702,64 | 2702,64 |
| Overpressure | 0,1379 | bar | 2702,64 | 2702,64 |
| Overpressure | 0,2068 | bar | 2702,64 | 2702,64 |

**Explosion Effects: Late Ignition**

**Path:** Study\CA1\CA 1%

Explosion Model Used : TNT
Explosion Location Criterion: Cloud front (LFL fraction)
All distances are measured from the Source
All flammable results are reported at the cloud centreline height

| | | | Maximum Distance (m) at Overpressure Level | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| Overpressure | 0,02068 | bar | 243,863 | 198,494 |
| Overpressure | 0,1379 | bar | 77,9638 | 66,2166 |
| Overpressure | 0,2068 | bar | 64,851 | 55,7613 |

| | | Supplementary Data at 0,02068 bar | |
|---|---|---|---|
| | | Dia | Noite |
| Supplied Flammable Mass | kg | 774,195 | 392,441 |
| Used Flammable Mass | kg | 774,195 | 392,441 |
| Overpressure Radius | m | 223,863 | 178,494 |
| Distance to: | | | |
| - Ignition Source | m | 20 | 20 |
| - Cloud Front/Centre | m | 2,55978 | 2,49337 |
| - Explosion Centre | m | 20 | 20 |

| | | Supplementary Data at 0,1379 bar | |
|---|---|---|---|
| | | Dia | Noite |
| Supplied Flammable Mass | kg | 774,195 | 392,441 |
| Used Flammable Mass | kg | 774,195 | 392,441 |
| Overpressure Radius | m | 57,9638 | 46,2166 |
| Distance to: | | | |
| - Ignition Source | m | 20 | 20 |
| - Cloud Front/Centre | m | 2,55978 | 2,49337 |
| - Explosion Centre | m | 20 | 20 |

| | | Supplementary Data at 0,2068 bar | |
|---|---|---|---|
| | | Dia | Noite |
| Supplied Flammable Mass | kg | 774,195 | 392,441 |
| Used Flammable Mass | kg | 774,195 | 392,441 |
| Distance to: | | | |
| Overpressure Radius | m | 44,851 | 35,7613 |
| - Ignition Source | m | 20 | 20 |
| - Cloud Front/Centre | m | 2,55978 | 2,49337 |
| - Explosion Centre | m | 20 | 20 |

**Weather Conditions**

**Path:** Study\CA1\CA 1%

| | | Dia | Noite |
|---|---|---|---|
| Wind Speed | m/s | 3 | 2 |
| Pasquill Stability | | C | E |
| Atmospheric Temperature | degC | 25 | 20 |
| Surface Temperature | degC | 30 | 25 |
| Relative Humidity | fraction | 0,8 | 0,8 |

**CA1\CA 50%**

**Base Case**

**CASE Name:** **Data**

**Path:** Study\CA1\CA 50%

**User-Defined Data**

**Scenario**

**Release location**

| | | |
|---|---|---|
| [Tank head | 0 | m] |
| [Elevation | 1 | m] |

**Material**

**Material**

| | | |
|---|---|---|
| [User selected Flam/Toxic/Both results flag | Both flammable and toxic] | |

**Phase**

| | | |
|---|---|---|
| [Phase to be released | Liquid] | |

**Discharge parameters**

**Droplet breakup mechanism**

| | | |
|---|---|---|
| [Droplet break-up mechanism - instantaneous | Use flashing correlation] | |

**Dispersion**

**Averaging time for reports**

| | | |
|---|---|---|
| ERPG [1 hr] | No | |
| IDLH [30 mins] | Yes | |
| STEL [15 mins] | No | |

**Dispersion scope**

| | | |
|---|---|---|
| Concentration of interest | 13523 | ppm |
| User-specified averaging time index for width and height calcul | Toxic averaging time | |
| Specify user-defined averaging time | No | |

**Bund, building and terrain: Default terrain**

**Dispersing surface**

| | | |
|---|---|---|
| [Surface over which the dispersion occurs | Land] | |
| [Surface roughness length | User-defined] | |
| [User-defined length | 183,156 | mm] |

**Bund, building and terrain: No bund**

**Bund properties**

| | | |
|---|---|---|
| [Bund height | 0 | m] |
| [Bund area | 0 | m2] |
| [Bund failure modeling | Bund cannot fail] | |

**Surface for pools**

| | | |
|---|---|---|
| [Type of surface for pools | Concrete] | |

**Bund, building and terrain**

**Building definition**

| | | |
|---|---|---|
| [Specify the release building type | No] | |

**Toxic parameters**

**Exposure time data**

| | | |
|---|---|---|
| [Set averaging time equal to exposure time | Use a fixed averaging time] | |

**Indoor toxic calculations**

| | | |
|---|---|---|
| [Specify the downwind building | Unselected] | |

**Toxic contours**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of toxic levels | 4] | |
| [Dose levels(1) | 130000] | |
| [Dose levels(2) | 1,3E+06] | |
| [Dose levels(3) | 1,3E+07] | |
| [Dose levels(4) | 1,3E+08] | |
| [Probit levels(1) | 2] | |
| [Probit levels(2) | 3] | |
| [Probit levels(3) | 4] | |
| [Probit levels(4) | 10] | |
| [Lethality levels(1) | 0,001 | fraction] |
| [Lethality levels(2) | 0,01 | fraction] |
| [Lethality levels(3) | 0,1 | fraction] |
| [Lethality levels(4) | 1 | fraction] |

**Flammable**

**Fireball emissive power**

| | | |
|---|---|---|
| Use vessel burst pressure | No | |

**Ignition and explosion**

| | | |
|---|---|---|
| [Supply late ignition location | No ignition location] | |
| [Explosion method | TNT] | |

**Jet fire method**

| | | |
|---|---|---|
| [Jet fire method | Cone model] | |

**Explosion parameters**

**TNT parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Air or ground burst | Air burst] | |
| [Default TNT explosion efficiency | 0,1 | fraction] |

**Vapour liquid method**

| | | |
|---|---|---|
| [Use of explosion mass modification factor | Early and late explosions] | |
| [Liquid mass modification factor for flammable mass | 3] | |

**Fireball**

**Calculation method**

| | | |
|---|---|---|
| [Fireball model | DNV recommended] | |

**Parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Mass modification factor | 3] | |

**Radiation levels**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of input radiation levels | 3] | |
| [Intensity levels(1) | 4 | kW/m2] |
| [Intensity levels(2) | 12,5 | kW/m2] |
| [Intensity levels(3) | 37,5 | kW/m2] |

**Which radiation levels to calculate**

| | | |
|---|---|---|
| [Calculate probit | No] | |
| [Calculate dose | No] | |
| [Calculate lethality | No] | |

**Pool fire**

**Parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Radiative fraction for general fires | 0,4 | fraction] |

**Radiation levels**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of input radiation levels | 3] | |
| [Intensity levels(1) | 4 | kW/m2] |
| [Intensity levels(2) | 12,5 | kW/m2] |
| [Intensity levels(3) | 37,5 | kW/m2] |

**Which radiation levels to calculate**

| | | |
|---|---|---|
| [Calculate probit | No] | |
| [Calculate dose | No] | |
| [Calculate lethality | No] | |

**Path:** Study\CA1\CA 50%

**DISCHARGE DATA for Weather:** Weather folder\Dia

| | | |
|---|---|---|
| Wind Speed: | 3,00 | m/s |
| Wind Speed at Height (Calculated) | 2,20 | m/s |
| Pasquill Stability: | C | |

**USER-DEFINED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Material | AMMONIA | |
| Scenario | Catastrophic rupture | |
| Inventory | 3.308,19 | kg |
| Fixed Duration | n/a | s |

Stagnation data (data at upstream end for long pipe):

| | | |
|---|---|---|
| - Pressure | 23,70 | bar |
| - Temperature | 56,14 | degC |
| - Fluid State | Saturated liquid | |

**CALCULATED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Mass Flow of Air (Vent from Vapor Space only) | n/a | |
| Mass Flowrate | | kg/s |
| Release Duration | n/a | s |
| Orifice or pipe exit data (before atmospheric expansion): | | |
| - Pressure | n/a | bar |
| - Temperature | n/a | degC |
| - Vena Contracta Velocity (exit velocity for pipe releases) | n/a | m/s |
| - Discharge Coefficient | n/a | |
| Final data (after atmospheric expansion): | | |
| - Temperature | -33,40 | degC |
| - Liquid Mass Fraction | 0,73 | fraction |
| - Droplet Diameter | 14,15 | um |
| - Expanded Radius | n/a | m |
| - Velocity | 374,11 | m/s |

**DISCHARGE DATA for Weather:** Weather folder\Noite

| | | |
|---|---|---|
| Wind Speed: | 2,00 | m/s |
| Wind Speed at Height (Calculated) | 0,98 | m/s |
| Pasquill Stability: | E | |

**USER-DEFINED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Material | AMMONIA | |
| Scenario | Catastrophic rupture | |
| Inventory | 3.308,19 | kg |
| Fixed Duration | n/a | s |
| Stagnation data (data at upstream end for long pipe): | | |
| - Pressure | 23,70 | bar |
| - Temperature | 56,14 | degC |
| - Fluid State | Saturated liquid | |

**CALCULATED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Mass Flow of Air (Vent from Vapor Space only) | n/a | |
| Mass Flowrate | | kg/s |
| Release Duration | n/a | s |
| Orifice or pipe exit data (before atmospheric expansion): | | |
| - Pressure | n/a | bar |
| - Temperature | n/a | degC |
| - Vena Contracta Velocity (exit velocity for pipe releases) | n/a | m/s |
| - Discharge Coefficient | n/a | |
| Final data (after atmospheric expansion): | | |
| - Temperature | -33,40 | degC |
| - Liquid Mass Fraction | 0,73 | fraction |
| - Droplet Diameter | 14,15 | um |
| - Expanded Radius | n/a | m |
| - Velocity | 374,11 | m/s |

## Consequence Results

### Distance to Concentration Results

**Path:** Study\CA1\CA 50%

The height for user defined concentrations is the user defined height 0 m
All toxic results are reported at the toxic effect height 0 m
All flammable results are reported at the cloud centreline height

| Concentration(ppm) | Averaging Time | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| User Conc (13523) | 600 | s | 113,467 | 87,1843 |
| UFL (250000) | 18,75 | s | 11,9513 | 11,6655 |
| LFL (160000) | 18,75 | s | 15,1062 | 14,4829 |
| LFL Frac (80000) | 18,75 | s | 21,8909 | 20,3505 |

| Concentration(ppm) | Averaging Time | | | Heights (m) for above distances |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| User Conc (13523) | 600 | s | 0 | 0 |
| UFL (250000) | 18,75 | s | 1 | 1 |
| LFL (160000) | 18,75 | s | 1 | 1 |
| LFL Frac (80000) | 18,75 | s | 1 | 1 |

### Distance to Equivalent Toxic Dose

**Path:** Study\CA1\CA 50%

Toxic Calculation Method = Mixture probit

| Concentration(ppm) | Reference Time | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| User Conc (13523) | 600 | s | 12,0873 | 11,7536 |

### Fireball Hazard

**Path:** Study\CA1\CA 50%

| | Dia | Noite |
|---|---|---|
| Fireball Flame Status | Hazard | Hazard |

### Radiation Effects: Fireball Ellipse

**Path:** Study\CA1\CA 50%

| | | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| Radiation Level | 4 | kW/m2 | 161,305 | 164,514 |
| Radiation Level | 12,5 | kW/m2 | 66,9508 | 69,1959 |
| Radiation Level | 37,5 | kW/m2 | Not Reached | Not Reached |

### Flash Fire Envelope

**Path:** Study\CA1\CA 50%

All flammable results are reported at the cloud centreline height

| | | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| Furthest Extent | 80000 | ppm | 21,8909 | 20,3505 |
| Furthest Extent | 160000 | ppm | 15,1062 | 14,4829 |

| | | | | Heights (m) for above distances |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| Furthest Extent | 80000 | ppm | 1 | 1 |
| Furthest Extent | 160000 | ppm | 1 | 1 |

### Explosion Effects: Early Explosion

**Path:** Study\CA1\CA 50%

Early Explosions are assumed to be centered at the release location
Explosion Model Used : TNT

| | | | Dia | Noite |
|---|---|---|---|---|
| Supplied Flammable Mass | | kg | 3308,19 | 3308,19 |

| | | | Distance (m) at Overpressure Levels | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| Overpressure | 0,02068 | bar | 339,596 | 339,596 |
| Overpressure | 0,1379 | bar | 87,9298 | 87,9298 |
| Overpressure | 0,2068 | bar | 68,0381 | 68,0381 |

| | | | Used Mass (kg) at Overpressure Levels | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| Overpressure | 0,02068 | bar | 2702,64 | 2702,64 |
| Overpressure | 0,1379 | bar | 2702,64 | 2702,64 |
| Overpressure | 0,2068 | bar | 2702,64 | 2702,64 |

**Explosion Effects: Late Ignition**

**Path:** Study\CA1\CA 50%

Explosion Model Used : TNT
Explosion Location Criterion: Cloud front (LFL fraction)
All distances are measured from the Source
All flammable results are reported at the cloud centreline height

| | | | Maximum Distance (m) at Overpressure Level | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| Overpressure | 0,02068 | bar | 243,863 | 198,494 |
| Overpressure | 0,1379 | bar | 77,9638 | 66,2166 |
| Overpressure | 0,2068 | bar | 64,851 | 55,7613 |

| | | Supplementary Data at 0,02068 bar | |
|---|---|---|---|
| | | Dia | Noite |
| Supplied Flammable Mass | kg | 774,195 | 392,441 |
| Used Flammable Mass | kg | 774,195 | 392,441 |
| Overpressure Radius | m | 223,863 | 178,494 |
| Distance to: | | | |
| - Ignition Source | m | 20 | 20 |
| - Cloud Front/Centre | m | 2,55978 | 2,49337 |
| - Explosion Centre | m | 20 | 20 |

| | | Supplementary Data at 0,1379 bar | |
|---|---|---|---|
| | | Dia | Noite |
| Supplied Flammable Mass | kg | 774,195 | 392,441 |
| Used Flammable Mass | kg | 774,195 | 392,441 |
| Overpressure Radius | m | 57,9638 | 46,2166 |
| Distance to: | | | |
| - Ignition Source | m | 20 | 20 |
| - Cloud Front/Centre | m | 2,55978 | 2,49337 |
| - Explosion Centre | m | 20 | 20 |

| | | Supplementary Data at 0,2068 bar | |
|---|---|---|---|
| | | Dia | Noite |
| Supplied Flammable Mass | kg | 774,195 | 392,441 |
| Used Flammable Mass | kg | 774,195 | 392,441 |
| Distance to: | | | |
| Overpressure Radius | m | 44,851 | 35,7613 |
| - Ignition Source | m | 20 | 20 |
| - Cloud Front/Centre | m | 2,55978 | 2,49337 |
| - Explosion Centre | m | 20 | 20 |

**Weather Conditions**

**Path:** Study\CA1\CA 50%

| | | Dia | Noite |
|---|---|---|---|
| Wind Speed | m/s | 3 | 2 |
| Pasquill Stability | | C | E |
| Atmospheric Temperature | degC | 25 | 20 |
| Surface Temperature | degC | 30 | 25 |
| Relative Humidity | fraction | 0,8 | 0,8 |

**CA2\Leak 1%**

**Base Case**

**CASE Name:** **Data**

**Path:** Study\CA2\Leak 1%

**User-Defined Data**

**Scenario**

**Direction**

| | |
|---|---|
| [Outdoor release direction | Down - impinging on the ground] |

**Hole**

| | | |
|---|---|---|
| Orifice diameter | 50,8 | mm |
| Use specified discharge coefficient? | No | |

**Release location**

| | | |
|---|---|---|
| [Tank head | 0 | m] |
| [Elevation | 1 | m] |

**Material**

**Material**

| | |
|---|---|
| [User selected Flam/Toxic/Both results flag | Both flammable and toxic] |

**Phase**

| | |
|---|---|
| [Phase to be released | Liquid] |

**Discharge parameters**

**Droplet breakup mechanism**

| | |
|---|---|
| [Droplet break-up mechanism - instantaneous | Use flashing correlation] |
| [Droplet break-up mechanism - continuous | Do not force correlation] |

**Model settings**

| | |
|---|---|
| [Atmospheric expansion method | Closest to initial conditions] |
| [Is flashing allowed to the orifice? | No flashing in the orifice] |

**Dispersion**

**Averaging time for reports**

| | |
|---|---|
| ERPG [1 hr] | No |
| IDLH [30 mins] | Yes |
| STEL [15 mins] | No |

**Dispersion scope**

| | | |
|---|---|---|
| Concentration of interest | 4218 | ppm |
| User-specified averaging time index for width and height calcul | Toxic averaging time | |
| Specify user-defined averaging time | No | |

**Bund, building and terrain: Default terrain**

**Dispersing surface**

| | |
|---|---|
| [Surface over which the dispersion occurs | Land] |

| | | |
|---|---|---|
| [Surface roughness length | User-defined] | |
| [User-defined length | 183,156 | mm] |

**Bund, building and terrain: No bund**

**Bund properties**

| | | |
|---|---|---|
| [Bund height | 0 | m] |
| [Bund area | 0 | m2] |
| [Bund failure modeling | Bund cannot fail] | |

**Surface for pools**

| | | |
|---|---|---|
| [Type of surface for pools | Concrete] | |

**Bund, building and terrain**

**Building definition**

| | | |
|---|---|---|
| [Specify the release building type | No] | |

**Toxic parameters**

**Exposure time data**

| | | |
|---|---|---|
| [Set averaging time equal to exposure time | Use a fixed averaging time] | |

**Indoor toxic calculations**

| | | |
|---|---|---|
| [Specify the downwind building | Unselected] | |

**Toxic contours**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of toxic levels | 4] | |
| [Dose levels(1) | 130000] | |
| [Dose levels(2) | 1,3E+06] | |
| [Dose levels(3) | 1,3E+07] | |
| [Dose levels(4) | 1,3E+08] | |
| [Probit levels(1) | 2] | |
| [Probit levels(2) | 3] | |
| [Probit levels(3) | 4] | |
| [Probit levels(4) | 10] | |
| [Lethality levels(1) | 0,001 | fraction] |
| [Lethality levels(2) | 0,01 | fraction] |
| [Lethality levels(3) | 0,1 | fraction] |
| [Lethality levels(4) | 1 | fraction] |

**Flammable**

**Ignition and explosion**

| | | |
|---|---|---|
| [Supply late ignition location | No ignition location] | |
| [Explosion method | TNT] | |

**Jet fire method**

| | | |
|---|---|---|
| [Jet fire method | Cone model] | |

**Explosion parameters**

**TNT parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Air or ground burst | Air burst] | |
| [Default TNT explosion efficiency | 0,1 | fraction] |

**Vapour liquid method**

| | | |
|---|---|---|
| [Use of explosion mass modification factor | Early and late explosions] | |
| [Liquid mass modification factor for flammable mass | 3] | |

**Fireball**

**Calculation method**

| | | |
|---|---|---|
| [Fireball model | DNV recommended] | |

**Parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Mass modification factor | 3] | |

**Radiation levels**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of input radiation levels | 3] | |
| [Intensity levels(1) | 4 | kW/m2] |
| [Intensity levels(2) | 12,5 | kW/m2] |
| [Intensity levels(3) | 37,5 | kW/m2] |

**Which radiation levels to calculate**

| | | |
|---|---|---|
| [Calculate probit | No] | |
| [Calculate dose | No] | |
| [Calculate lethality | No] | |

**Jet fire**

**Cone model data**

| | | |
|---|---|---|
| [Horizontal options | Use standard method] | |
| [Correlation | DNV recommended] | |

**Parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Rate modification factor | 3] | |

**Radiation levels**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of input radiation levels | 3] | |
| [Intensity levels(1) | 4 | kW/m2] |
| [Intensity levels(2) | 12,5 | kW/m2] |
| [Intensity levels(3) | 37,5 | kW/m2] |

**Surface emissive power**

| | | |
|---|---|---|
| [Emissivity Method | Calculate SEP] | |

**Which radiation levels to calculate**

| | | |
|---|---|---|
| [Calculate probit | No] | |
| [Calculate dose | No] | |
| [Calculate lethality | No] | |

**Pool fire**

**Parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Radiative fraction for general fires | 0,4 | fraction] |

**Radiation levels**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of input radiation levels | 3] | |
| [Intensity levels(1) | 4 | kW/m2] |
| [Intensity levels(2) | 12,5 | kW/m2] |
| [Intensity levels(3) | 37,5 | kW/m2] |

**Which radiation levels to calculate**

| | |
|---|---|
| [Calculate probit | No] |
| [Calculate dose | No] |
| [Calculate lethality | No] |

**Path:** Study\CA2\Leak 1%

**DISCHARGE DATA for Weather:** Weather folder\Dia

| | | |
|---|---|---|
| Wind Speed: | 3,00 | m/s |
| Wind Speed at Height (Calculated) | 2,20 | m/s |
| Pasquill Stability: | C | |

**USER-DEFINED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Material | AMMONIA | |
| Scenario | Leak | |
| Inventory | 3.611,48 | kg |
| Fixed Duration | n/a | s |

Stagnation data (data at upstream end for long pipe):

| | | |
|---|---|---|
| - Pressure | 10,00 | bar |
| - Temperature | 25,00 | degC |
| - Fluid State | Saturated liquid | |

**CALCULATED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Mass Flow of Air (Vent from Vapor Space only) | n/a | |
| Mass Flowrate | 45,1709 | kg/s |
| Release Duration | 79,95 | s |

Orifice or pipe exit data (before atmospheric expansion):

| | | |
|---|---|---|
| - Pressure | 1,01 | bar |
| - Temperature | 24,70 | degC |
| - Vena Contracta Velocity (exit velocity for pipe releases) | 61,66 | m/s |
| - Discharge Coefficient | 0,60 | |

Final data (after atmospheric expansion):

| | | |
|---|---|---|
| - Temperature | -33,40 | degC |
| - Liquid Mass Fraction | 0,82 | fraction |
| - Droplet Diameter | 81,19 | um |
| - Expanded Radius | 0,11 | m |
| - Velocity | 250,87 | m/s |

**DISCHARGE DATA for Weather:** Weather folder\Noite

| | | |
|---|---|---|
| Wind Speed: | 2,00 | m/s |
| Wind Speed at Height (Calculated) | 0,98 | m/s |
| Pasquill Stability: | E | |

**USER-DEFINED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Material | AMMONIA | |
| Scenario | Leak | |
| Inventory | 3.611,48 | kg |
| Fixed Duration | n/a | s |
| Stagnation data (data at upstream end for long pipe): | | |
| - Pressure | 10,00 | bar |
| - Temperature | 25,00 | degC |
| - Fluid State | Saturated liquid | |

**CALCULATED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Mass Flow of Air (Vent from Vapor Space only) | n/a | |
| Mass Flowrate | 45,1709 | kg/s |
| Release Duration | 79,95 | s |
| Orifice or pipe exit data (before atmospheric expansion): | | |
| - Pressure | 1,01 | bar |
| - Temperature | 24,70 | degC |
| - Vena Contracta Velocity (exit velocity for pipe releases) | 61,66 | m/s |
| - Discharge Coefficient | 0,60 | |
| Final data (after atmospheric expansion): | | |
| - Temperature | -33,40 | degC |
| - Liquid Mass Fraction | 0,82 | fraction |
| - Droplet Diameter | 81,19 | um |
| - Expanded Radius | 0,11 | m |
| - Velocity | 250,87 | m/s |

## Consequence Results

### Pool Vaporization Results

**Path:** Study\CA2\Leak 1%

| | | Dia | Noite |
|---|---|---|---|
| Release Segment 1 | | | |
| Release Duration | s | 79,9515 | 79,9515 |
| Liquid Rainout | fraction | 0,819395 | 0,819396 |
| | | | |
| Release Segment 1 Cloud Segment 1 | | | |
| Cloud Segment Duration | s | 49,7025 | 49,7025 |
| Pool Vaporization Rate | kg/s | 4,47774 | 4,06351 |
| Total Vapor Flowrate | kg/s | 12,6358 | 12,2216 |
| Release Segment 1 Cloud Segment 2 | | | |
| Cloud Segment Duration | s | 53,6771 | 52,6621 |
| Pool Vaporization Rate | kg/s | 8,28706 | 7,70759 |
| Total Vapor Flowrate | kg/s | 16,4451 | 15,8656 |
| Release Segment 1 Cloud Segment 3 | | | |
| Cloud Segment Duration | s | 45,92 | 43,29 |
| Pool Vaporization Rate | kg/s | 4,79405 | 4,61668 |
| Total Vapor Flowrate | kg/s | 8,28706 | 7,70759 |
| Release Segment 1 Cloud Segment 4 | | | |
| Cloud Segment Duration | s | 3450,7 | 3454,35 |
| Pool Vaporization Rate | kg/s | 0,568885 | 0,57598 |
| Total Vapor Flowrate | kg/s | 4,79405 | 4,61668 |
| | | | |
| Maximum Pool Radius | m | 15,0579 | 15,2025 |

### Distance to Concentration Results

**Path:** Study\CA2\Leak 1%

The height for user defined concentrations is the user defined height 0 m
All toxic results are reported at the toxic effect height 0 m
All flammable results are reported at the cloud centreline height

| Concentration(ppm) | Averaging Time | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| User Conc (4218) | 600 | s | 269,161 | 235,151 |
| UFL (250000) | 18,75 | s | 28,3752 | 18,8447 |
| LFL (160000) | 18,75 | s | 41,1088 | 23,4567 |
| LFL Frac (80000) | 18,75 | s | 67,8393 | 32,1508 |

| Concentration(ppm) | Averaging Time | | | Heights (m) for above distances |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| User Conc (4218) | 600 | s | 0 | 0 |
| UFL (250000) | 18,75 | s | 0 | 2,7107 |
| LFL (160000) | 18,75 | s | 0 | 4,52128 |
| LFL Frac (80000) | 18,75 | s | 0 | 8,11726 |

### Distance to Equivalent Toxic Dose

**Path:** Study\CA2\Leak 1%

Toxic Calculation Method = Mixture probit

| Concentration(ppm) | Reference Time | | Distance (m) Dia | Distance (m) Noite |
|---|---|---|---|---|
| User Conc (4218) | 600 | s | 173,52 | 94,6124 |

### Jet Fire Hazard

**Path:** Study\CA2\Leak 1%

Jet fire method used: Cone model - DNV recommended

| | Dia | Noite |
|---|---|---|
| Jet Fire Status | Truncated | Truncated |
| Flame Direction | Down - imp | Down - imp |

### Radiation Effects: Jet Fire Ellipse

**Path:** Study\CA2\Leak 1%

This table gives the distances to the specified radiation levels
for each jet fire listed in the above hazard table

| | | | Distance (m) Dia | Distance (m) Noite |
|---|---|---|---|---|
| Radiation Level | 4 | kW/m2 | 51,0599 | 55,0635 |
| Radiation Level | 12,5 | kW/m2 | 43,1962 | 46,7448 |
| Radiation Level | 37,5 | kW/m2 | Not Reached | Not Reached |

### Early Pool Fire Hazard

**Path:** Study\CA2\Leak 1%

| | Dia | Noite |
|---|---|---|
| Early Pool Fire Status | Hazard | Hazard |

### Radiation Effects: Early Pool Fire Ellipse

**Path:** Study\CA2\Leak 1%

| | | | Distance (m) Dia | Distance (m) Noite |
|---|---|---|---|---|
| Radiation Level | 4 | kW/m2 | 37,1108 | 37,2337 |
| Radiation Level | 12,5 | kW/m2 | 24,4299 | 23,4168 |
| Radiation Level | 37,5 | kW/m2 | Not Reached | Not Reached |

### Late Pool Fire Hazard

**Path:** Study\CA2\Leak 1%

| | Dia | Noite |
|---|---|---|
| Late Pool Fire Status | Hazard | Hazard |

**Radiation Effects: Late Pool Fire Ellipse**

**Path:** Study\CA2\Leak 1%

| | | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| Radiation Level | 4 | kW/m2 | 37,1108 | 37,2337 |
| Radiation Level | 12,5 | kW/m2 | 24,4299 | 23,4168 |
| Radiation Level | 37,5 | kW/m2 | Not Reached | Not Reached |

**Flash Fire Envelope**

**Path:** Study\CA2\Leak 1%

All flammable results are reported at the cloud centreline height

| | | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| Furthest Extent | 80000 | ppm | 67,8393 | 32,1508 |
| Furthest Extent | 160000 | ppm | 41,1088 | 23,4567 |

| | | | | Heights (m) for above distances |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| Furthest Extent | 80000 | ppm | 0 | 8,11726 |
| Furthest Extent | 160000 | ppm | 0 | 4,52128 |

**Explosion Effects: Late Ignition**

**Path:** Study\CA2\Leak 1%

Explosion Model Used : TNT
Explosion Location Criterion: Cloud front (LFL fraction)
All distances are measured from the Source
All flammable results are reported at the cloud centreline height

| | | | Maximum Distance (m) at Overpressure Level | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| Overpressure | 0,02068 | bar | 119,344 | 81,2442 |
| Overpressure | 0,1379 | bar | 75,3656 | 43,2684 |
| Overpressure | 0,2068 | bar | 71,8895 | 40,2668 |

| | | Supplementary Data at 0,02068 bar | |
|---|---|---|---|
| | | Dia | Noite |
| Supplied Flammable Mass | kg | 14,4221 | 9,28613 |
| Used Flammable Mass | kg | 14,4221 | 9,28613 |
| Overpressure Radius | m | 59,3438 | 51,2442 |
| Distance to: | | | |
| - Ignition Source | m | 60 | 30 |
| - Cloud Front/Centre | m | 60 | 30 |
| - Explosion Centre | m | 60 | 30 |

| | | Supplementary Data at 0,1379 bar | |
|---|---|---|---|
| | | Dia | Noite |
| Supplied Flammable Mass | kg | 14,4221 | 9,28613 |
| Used Flammable Mass | kg | 14,4221 | 9,28613 |
| Overpressure Radius | m | 15,3656 | 13,2684 |
| Distance to: | | | |
| - Ignition Source | m | 60 | 30 |
| - Cloud Front/Centre | m | 60 | 30 |
| - Explosion Centre | m | 60 | 30 |

| | | Supplementary Data at 0,2068 bar | |
|---|---|---|---|
| | | Dia | Noite |
| Supplied Flammable Mass | kg | 14,4221 | 9,28613 |
| Used Flammable Mass | kg | 14,4221 | 9,28613 |
| Distance to: | | | |
| Overpressure Radius | m | 11,8895 | 10,2668 |
| - Ignition Source | m | 60 | 30 |
| - Cloud Front/Centre | m | 60 | 30 |
| - Explosion Centre | m | 60 | 30 |

**Weather Conditions**

**Path:** Study\CA2\Leak 1%

| | | Dia | Noite |
|---|---|---|---|
| Wind Speed | m/s | 3 | 2 |
| Pasquill Stability | | C | E |
| Atmospheric Temperature | degC | 25 | 20 |
| Surface Temperature | degC | 30 | 25 |
| Relative Humidity | fraction | 0,8 | 0,8 |

**CA2\Leak 50%**

**Base Case**

**CASE Name:** **Data**

**Path:** Study\CA2\Leak 50%

**User-Defined Data**

**Scenario**

**Direction**

| | | |
|---|---|---|
| [Outdoor release direction | Down - impinging on the ground] | |

**Hole**

| | | |
|---|---|---|
| Orifice diameter | 50,8 | mm |
| Use specified discharge coefficient? | No | |

**Release location**

| | | |
|---|---|---|
| [Tank head | 0 | m] |
| [Elevation | 1 | m] |

**Material**

**Material**

| | |
|---|---|
| [User selected Flam/Toxic/Both results flag | Both flammable and toxic] |

**Phase**

| | |
|---|---|
| [Phase to be released | Liquid] |

**Discharge parameters**

**Droplet breakup mechanism**

| | |
|---|---|
| [Droplet break-up mechanism - instantaneous | Use flashing correlation] |
| [Droplet break-up mechanism - continuous | Do not force correlation] |

**Model settings**

| | |
|---|---|
| [Atmospheric expansion method | Closest to initial conditions] |
| [Is flashing allowed to the orifice? | No flashing in the orifice] |

**Dispersion**

**Averaging time for reports**

| | |
|---|---|
| ERPG [1 hr] | No |
| IDLH [30 mins] | Yes |
| STEL [15 mins] | No |

**Dispersion scope**

| | | |
|---|---|---|
| Concentration of interest | 13523 | ppm |
| User-specified averaging time index for width and height calcul | Toxic averaging time | |
| Specify user-defined averaging time | No | |

**Bund, building and terrain: Default terrain**

**Dispersing surface**

| | |
|---|---|
| [Surface over which the dispersion occurs | Land] |

| | | |
|---|---|---|
| [Surface roughness length | User-defined] | |
| [User-defined length | 183,156 | mm] |

**Bund, building and terrain: No bund**

**Bund properties**

| | | |
|---|---|---|
| [Bund height | 0 | m] |
| [Bund area | 0 | m2] |
| [Bund failure modeling | Bund cannot fail] | |

**Surface for pools**

| | | |
|---|---|---|
| [Type of surface for pools | Concrete] | |

**Bund, building and terrain**

**Building definition**

| | | |
|---|---|---|
| [Specify the release building type | No] | |

**Toxic parameters**

**Exposure time data**

| | | |
|---|---|---|
| [Set averaging time equal to exposure time | Use a fixed averaging time] | |

**Indoor toxic calculations**

| | | |
|---|---|---|
| [Specify the downwind building | Unselected] | |

**Toxic contours**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of toxic levels | 4] | |
| [Dose levels(1) | 130000] | |
| [Dose levels(2) | 1,3E+06] | |
| [Dose levels(3) | 1,3E+07] | |
| [Dose levels(4) | 1,3E+08] | |
| [Probit levels(1) | 2] | |
| [Probit levels(2) | 3] | |
| [Probit levels(3) | 4] | |
| [Probit levels(4) | 10] | |
| [Lethality levels(1) | 0,001 | fraction] |
| [Lethality levels(2) | 0,01 | fraction] |
| [Lethality levels(3) | 0,1 | fraction] |
| [Lethality levels(4) | 1 | fraction] |

**Flammable**

**Ignition and explosion**

| | | |
|---|---|---|
| [Supply late ignition location | No ignition location] | |
| [Explosion method | TNT] | |

**Jet fire method**

| | | |
|---|---|---|
| [Jet fire method | Cone model] | |

**Explosion parameters**

**TNT parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Air or ground burst | Air burst] | |
| [Default TNT explosion efficiency | 0,1 | fraction] |

**Vapour liquid method**

| | | |
|---|---|---|
| [Use of explosion mass modification factor | Early and late explosions] | |
| [Liquid mass modification factor for flammable mass | 3] | |

**Fireball**

**Calculation method**

| | | |
|---|---|---|
| [Fireball model | DNV recommended] | |

**Parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Mass modification factor | 3] | |

**Radiation levels**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of input radiation levels | 3] | |
| [Intensity levels(1) | 4 | kW/m2] |
| [Intensity levels(2) | 12,5 | kW/m2] |
| [Intensity levels(3) | 37,5 | kW/m2] |

**Which radiation levels to calculate**

| | | |
|---|---|---|
| [Calculate probit | No] | |
| [Calculate dose | No] | |
| [Calculate lethality | No] | |

**Jet fire**

**Cone model data**

| | | |
|---|---|---|
| [Horizontal options | Use standard method] | |
| [Correlation | DNV recommended] | |

**Parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Rate modification factor | 3] | |

**Radiation levels**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of input radiation levels | 3] | |
| [Intensity levels(1) | 4 | kW/m2] |
| [Intensity levels(2) | 12,5 | kW/m2] |
| [Intensity levels(3) | 37,5 | kW/m2] |

**Surface emissive power**

| | | |
|---|---|---|
| [Emissivity Method | Calculate SEP] | |

**Which radiation levels to calculate**

| | | |
|---|---|---|
| [Calculate probit | No] | |
| [Calculate dose | No] | |
| [Calculate lethality | No] | |

**Pool fire**

**Parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Radiative fraction for general fires | 0,4 | fraction] |

**Radiation levels**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of input radiation levels | 3] | |
| [Intensity levels(1) | 4 | kW/m2] |
| [Intensity levels(2) | 12,5 | kW/m2] |
| [Intensity levels(3) | 37,5 | kW/m2] |

**Which radiation levels to calculate**

| | |
|---|---|
| [Calculate probit | No] |
| [Calculate dose | No] |
| [Calculate lethality | No] |

**Path:** Study\CA2\Leak 50%

**DISCHARGE DATA for Weather:** Weather folder\Dia

| | | |
|---|---|---|
| Wind Speed: | 3,00 | m/s |
| Wind Speed at Height (Calculated) | 2,20 | m/s |
| Pasquill Stability: | C | |

**USER-DEFINED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Material | AMMONIA | |
| Scenario | Leak | |
| Inventory | 3.611,48 | kg |
| Fixed Duration | n/a | s |

Stagnation data (data at upstream end for long pipe):

| | | |
|---|---|---|
| - Pressure | 10,00 | bar |
| - Temperature | 25,00 | degC |
| - Fluid State | Saturated liquid | |

**CALCULATED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Mass Flow of Air (Vent from Vapor Space only) | n/a | |
| Mass Flowrate | 45,1709 | kg/s |
| Release Duration | 79,95 | s |

Orifice or pipe exit data (before atmospheric expansion):

| | | |
|---|---|---|
| - Pressure | 1,01 | bar |
| - Temperature | 24,70 | degC |
| - Vena Contracta Velocity (exit velocity for pipe releases) | 61,66 | m/s |
| - Discharge Coefficient | 0,60 | |

Final data (after atmospheric expansion):

| | | |
|---|---|---|
| - Temperature | -33,40 | degC |
| - Liquid Mass Fraction | 0,82 | fraction |
| - Droplet Diameter | 81,19 | um |
| - Expanded Radius | 0,11 | m |
| - Velocity | 250,87 | m/s |

**DISCHARGE DATA for Weather:** Weather folder\Noite

| | | |
|---|---|---|
| Wind Speed: | 2,00 | m/s |
| Wind Speed at Height (Calculated) | 0,98 | m/s |
| Pasquill Stability: | E | |

**USER-DEFINED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Material | AMMONIA | |
| Scenario | Leak | |
| Inventory | 3.611,48 | kg |
| Fixed Duration | n/a | s |
| Stagnation data (data at upstream end for long pipe): | | |
| - Pressure | 10,00 | bar |
| - Temperature | 25,00 | degC |
| - Fluid State | Saturated liquid | |

**CALCULATED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Mass Flow of Air (Vent from Vapor Space only) | n/a | |
| Mass Flowrate | 45,1709 | kg/s |
| Release Duration | 79,95 | s |
| Orifice or pipe exit data (before atmospheric expansion): | | |
| - Pressure | 1,01 | bar |
| - Temperature | 24,70 | degC |
| - Vena Contracta Velocity (exit velocity for pipe releases) | 61,66 | m/s |
| - Discharge Coefficient | 0,60 | |
| Final data (after atmospheric expansion): | | |
| - Temperature | -33,40 | degC |
| - Liquid Mass Fraction | 0,82 | fraction |
| - Droplet Diameter | 81,19 | um |
| - Expanded Radius | 0,11 | m |
| - Velocity | 250,87 | m/s |

## Consequence Results

### Pool Vaporization Results

**Path:** Study\CA2\Leak 50%

| | | Dia | Noite |
|---|---|---|---|
| Release Segment 1 | | | |
| Release Duration | s | 79,9515 | 79,9515 |
| Liquid Rainout | fraction | 0,819395 | 0,819396 |
| | | | |
| Release Segment 1 Cloud Segment 1 | | | |
| Cloud Segment Duration | s | 49,7025 | 49,7025 |
| Pool Vaporization Rate | kg/s | 4,47774 | 4,06351 |
| Total Vapor Flowrate | kg/s | 12,6358 | 12,2216 |
| Release Segment 1 Cloud Segment 2 | | | |
| Cloud Segment Duration | s | 53,6771 | 52,6621 |
| Pool Vaporization Rate | kg/s | 8,28706 | 7,70759 |
| Total Vapor Flowrate | kg/s | 16,4451 | 15,8656 |
| Release Segment 1 Cloud Segment 3 | | | |
| Cloud Segment Duration | s | 45,92 | 43,29 |
| Pool Vaporization Rate | kg/s | 4,79405 | 4,61668 |
| Total Vapor Flowrate | kg/s | 8,28706 | 7,70759 |
| Release Segment 1 Cloud Segment 4 | | | |
| Cloud Segment Duration | s | 3450,7 | 3454,35 |
| Pool Vaporization Rate | kg/s | 0,568885 | 0,57598 |
| Total Vapor Flowrate | kg/s | 4,79405 | 4,61668 |
| | | | |
| Maximum Pool Radius | m | 15,0579 | 15,2025 |

### Distance to Concentration Results

**Path:** Study\CA2\Leak 50%

The height for user defined concentrations is the user defined height 0 m
All toxic results are reported at the toxic effect height 0 m
All flammable results are reported at the cloud centreline height

| Concentration(ppm) | Averaging Time | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| User Conc (13523) | 600 | s | 167,493 | 32,7847 |
| UFL (250000) | 18,75 | s | 28,3752 | 18,8447 |
| LFL (160000) | 18,75 | s | 41,1088 | 23,4567 |
| LFL Frac (80000) | 18,75 | s | 67,8393 | 32,1508 |

| Concentration(ppm) | Averaging Time | | | Heights (m) for above distances |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| User Conc (13523) | 600 | s | 0 | 0 |
| UFL (250000) | 18,75 | s | 0 | 2,7107 |
| LFL (160000) | 18,75 | s | 0 | 4,52128 |
| LFL Frac (80000) | 18,75 | s | 0 | 8,11726 |

### Distance to Equivalent Toxic Dose

**Path:** Study\CA2\Leak 50%

Toxic Calculation Method = Mixture probit

| Concentration(ppm) | Reference Time | | Distance (m) Dia | Distance (m) Noite |
|---|---|---|---|---|
| User Conc (13523) | 600 | s | 107,325 | 23,3168 |

### Jet Fire Hazard

**Path:** Study\CA2\Leak 50%

Jet fire method used: Cone model - DNV recommended

| | Dia | Noite |
|---|---|---|
| Jet Fire Status | Truncated | Truncated |
| Flame Direction | Down - imp | Down - imp |

### Radiation Effects: Jet Fire Ellipse

**Path:** Study\CA2\Leak 50%

This table gives the distances to the specified radiation levels
for each jet fire listed in the above hazard table

| | | | Distance (m) Dia | Distance (m) Noite |
|---|---|---|---|---|
| Radiation Level | 4 | kW/m2 | 51,0599 | 55,0635 |
| Radiation Level | 12,5 | kW/m2 | 43,1962 | 46,7448 |
| Radiation Level | 37,5 | kW/m2 | Not Reached | Not Reached |

### Early Pool Fire Hazard

**Path:** Study\CA2\Leak 50%

| | Dia | Noite |
|---|---|---|
| Early Pool Fire Status | Hazard | Hazard |

### Radiation Effects: Early Pool Fire Ellipse

**Path:** Study\CA2\Leak 50%

| | | | Distance (m) Dia | Distance (m) Noite |
|---|---|---|---|---|
| Radiation Level | 4 | kW/m2 | 37,1108 | 37,2337 |
| Radiation Level | 12,5 | kW/m2 | 24,4299 | 23,4168 |
| Radiation Level | 37,5 | kW/m2 | Not Reached | Not Reached |

### Late Pool Fire Hazard

**Path:** Study\CA2\Leak 50%

| | Dia | Noite |
|---|---|---|
| Late Pool Fire Status | Hazard | Hazard |

**Radiation Effects: Late Pool Fire Ellipse**

**Path:** Study\CA2\Leak 50%

| | | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| Radiation Level | 4 | kW/m2 | 37,1108 | 37,2337 |
| Radiation Level | 12,5 | kW/m2 | 24,4299 | 23,4168 |
| Radiation Level | 37,5 | kW/m2 | Not Reached | Not Reached |

**Flash Fire Envelope**

**Path:** Study\CA2\Leak 50%

All flammable results are reported at the cloud centreline height

| | | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| Furthest Extent | 80000 | ppm | 67,8393 | 32,1508 |
| Furthest Extent | 160000 | ppm | 41,1088 | 23,4567 |

| | | | | Heights (m) for above distances |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| Furthest Extent | 80000 | ppm | 0 | 8,11726 |
| Furthest Extent | 160000 | ppm | 0 | 4,52128 |

**Explosion Effects: Late Ignition**

**Path:** Study\CA2\Leak 50%

Explosion Model Used : TNT
Explosion Location Criterion: Cloud front (LFL fraction)
All distances are measured from the Source
All flammable results are reported at the cloud centreline height

| | | | Maximum Distance (m) at Overpressure Level | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Dia | Noite |
| Overpressure | 0,02068 | bar | 119,344 | 81,2442 |
| Overpressure | 0,1379 | bar | 75,3656 | 43,2684 |
| Overpressure | 0,2068 | bar | 71,8895 | 40,2668 |

| | | Supplementary Data at 0,02068 bar | |
|---|---|---|---|
| | | Dia | Noite |
| Supplied Flammable Mass | kg | 14,4221 | 9,28613 |
| Used Flammable Mass | kg | 14,4221 | 9,28613 |
| Overpressure Radius | m | 59,3438 | 51,2442 |
| Distance to: | | | |
| - Ignition Source | m | 60 | 30 |
| - Cloud Front/Centre | m | 60 | 30 |
| - Explosion Centre | m | 60 | 30 |

| | | Supplementary Data at 0,1379 bar | |
|---|---|---|---|
| | | Dia | Noite |
| Supplied Flammable Mass | kg | 14,4221 | 9,28613 |
| Used Flammable Mass | kg | 14,4221 | 9,28613 |
| Distance to: | | | |
| Overpressure Radius | m | 15,3656 | 13,2684 |
| - Ignition Source | m | 60 | 30 |
| - Cloud Front/Centre | m | 60 | 30 |
| - Explosion Centre | m | 60 | 30 |

| | | Supplementary Data at 0,2068 bar | |
|---|---|---|---|
| | | Dia | Noite |
| Supplied Flammable Mass | kg | 14,4221 | 9,28613 |
| Used Flammable Mass | kg | 14,4221 | 9,28613 |
| Distance to: | | | |
| Overpressure Radius | m | 11,8895 | 10,2668 |
| - Ignition Source | m | 60 | 30 |
| - Cloud Front/Centre | m | 60 | 30 |
| - Explosion Centre | m | 60 | 30 |

**Weather Conditions**

**Path:** Study\CA2\Leak 50%

| | | Dia | Noite |
|---|---|---|---|
| Wind Speed | m/s | 3 | 2 |
| Pasquill Stability | | C | E |
| Atmospheric Temperature | degC | 25 | 20 |
| Surface Temperature | degC | 30 | 25 |
| Relative Humidity | fraction | 0,8 | 0,8 |

**Estudo de caso combustiveis**

**Study**

**CA1\Catastrophic rupture**

**Base Case**

**CASE Name:** **Data**

**Path:** Study\CA1\Catastrophic rupture

**User-Defined Data**

**Scenario**

**Release location**

| | | |
|---|---|---|
| Tank head | 1 | m |
| [Elevation | 1 | m] |

**Material**

**Material**

| | |
|---|---|
| [User selected Flam/Toxic/Both results flag | Flammable] |

**Discharge parameters**

**Droplet breakup mechanism**

| | |
|---|---|
| [Droplet break-up mechanism - instantaneous | Use flashing correlation] |

**Dispersion**

**Dispersion scope**

| | |
|---|---|
| [Specify user-defined averaging time | No] |

**Bund, building and terrain: Default terrain**

**Dispersing surface**

| | |
|---|---|
| [Surface over which the dispersion occurs | Land] |
| Surface roughness length | 1 - Regular large obstacle coverage (suburb, forest) |

**Bund, building and terrain: BC**

**Bund properties**

| | | |
|---|---|---|
| Bund height | 1,5 | m |
| Bund area | 3000 | m2 |
| Bund failure modeling | Bund cannot fail | |

**Surface for pools**

| | |
|---|---|
| [Type of surface for pools | Concrete] |

**Bund, building and terrain**

**Building definition**

| | |
|---|---|
| [Specify the release building type | No] |

**Toxic parameters**

**Exposure time data**

| | | |
|---|---|---|
| [Set averaging time equal to exposure time | Use a fixed averaging time] | |

**Indoor toxic calculations**

| | | |
|---|---|---|
| [Specify the downwind building | Unselected] | |

**Toxic contours**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of toxic levels | 4] | |
| [Dose levels(1) | 130000] | |
| [Dose levels(2) | 1,3E+06] | |
| [Dose levels(3) | 1,3E+07] | |
| [Dose levels(4) | 1,3E+08] | |
| [Probit levels(1) | 2] | |
| [Probit levels(2) | 3] | |
| [Probit levels(3) | 4] | |
| [Probit levels(4) | 10] | |
| [Lethality levels(1) | 0,001 | fraction] |
| [Lethality levels(2) | 0,01 | fraction] |
| [Lethality levels(3) | 0,1 | fraction] |
| [Lethality levels(4) | 1 | fraction] |

**Flammable**

**Fireball emissive power**

| | | |
|---|---|---|
| Use vessel burst pressure | No | |

**Ignition and explosion**

| | | |
|---|---|---|
| [Supply late ignition location | No ignition location] | |
| [Explosion method | TNT] | |

**Jet fire method**

| | | |
|---|---|---|
| [Jet fire method | Cone model] | |

**Explosion parameters**

**TNT parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Air or ground burst | Air burst] | |
| [Default TNT explosion efficiency | 0,1 | fraction] |

**Vapour liquid method**

| | | |
|---|---|---|
| [Use of explosion mass modification factor | Early and late explosions] | |
| [Liquid mass modification factor for flammable mass | 3] | |

**Fireball**

**Calculation method**

| | | |
|---|---|---|
| [Fireball model | DNV recommended] | |

**Parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Mass modification factor | 3] | |

**Radiation levels**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of input radiation levels | 3] | |
| [Intensity levels(1) | 4 | kW/m2] |
| [Intensity levels(2) | 12,5 | kW/m2] |
| [Intensity levels(3) | 37,5 | kW/m2] |

**Which radiation levels to calculate**

| | | |
|---|---|---|
| [Calculate probit | No] | |
| [Calculate dose | No] | |
| [Calculate lethality | No] | |

**Jet fire**

**Cone model data**

| | | |
|---|---|---|
| [Horizontal options | Use standard method] | |
| [Correlation | DNV recommended] | |

**Parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Rate modification factor | 3] | |

**Radiation levels**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of input radiation levels | 3] | |
| [Intensity levels(1) | 4 | kW/m2] |
| [Intensity levels(2) | 12,5 | kW/m2] |
| [Intensity levels(3) | 37,5 | kW/m2] |

**Surface emissive power**

| | | |
|---|---|---|
| [Emissivity Method | Calculate SEP] | |

**Which radiation levels to calculate**

| | | |
|---|---|---|
| [Calculate probit | No] | |
| [Calculate dose | No] | |
| [Calculate lethality | No] | |

**Pool fire**

**Parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Radiative fraction for general fires | 0,4 | fraction] |

**Radiation levels**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of input radiation levels | 3] | |
| [Intensity levels(1) | 4 | kW/m2] |
| [Intensity levels(2) | 12,5 | kW/m2] |
| [Intensity levels(3) | 37,5 | kW/m2] |

**Which radiation levels to calculate**

| | | |
|---|---|---|
| [Calculate probit | No] | |
| [Calculate dose | No] | |
| [Calculate lethality | No] | |

**Path:** Study\CA1\Catastrophic rupture

**DISCHARGE DATA for Weather:** Weather folder\Diurno

| | | |
|---|---|---|
| Wind Speed: | 3,00 | m/s |
| Wind Speed at Height (Calculated) | 1,78 | m/s |
| Pasquill Stability: | C | |

**USER-DEFINED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Material | N-HEXANE | |
| Scenario | Catastrophic rupture | |
| Inventory | 328.013,10 | kg |
| Fixed Duration | n/a | s |

Stagnation data (data at upstream end for long pipe):

| | | |
|---|---|---|
| - Pressure | | bar |
| - Temperature | 25,00 | degC |
| - Fluid State | Liquid at atmospheric pressure | |

**CALCULATED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Mass Flow of Air (Vent from Vapor Space only) | n/a | |
| Mass Flowrate | | kg/s |
| Release Duration | n/a | s |

Orifice or pipe exit data (before atmospheric expansion):

| | | |
|---|---|---|
| - Pressure | n/a | bar |
| - Temperature | n/a | degC |
| - Vena Contracta Velocity (exit velocity for pipe releases) | n/a | m/s |
| - Discharge Coefficient | n/a | |

Final data (after atmospheric expansion):

| | | |
|---|---|---|
| - Temperature | 25,00 | degC |
| - Liquid Mass Fraction | 1,00 | fraction |
| - Droplet Diameter | 10.000,00 | um |
| - Expanded Radius | n/a | m |
| - Velocity | 1,08 | m/s |

**DISCHARGE DATA for Weather:** Weather folder\Noturno

| | | |
|---|---|---|
| Wind Speed: | 2,00 | m/s |
| Wind Speed at Height (Calculated) | 0,83 | m/s |
| Pasquill Stability: | E | |

**USER-DEFINED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Material | N-HEXANE | |
| Scenario | Catastrophic rupture | |
| Inventory | 328.013,10 | kg |
| Fixed Duration | n/a | s |

Stagnation data (data at upstream end for long pipe):

| | | |
|---|---|---|
| - Pressure | | bar |
| - Temperature | 25,00 | degC |
| - Fluid State | Liquid at atmospheric pressure | |

**CALCULATED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Mass Flow of Air (Vent from Vapor Space only) | n/a | |

| | | |
|---|---|---|
| Mass Flowrate | | kg/s |
| Release Duration | n/a | s |
| Orifice or pipe exit data (before atmospheric expansion): | | |
| - Pressure | n/a | bar |
| - Temperature | n/a | degC |
| - Vena Contracta Velocity (exit velocity for pipe releases) | n/a | m/s |
| - Discharge Coefficient | n/a | |
| Final data (after atmospheric expansion): | | |
| - Temperature | 25,00 | degC |
| - Liquid Mass Fraction | 1,00 | fraction |
| - Droplet Diameter | 10.000,00 | um |
| - Expanded Radius | n/a | m |
| - Velocity | 1,08 | m/s |

## Consequence Results

### Pool Vaporization Results

**Path:** Study\CA1\Catastrophic rupture

N.B. Pool vaporization segments begin when the cloud has left the pool

| | | Diurno | Noturno |
|---|---|---|---|
| Liquid Rainout | fraction | 0,998864 | 0,998922 |
| Initial Vapor Cloud | kg | 372,667 | 353,477 |
| Time Pool Left Behind | s | 46,0425 | 100,549 |
| Cloud Segment 1 | | | |
| Cloud Segment Duration | s | 3600 | 3600 |
| Pool Vaporization Rate | kg/s | 12,8084 | 10,3838 |
| Maximum Pool Radius | m | 30,9019 | 30,9019 |

### Distance to Concentration Results

**Path:** Study\CA1\Catastrophic rupture

The height for user defined concentrations is the user defined height 0 m
All toxic results are reported at the toxic effect height 0 m
All flammable results are reported at the cloud centreline height

| Concentration(ppm) | Averaging Time | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| UFL (76800) | 18,75 | s | 18,3262 | 21,2999 |
| LFL (10500) | 18,75 | s | 57,0603 | 58,8736 |
| LFL Frac (5250) | 18,75 | s | 87,052 | 80,7623 |

| Concentration(ppm) | Averaging Time | | | Heights (m) for above distances |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| UFL (76800) | 18,75 | s | 0 | 0 |
| LFL (10500) | 18,75 | s | 0 | 0 |
| LFL Frac (5250) | 18,75 | s | 0 | 0 |

### Late Pool Fire Hazard

**Path:** Study\CA1\Catastrophic rupture

| | Diurno | Noturno |
|---|---|---|
| Late Pool Fire Status | Hazard | Hazard |

### Radiation Effects: Late Pool Fire Ellipse

**Path:** Study\CA1\Catastrophic rupture

| | | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| Radiation Level | 4 | kW/m2 | 88,0011 | 81,0786 |
| Radiation Level | 12,5 | kW/m2 | 32,1788 | 31,9019 |
| Radiation Level | 37,5 | kW/m2 | Not Reached | Not Reached |

### Flash Fire Envelope

**Path:** Study\CA1\Catastrophic rupture

All flammable results are reported at the cloud centreline height

| | | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| Furthest Extent | 5250 | ppm | 87,052 | 80,7623 |
| Furthest Extent | 10500 | ppm | 57,0603 | 58,8736 |

| | | | | Heights (m) for above distances |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| Furthest Extent | 5250 | ppm | 0 | 0 |
| Furthest Extent | 10500 | ppm | 0 | 0 |

### Explosion Effects: Early Explosion

**Path:** Study\CA1\Catastrophic rupture

Early Explosions are assumed to be centered at the release location
Explosion Model Used : TNT

| | | | Diurno | Noturno |
|---|---|---|---|---|
| Supplied Flammable Mass | | kg | 328013 | 328013 |

| | | | Distance (m) at Overpressure Levels | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| Overpressure | 0,1 | bar | No Hazard | No Hazard |
| Overpressure | 0,3 | bar | No Hazard | No Hazard |
| Overpressure | 0,3 | bar | No Hazard | No Hazard |

| | | | Used Mass (kg) at Overpressure Levels | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| Overpressure | 0,1 | bar | 0 | 0 |
| Overpressure | 0,3 | bar | 0 | 0 |
| Overpressure | 0,3 | bar | 0 | 0 |

**Explosion Effects: Late Ignition**

**Path:** Study\CA1\Catastrophic rupture

Explosion Model Used : TNT
Explosion Location Criterion: Cloud front (LFL fraction)
All distances are measured from the Source
All flammable results are reported at the cloud centreline height

| | | | Maximum Distance (m) at Overpressure Level | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| Overpressure | 0,1 | bar | 125,867 | 136,439 |
| Overpressure | 0,3 | bar | 96,3138 | 103,176 |
| Overpressure | 0,3 | bar | 96,3138 | 103,176 |

| | | Supplementary Data at 0,1 bar | |
|---|---|---|---|
| | | Diurno | Noturno |
| Supplied Flammable Mass | kg | 251,477 | 258,089 |
| Used Flammable Mass | kg | 251,477 | 258,089 |
| Distance to: | | | |
| Overpressure Radius | m | 65,8671 | 66,4394 |
| - Ignition Source | m | 60 | 70 |
| - Cloud Front/Centre | m | 19,5631 | 19,2222 |
| - Explosion Centre | m | 60 | 70 |

| | | Supplementary Data at 0,3 bar | |
|---|---|---|---|
| | | Diurno | Noturno |
| Supplied Flammable Mass | kg | 128,786 | 258,089 |
| Used Flammable Mass | kg | 128,786 | 258,089 |
| Distance to: | | | |
| Overpressure Radius | m | 26,3138 | 33,1755 |
| - Ignition Source | m | 70 | 70 |
| - Cloud Front/Centre | m | 30,0288 | 19,2222 |
| - Explosion Centre | m | 70 | 70 |

| | | Supplementary Data at 0,3 bar | |
|---|---|---|---|
| | | Diurno | Noturno |
| Supplied Flammable Mass | kg | 128,786 | 258,089 |
| Used Flammable Mass | kg | 128,786 | 258,089 |
| Distance to: | | | |
| Overpressure Radius | m | 26,3138 | 33,1755 |
| - Ignition Source | m | 70 | 70 |
| - Cloud Front/Centre | m | 30,0288 | 19,2222 |
| - Explosion Centre | m | 70 | 70 |

**Weather Conditions**

**Path:** Study\CA1\Catastrophic rupture

| | | Diurno | Noturno |
|---|---|---|---|
| Wind Speed | m/s | 3 | 2 |
| Pasquill Stability | | C | E |
| Atmospheric Temperature | degC | 25 | 20 |
| Surface Temperature | degC | 30 | 25 |
| Relative Humidity | fraction | 0,8 | 0,8 |

**CA2\Catastrophic rupture**

**Base Case**

**CASE Name:** **Data**

**Path:** Study\CA2\Catastrophic rupture

**User-Defined Data**

**Scenario**

**Release location**

| | | |
|---|---|---|
| Tank head | 1 | m |
| [Elevation | 1 | m] |

**Material**

**Material**

| | |
|---|---|
| [User selected Flam/Toxic/Both results flag | Flammable] |

**Discharge parameters**

**Droplet breakup mechanism**

| | |
|---|---|
| [Droplet break-up mechanism - instantaneous | Use flashing correlation] |

**Dispersion**

**Dispersion scope**

| | |
|---|---|
| [Specify user-defined averaging time | No] |

**Bund, building and terrain: Default terrain**

**Dispersing surface**

| | |
|---|---|
| [Surface over which the dispersion occurs | Land] |
| Surface roughness length | 1 - Regular large obstacle coverage (suburb, forest) |

**Bund, building and terrain: BC**

**Bund properties**

| | | |
|---|---|---|
| Bund height | 1,5 | m |
| Bund area | 3000 | m2 |
| Bund failure modeling | Bund cannot fail | |

**Surface for pools**

| | |
|---|---|
| [Type of surface for pools | Concrete] |

**Bund, building and terrain**

**Building definition**

| | |
|---|---|
| [Specify the release building type | No] |

**Toxic parameters**

**Exposure time data**

| | |
|---|---|
| [Set averaging time equal to exposure time | Use a fixed averaging time] |

**Indoor toxic calculations**

| | | |
|---|---|---|
| [Specify the downwind building | Unselected] | |

**Toxic contours**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of toxic levels | 4] | |
| [Dose levels(1) | 130000] | |
| [Dose levels(2) | 1,3E+06] | |
| [Dose levels(3) | 1,3E+07] | |
| [Dose levels(4) | 1,3E+08] | |
| [Probit levels(1) | 2] | |
| [Probit levels(2) | 3] | |
| [Probit levels(3) | 4] | |
| [Probit levels(4) | 10] | |
| [Lethality levels(1) | 0,001 | fraction] |
| [Lethality levels(2) | 0,01 | fraction] |
| [Lethality levels(3) | 0,1 | fraction] |
| [Lethality levels(4) | 1 | fraction] |

**Flammable**

**Fireball emissive power**

| | | |
|---|---|---|
| Use vessel burst pressure | No | |

**Ignition and explosion**

| | | |
|---|---|---|
| [Supply late ignition location | No ignition location] | |
| [Explosion method | TNT] | |

**Jet fire method**

| | | |
|---|---|---|
| [Jet fire method | Cone model] | |

**Explosion parameters**

**TNT parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Air or ground burst | Air burst] | |
| [Default TNT explosion efficiency | 0,1 | fraction] |

**Vapour liquid method**

| | | |
|---|---|---|
| [Use of explosion mass modification factor | Early and late explosions] | |
| [Liquid mass modification factor for flammable mass | 3] | |

**Fireball**

**Calculation method**

| | | |
|---|---|---|
| [Fireball model | DNV recommended] | |

**Parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Mass modification factor | 3] | |

**Radiation levels**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of input radiation levels | 3] | |
| [Intensity levels(1) | 4 | kW/m2] |
| [Intensity levels(2) | 12,5 | kW/m2] |
| [Intensity levels(3) | 37,5 | kW/m2] |

**Which radiation levels to calculate**

| | | |
|---|---|---|
| [Calculate probit | No] | |
| [Calculate dose | No] | |
| [Calculate lethality | No] | |

**Jet fire**

**Cone model data**

| | | |
|---|---|---|
| [Horizontal options | Use standard method] | |
| [Correlation | DNV recommended] | |

**Parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Rate modification factor | 3] | |

**Radiation levels**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of input radiation levels | 3] | |
| [Intensity levels(1) | 4 | kW/m2] |
| [Intensity levels(2) | 12,5 | kW/m2] |
| [Intensity levels(3) | 37,5 | kW/m2] |

**Surface emissive power**

| | | |
|---|---|---|
| [Emissivity Method | Calculate SEP] | |

**Which radiation levels to calculate**

| | | |
|---|---|---|
| [Calculate probit | No] | |
| [Calculate dose | No] | |
| [Calculate lethality | No] | |

**Pool fire**

**Parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Radiative fraction for general fires | 0,4 | fraction] |

**Radiation levels**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of input radiation levels | 3] | |
| [Intensity levels(1) | 4 | kW/m2] |
| [Intensity levels(2) | 12,5 | kW/m2] |
| [Intensity levels(3) | 37,5 | kW/m2] |

**Which radiation levels to calculate**

| | | |
|---|---|---|
| [Calculate probit | No] | |
| [Calculate dose | No] | |
| [Calculate lethality | No] | |

**Path:** Study\CA2\Catastrophic rupture

**DISCHARGE DATA for Weather:** Weather folder\Diurno

Wind Speed: 3,00 m/s

| | | |
|---|---|---|
| Wind Speed at Height (Calculated) | 1,78 | m/s |
| Pasquill Stability: | C | |

**USER-DEFINED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Material | ETHANOL | |
| Scenario | Catastrophic rupture | |
| Inventory | 392.947,50 | kg |
| Fixed Duration | n/a | s |

Stagnation data (data at upstream end for long pipe):

| | | |
|---|---|---|
| - Pressure | | bar |
| - Temperature | 25,00 | degC |
| - Fluid State | Liquid at atmospheric pressure | |

**CALCULATED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Mass Flow of Air (Vent from Vapor Space only) | n/a | |
| Mass Flowrate | | kg/s |
| Release Duration | n/a | s |

Orifice or pipe exit data (before atmospheric expansion):

| | | |
|---|---|---|
| - Pressure | n/a | bar |
| - Temperature | n/a | degC |
| - Vena Contracta Velocity (exit velocity for pipe releases) | n/a | m/s |
| - Discharge Coefficient | n/a | |

Final data (after atmospheric expansion):

| | | |
|---|---|---|
| - Temperature | 25,00 | degC |
| - Liquid Mass Fraction | 1,00 | fraction |
| - Droplet Diameter | 10.000,00 | um |
| - Expanded Radius | n/a | m |
| - Velocity | 1,39 | m/s |

**DISCHARGE DATA for Weather:** Weather folder\Noturno

| | | |
|---|---|---|
| Wind Speed: | 2,00 | m/s |
| Wind Speed at Height (Calculated) | 0,83 | m/s |
| Pasquill Stability: | E | |

**USER-DEFINED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Material | ETHANOL | |
| Scenario | Catastrophic rupture | |
| Inventory | 392.947,50 | kg |
| Fixed Duration | n/a | s |

Stagnation data (data at upstream end for long pipe):

| | | |
|---|---|---|
| - Pressure | | bar |
| - Temperature | 25,00 | degC |
| - Fluid State | Liquid at atmospheric pressure | |

**CALCULATED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Mass Flow of Air (Vent from Vapor Space only) | n/a | |
| Mass Flowrate | | kg/s |
| Release Duration | n/a | s |

Orifice or pipe exit data (before atmospheric expansion):

| | | |
|---|---|---|
| - Pressure | n/a | bar |
| - Temperature | n/a | degC |
| - Vena Contracta Velocity (exit velocity for pipe releases) | n/a | m/s |
| - Discharge Coefficient | n/a | |
| Final data (after atmospheric expansion): | | |
| - Temperature | 25,00 | degC |
| - Liquid Mass Fraction | 1,00 | fraction |
| - Droplet Diameter | 10.000,00 | um |
| - Expanded Radius | n/a | m |
| - Velocity | 1,39 | m/s |

## Consequence Results

### Pool Vaporization Results

**Path:** Study\CA2\Catastrophic rupture

N.B. Pool vaporization segments begin when the cloud has left the pool

| | | Diurno | Noturno |
|---|---|---|---|
| Liquid Rainout | fraction | 0,999566 | 0,999567 |
| Initial Vapor Cloud | kg | 170,669 | 170,183 |
| Time Pool Left Behind | s | 32,6891 | 61,7957 |
| Cloud Segment 1 | | | |
| Cloud Segment Duration | s | 3600 | 3600 |
| Pool Vaporization Rate | kg/s | 3,69714 | 2,98755 |
| Maximum Pool Radius | m | 30,9019 | 30,9019 |

### Distance to Concentration Results

**Path:** Study\CA2\Catastrophic rupture

The height for user defined concentrations is the user defined height 0 m
All toxic results are reported at the toxic effect height 0 m
All flammable results are reported at the cloud centreline height

| Concentration(ppm) | Averaging Time | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| UFL (190000) | 18,75 | s | 13,5449 | 13,389 |
| LFL (43000) | 18,75 | s | 13,6991 | 14,5486 |
| LFL Frac (21500) | 18,75 | s | 28,5571 | 29,2671 |

| Concentration(ppm) | Averaging Time | | | Heights (m) for above distances |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| UFL (190000) | 18,75 | s | 0 | 0 |
| LFL (43000) | 18,75 | s | 0 | 0 |
| LFL Frac (21500) | 18,75 | s | 0 | 0 |

### Late Pool Fire Hazard

**Path:** Study\CA2\Catastrophic rupture

| | Diurno | Noturno |
|---|---|---|
| Late Pool Fire Status | Hazard | Hazard |

### Radiation Effects: Late Pool Fire Ellipse

**Path:** Study\CA2\Catastrophic rupture

| | | | Distance (m) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| Radiation Level | 4 | kW/m2 | 115,289 | 114,206 |
| Radiation Level | 12,5 | kW/m2 | 75,7518 | 73,4626 |
| Radiation Level | 37,5 | kW/m2 | 41,0352 | 39,1088 |

### Flash Fire Envelope

**Path:** Study\CA2\Catastrophic rupture

All flammable results are reported at the cloud centreline height

| | | | Distance (m) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| Furthest Extent | 21500 | ppm | 28,5571 | 29,2671 |
| Furthest Extent | 43000 | ppm | 13,6991 | 14,5486 |

| | | | Heights (m) for above distances | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| Furthest Extent | 21500 | ppm | 0 | 0 |
| Furthest Extent | 43000 | ppm | 0 | 0 |

### Explosion Effects: Early Explosion

**Path:** Study\CA2\Catastrophic rupture

Early Explosions are assumed to be centered at the release location
Explosion Model Used : TNT

| | | | Diurno | Noturno |
|---|---|---|---|---|
| Supplied Flammable Mass | | kg | 392947 | 392947 |

| | | | Distance (m) at Overpressure Levels | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| Overpressure | 0,1 | bar | No Hazard | No Hazard |
| Overpressure | 0,3 | bar | No Hazard | No Hazard |
| Overpressure | 0,3 | bar | No Hazard | No Hazard |

| | | | Used Mass (kg) at Overpressure Levels | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| Overpressure | 0,1 | bar | 0 | 0 |
| Overpressure | 0,3 | bar | 0 | 0 |
| Overpressure | 0,3 | bar | 0 | 0 |

**Explosion Effects: Late Ignition**

**Path:** Study\CA2\Catastrophic rupture

Explosion Model Used : TNT
Explosion Location Criterion: Cloud front (LFL fraction)
All distances are measured from the Source
All flammable results are reported at the cloud centreline height

| | | | Maximum Distance (m) at Overpressure Level | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| Overpressure | 0,1 | bar | 42,5842 | 46,3512 |
| Overpressure | 0,3 | bar | 31,2771 | 33,1581 |
| Overpressure | 0,3 | bar | 31,2771 | 33,1581 |

| | | Supplementary Data at 0,1 bar | |
|---|---|---|---|
| | | Diurno | Noturno |
| Supplied Flammable Mass | kg | 16,9158 | 26,8706 |
| Used Flammable Mass | kg | 16,9158 | 26,8706 |
| Distance to: | | | |
| Overpressure Radius | m | 22,5842 | 26,3512 |
| - Ignition Source | m | 20 | 20 |
| - Cloud Front/Centre | m | 4,97182 | 4,33182 |
| - Explosion Centre | m | 20 | 20 |

| | | Supplementary Data at 0,3 bar | |
|---|---|---|---|
| | | Diurno | Noturno |
| Supplied Flammable Mass | kg | 16,9158 | 26,8706 |
| Used Flammable Mass | kg | 16,9158 | 26,8706 |
| Distance to: | | | |
| Overpressure Radius | m | 11,2771 | 13,1581 |
| - Ignition Source | m | 20 | 20 |
| - Cloud Front/Centre | m | 4,97182 | 4,33182 |
| - Explosion Centre | m | 20 | 20 |

| | | Supplementary Data at 0,3 bar | |
|---|---|---|---|
| | | Diurno | Noturno |
| Supplied Flammable Mass | kg | 16,9158 | 26,8706 |
| Used Flammable Mass | kg | 16,9158 | 26,8706 |
| Overpressure Radius | m | 11,2771 | 13,1581 |
| Distance to: | | | |
| - Ignition Source | m | 20 | 20 |
| - Cloud Front/Centre | m | 4,97182 | 4,33182 |
| - Explosion Centre | m | 20 | 20 |

**Weather Conditions**

**Path:** Study\CA2\Catastrophic rupture

| | | Diurno | Noturno |
|---|---|---|---|
| Wind Speed | m/s | 3 | 2 |
| Pasquill Stability | | C | E |
| Atmospheric Temperature | degC | 25 | 20 |
| Surface Temperature | degC | 30 | 25 |
| Relative Humidity | fraction | 0,8 | 0,8 |

**CA3\Catastrophic rupture**

**Base Case**

**CASE Name:** **Data**

**Path:** Study\CA3\Catastrophic rupture

**User-Defined Data**

**Scenario**

**Release location**

| | | |
|---|---|---|
| Tank head | 1 | m |
| [Elevation | 1 | m] |

**Material**

**Material**

| | |
|---|---|
| [User selected Flam/Toxic/Both results flag | Flammable] |

**Discharge parameters**

**Droplet breakup mechanism**

| | |
|---|---|
| [Droplet break-up mechanism - instantaneous | Use flashing correlation] |

**Dispersion**

**Dispersion scope**

| | |
|---|---|
| [Specify user-defined averaging time | No] |

**Bund, building and terrain: Default terrain**

**Dispersing surface**

| | |
|---|---|
| [Surface over which the dispersion occurs | Land] |
| Surface roughness length | 1 - Regular large obstacle coverage (suburb, forest) |

**Bund, building and terrain: BC**

**Bund properties**

| | | |
|---|---|---|
| Bund height | 1,5 | m |
| Bund area | 3000 | m2 |
| Bund failure modeling | Bund cannot fail | |

**Surface for pools**

| | |
|---|---|
| [Type of surface for pools | Concrete] |

**Bund, building and terrain**

**Building definition**

| | |
|---|---|
| [Specify the release building type | No] |

**Toxic parameters**

**Exposure time data**

| | |
|---|---|
| [Set averaging time equal to exposure time | Use a fixed averaging time] |

**Indoor toxic calculations**

| | | |
|---|---|---|
| [Specify the downwind building | Unselected] | |

**Toxic contours**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of toxic levels | 4] | |
| [Dose levels(1) | 130000] | |
| [Dose levels(2) | 1,3E+06] | |
| [Dose levels(3) | 1,3E+07] | |
| [Dose levels(4) | 1,3E+08] | |
| [Probit levels(1) | 2] | |
| [Probit levels(2) | 3] | |
| [Probit levels(3) | 4] | |
| [Probit levels(4) | 10] | |
| [Lethality levels(1) | 0,001 | fraction] |
| [Lethality levels(2) | 0,01 | fraction] |
| [Lethality levels(3) | 0,1 | fraction] |
| [Lethality levels(4) | 1 | fraction] |

**Flammable**

**Fireball emissive power**

| | | |
|---|---|---|
| Use vessel burst pressure | No | |

**Ignition and explosion**

| | | |
|---|---|---|
| [Supply late ignition location | No ignition location] | |
| [Explosion method | TNT] | |

**Jet fire method**

| | | |
|---|---|---|
| [Jet fire method | Cone model] | |

**Explosion parameters**

**TNT parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Air or ground burst | Air burst] | |
| [Default TNT explosion efficiency | 0,1 | fraction] |

**Vapour liquid method**

| | | |
|---|---|---|
| [Use of explosion mass modification factor | Early and late explosions] | |
| [Liquid mass modification factor for flammable mass | 3] | |

**Fireball**

**Calculation method**

| | | |
|---|---|---|
| [Fireball model | DNV recommended] | |

**Parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Mass modification factor | 3] | |

**Radiation levels**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of input radiation levels | 3] | |
| [Intensity levels(1) | 4 | kW/m2] |
| [Intensity levels(2) | 12,5 | kW/m2] |
| [Intensity levels(3) | 37,5 | kW/m2] |

**Which radiation levels to calculate**

| | | |
|---|---|---|
| [Calculate probit | No] | |
| [Calculate dose | No] | |
| [Calculate lethality | No] | |

**Jet fire**

**Cone model data**

| | | |
|---|---|---|
| [Horizontal options | Use standard method] | |
| [Correlation | DNV recommended] | |

**Parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Rate modification factor | 3] | |

**Radiation levels**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of input radiation levels | 3] | |
| [Intensity levels(1) | 4 | kW/m2] |
| [Intensity levels(2) | 12,5 | kW/m2] |
| [Intensity levels(3) | 37,5 | kW/m2] |

**Surface emissive power**

| | | |
|---|---|---|
| [Emissivity Method | Calculate SEP] | |

**Which radiation levels to calculate**

| | | |
|---|---|---|
| [Calculate probit | No] | |
| [Calculate dose | No] | |
| [Calculate lethality | No] | |

**Pool fire**

**Parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Radiative fraction for general fires | 0,4 | fraction] |

**Radiation levels**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of input radiation levels | 3] | |
| [Intensity levels(1) | 4 | kW/m2] |
| [Intensity levels(2) | 12,5 | kW/m2] |
| [Intensity levels(3) | 37,5 | kW/m2] |

**Which radiation levels to calculate**

| | | |
|---|---|---|
| [Calculate probit | No] | |
| [Calculate dose | No] | |
| [Calculate lethality | No] | |

**Path:** Study\CA3\Catastrophic rupture

**DISCHARGE DATA for Weather:** Weather folder\Diurno

Wind Speed: 3,00 m/s

| | | |
|---|---|---|
| Wind Speed at Height (Calculated) | 1,78 | m/s |
| Pasquill Stability: | C | |

**USER-DEFINED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Material | N-NONANE | |
| Scenario | Catastrophic rupture | |
| Inventory | 357.146,32 | kg |
| Fixed Duration | n/a | s |

Stagnation data (data at upstream end for long pipe):

| | | |
|---|---|---|
| - Pressure | | bar |
| - Temperature | 25,00 | degC |
| - Fluid State | Liquid at atmospheric pressure | |

**CALCULATED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Mass Flow of Air (Vent from Vapor Space only) | n/a | |
| Mass Flowrate | | kg/s |
| Release Duration | n/a | s |

Orifice or pipe exit data (before atmospheric expansion):

| | | |
|---|---|---|
| - Pressure | n/a | bar |
| - Temperature | n/a | degC |
| - Vena Contracta Velocity (exit velocity for pipe releases) | n/a | m/s |
| - Discharge Coefficient | n/a | |

Final data (after atmospheric expansion):

| | | |
|---|---|---|
| - Temperature | 25,00 | degC |
| - Liquid Mass Fraction | 1,00 | fraction |
| - Droplet Diameter | 10.000,00 | um |
| - Expanded Radius | n/a | m |
| - Velocity | 0,92 | m/s |

**DISCHARGE DATA for Weather:** Weather folder\Noturno

| | | |
|---|---|---|
| Wind Speed: | 2,00 | m/s |
| Wind Speed at Height (Calculated) | 0,83 | m/s |
| Pasquill Stability: | E | |

**USER-DEFINED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Material | N-NONANE | |
| Scenario | Catastrophic rupture | |
| Inventory | 357.146,32 | kg |
| Fixed Duration | n/a | s |

Stagnation data (data at upstream end for long pipe):

| | | |
|---|---|---|
| - Pressure | | bar |
| - Temperature | 25,00 | degC |
| - Fluid State | Liquid at atmospheric pressure | |

**CALCULATED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Mass Flow of Air (Vent from Vapor Space only) | n/a | |
| Mass Flowrate | | kg/s |
| Release Duration | n/a | s |

Orifice or pipe exit data (before atmospheric expansion):

| | | |
|---|---|---|
| - Pressure | n/a | bar |
| - Temperature | n/a | degC |
| - Vena Contracta Velocity (exit velocity for pipe releases) | n/a | m/s |
| - Discharge Coefficient | n/a | |
| Final data (after atmospheric expansion): | | |
| - Temperature | 25,00 | degC |
| - Liquid Mass Fraction | 1,00 | fraction |
| - Droplet Diameter | 10.000,00 | um |
| - Expanded Radius | n/a | m |
| - Velocity | 0,92 | m/s |

## Consequence Results

### Pool Vaporization Results

**Path:** Study\CA3\Catastrophic rupture

N.B. Pool vaporization segments begin when the cloud has left the pool

| | | Diurno | Noturno |
|---|---|---|---|
| Liquid Rainout | fraction | 0,999974 | 0,999977 |
| Initial Vapor Cloud | kg | 9,43116 | 8,38572 |
| Time Pool Left Behind | s | 25,891 | 51,8562 |
| Cloud Segment 1 | | | |
| Cloud Segment Duration | s | 2277,68 | 2611,21 |
| Pool Vaporization Rate | kg/s | 0,674657 | 0,482403 |
| Cloud Segment 2 | | | |
| Cloud Segment Duration | s | 1322,32 | 988,79 |
| Pool Vaporization Rate | kg/s | 0,769108 | 0,542928 |
| Maximum Pool Radius | m | 30,9019 | 30,9019 |

### Distance to Concentration Results

**Path:** Study\CA3\Catastrophic rupture

The height for user defined concentrations is the user defined height 0 m
All toxic results are reported at the toxic effect height 0 m
All flammable results are reported at the cloud centreline height

| Concentration(ppm) | Averaging Time | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| UFL (56000) | 18,75 | s | 12,0577 | 11,987 |
| LFL (7000) | 18,75 | s | 12,1801 | 12,1092 |
| LFL Frac (3500) | 18,75 | s | 12,2097 | 20,2177 |

| Concentration(ppm) | Averaging Time | | | Heights (m) for above distances |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| UFL (56000) | 18,75 | s | 0 | 0 |
| LFL (7000) | 18,75 | s | 0 | 0 |
| LFL Frac (3500) | 18,75 | s | 0 | 0 |

### Late Pool Fire Hazard

**Path:** Study\CA3\Catastrophic rupture

| | Diurno | Noturno |
|---|---|---|
| Late Pool Fire Status | Hazard | Hazard |

### Radiation Effects: Late Pool Fire Ellipse

**Path:** Study\CA3\Catastrophic rupture

| | | | Distance (m) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| Radiation Level | 4 | kW/m2 | 82,6795 | 77,1646 |
| Radiation Level | 12,5 | kW/m2 | 32,0647 | 31,9019 |
| Radiation Level | 37,5 | kW/m2 | Not Reached | Not Reached |

### Flash Fire Envelope

**Path:** Study\CA3\Catastrophic rupture

All flammable results are reported at the cloud centreline height

| | | | Distance (m) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| Furthest Extent | 3500 | ppm | 12,2097 | 20,2177 |
| Furthest Extent | 7000 | ppm | 12,1801 | 12,1092 |

| | | | Heights (m) for above distances | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| Furthest Extent | 3500 | ppm | 0 | 0 |
| Furthest Extent | 7000 | ppm | 0 | 0 |

### Explosion Effects: Early Explosion

**Path:** Study\CA3\Catastrophic rupture

Early Explosions are assumed to be centered at the release location
Explosion Model Used : TNT

| | | | Diurno | Noturno |
|---|---|---|---|---|
| Supplied Flammable Mass | | kg | 357146 | 357146 |

| | | | Distance (m) at Overpressure Levels | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| Overpressure | 0,1 | bar | No Hazard | No Hazard |
| Overpressure | 0,3 | bar | No Hazard | No Hazard |
| Overpressure | 0,3 | bar | No Hazard | No Hazard |

| | | | Used Mass (kg) at Overpressure Levels | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| Overpressure | 0,1 | bar | 0 | 0 |
| Overpressure | 0,3 | bar | 0 | 0 |
| Overpressure | 0,3 | bar | 0 | 0 |

**Explosion Effects: Late Ignition**

**Path:** Study\CA3\Catastrophic rupture

Explosion Model Used : TNT
Explosion Location Criterion: Cloud front (LFL fraction)
All distances are measured from the Source
All flammable results are reported at the cloud centreline height

| | | | Maximum Distance (m) at Overpressure Level | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| Overpressure | 0,1 | bar | 17,1623 | 16,7144 |
| Overpressure | 0,3 | bar | 13,5764 | 13,3527 |
| Overpressure | 0,3 | bar | 13,5764 | 13,3527 |

| | | Supplementary Data at 0,1 bar | |
|---|---|---|---|
| | | Diurno | Noturno |
| Supplied Flammable Mass | kg | 0,326351 | 0,268874 |
| Used Flammable Mass | kg | 0,326351 | 0,268874 |
| Distance to: | | | |
| Overpressure Radius | m | 7,16232 | 6,71441 |
| - Ignition Source | m | 10 | 10 |
| - Cloud Front/Centre | m | 0,441223 | 0,406498 |
| - Explosion Centre | m | 10 | 10 |

| | | Supplementary Data at 0,3 bar | |
|---|---|---|---|
| | | Diurno | Noturno |
| Supplied Flammable Mass | kg | 0,326351 | 0,268874 |
| Used Flammable Mass | kg | 0,326351 | 0,268874 |
| Overpressure Radius | m | 3,5764 | 3,35274 |
| Distance to: | | | |
| - Ignition Source | m | 10 | 10 |
| - Cloud Front/Centre | m | 0,441223 | 0,406498 |
| - Explosion Centre | m | 10 | 10 |

| | | Supplementary Data at 0,3 bar | |
|---|---|---|---|
| | | Diurno | Noturno |
| Supplied Flammable Mass | kg | 0,326351 | 0,268874 |
| Used Flammable Mass | kg | 0,326351 | 0,268874 |
| Overpressure Radius | m | 3,5764 | 3,35274 |
| Distance to: | | | |
| - Ignition Source | m | 10 | 10 |
| - Cloud Front/Centre | m | 0,441223 | 0,406498 |
| - Explosion Centre | m | 10 | 10 |

**Weather Conditions**

**Path:** Study\CA3\Catastrophic rupture

| | | Diurno | Noturno |
|---|---|---|---|
| Wind Speed | m/s | 3 | 2 |
| Pasquill Stability | | C | E |
| Atmospheric Temperature | degC | 25 | 20 |
| Surface Temperature | degC | 30 | 25 |
| Relative Humidity | fraction | 0,8 | 0,8 |

**Estudo de caso glp**

**Study**

**CA1\Catastrophic rupture**

**Base Case**

**CASE Name:** **Data**

**Path:** Study\CA1\Catastrophic rupture

**User-Defined Data**

**Scenario**

**Release location**

| | | |
|---|---|---|
| Tank head | 1 | m |
| [Elevation | 1 | m] |

**Material**

**Material**

| | |
|---|---|
| [User selected Flam/Toxic/Both results flag | Flammable] |

**Phase**

| | |
|---|---|
| [Phase to be released | Liquid] |

**Discharge parameters**

**Droplet breakup mechanism**

| | |
|---|---|
| [Droplet break-up mechanism - instantaneous | Use flashing correlation] |

**Dispersion**

**Dispersion scope**

| | |
|---|---|
| [Specify user-defined averaging time | No] |

**Bund, building and terrain: Default terrain**

**Dispersing surface**

| | |
|---|---|
| [Surface over which the dispersion occurs | Land] |
| Surface roughness length | 1 - Regular large obstacle coverage (suburb, forest) |

**Bund, building and terrain: No bund**

**Bund properties**

| | | |
|---|---|---|
| [Bund height | 0 | m] |
| [Bund area | 0 | m2] |
| [Bund failure modeling | Bund cannot fail] | |

**Surface for pools**

| | |
|---|---|
| [Type of surface for pools | Concrete] |

**Bund, building and terrain**

**Building definition**

| | |
|---|---|
| [Specify the release building type | No] |

**Toxic parameters**

**Exposure time data**

| | | |
|---|---|---|
| [Set averaging time equal to exposure time | Use a fixed averaging time] | |

**Indoor toxic calculations**

| | | |
|---|---|---|
| [Specify the downwind building | Unselected] | |

**Toxic contours**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of toxic levels | 4] | |
| [Dose levels(1) | 130000] | |
| [Dose levels(2) | 1,3E+06] | |
| [Dose levels(3) | 1,3E+07] | |
| [Dose levels(4) | 1,3E+08] | |
| [Probit levels(1) | 2] | |
| [Probit levels(2) | 3] | |
| [Probit levels(3) | 4] | |
| [Probit levels(4) | 10] | |
| [Lethality levels(1) | 0,001 | fraction] |
| [Lethality levels(2) | 0,01 | fraction] |
| [Lethality levels(3) | 0,1 | fraction] |
| [Lethality levels(4) | 1 | fraction] |

**Flammable**

**Fireball emissive power**

| | | |
|---|---|---|
| Use vessel burst pressure | No | |

**Ignition and explosion**

| | | |
|---|---|---|
| [Supply late ignition location | No ignition location] | |
| [Explosion method | TNT] | |

**Jet fire method**

| | | |
|---|---|---|
| [Jet fire method | Cone model] | |

**Explosion parameters**

**TNT parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Air or ground burst | Air burst] | |
| [Default TNT explosion efficiency | 0,1 | fraction] |

**Vapour liquid method**

| | | |
|---|---|---|
| [Use of explosion mass modification factor | Early and late explosions] | |
| [Liquid mass modification factor for flammable mass | 3] | |

**Fireball**

**Calculation method**

| | | |
|---|---|---|
| [Fireball model | DNV recommended] | |

**Parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Mass modification factor | 3] | |

**Radiation levels**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of input radiation levels | 3] | |
| [Intensity levels(1) | 4 | kW/m2] |
| [Intensity levels(2) | 12,5 | kW/m2] |
| [Intensity levels(3) | 37,5 | kW/m2] |

**Which radiation levels to calculate**

| | |
|---|---|
| [Calculate probit | No] |
| [Calculate dose | No] |
| [Calculate lethality | No] |

**Pool fire**

**Parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Radiative fraction for general fires | 0,4 | fraction] |

**Radiation levels**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of input radiation levels | 3] | |
| [Intensity levels(1) | 4 | kW/m2] |
| [Intensity levels(2) | 12,5 | kW/m2] |
| [Intensity levels(3) | 37,5 | kW/m2] |

**Which radiation levels to calculate**

| | |
|---|---|
| [Calculate probit | No] |
| [Calculate dose | No] |
| [Calculate lethality | No] |

**Path:** Study\CA1\Catastrophic rupture

**DISCHARGE DATA for Weather:** Weather folder\Diurno

| | | |
|---|---|---|
| Wind Speed: | 3,00 | m/s |
| Wind Speed at Height (Calculated) | 1,78 | m/s |
| Pasquill Stability: | C | |

**USER-DEFINED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Material | GLP | |
| Scenario | Catastrophic rupture | |
| Inventory | 6.950,33 | kg |
| Fixed Duration | n/a | s |

Stagnation data (data at upstream end for long pipe):

| | | |
|---|---|---|
| - Pressure | 5,28 | bar |
| - Temperature | 25,00 | degC |
| - Fluid State | Saturated liquid | |

**CALCULATED QUANTITIES**

| | |
|---|---|
| Mass Flow of Air (Vent from Vapor Space only) | n/a |

| | | |
|---|---|---|
| Mass Flowrate | | kg/s |
| Release Duration | n/a | s |
| Orifice or pipe exit data (before atmospheric expansion): | | |
| - Pressure | n/a | bar |
| - Temperature | n/a | degC |
| - Vena Contracta Velocity (exit velocity for pipe releases) | n/a | m/s |
| - Discharge Coefficient | n/a | |
| Final data (after atmospheric expansion): | | |
| - Temperature | -25,39 | degC |
| - Liquid Mass Fraction | 0,73 | fraction |
| - Droplet Diameter | 181,83 | um |
| - Expanded Radius | n/a | m |
| - Velocity | 119,34 | m/s |

**DISCHARGE DATA for Weather:** Weather folder\Noturno

| | | |
|---|---|---|
| Wind Speed: | 2,00 | m/s |
| Wind Speed at Height (Calculated) | 0,83 | m/s |
| Pasquill Stability: | E | |

**USER-DEFINED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Material | GLP | |
| Scenario | Catastrophic rupture | |
| Inventory | 6.950,33 | kg |
| Fixed Duration | n/a | s |
| Stagnation data (data at upstream end for long pipe): | | |
| - Pressure | 5,28 | bar |
| - Temperature | 25,00 | degC |
| - Fluid State | Saturated liquid | |

**CALCULATED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Mass Flow of Air (Vent from Vapor Space only) | n/a | |
| Mass Flowrate | | kg/s |
| Release Duration | n/a | s |
| Orifice or pipe exit data (before atmospheric expansion): | | |
| - Pressure | n/a | bar |
| - Temperature | n/a | degC |
| - Vena Contracta Velocity (exit velocity for pipe releases) | n/a | m/s |
| - Discharge Coefficient | n/a | |
| Final data (after atmospheric expansion): | | |
| - Temperature | -25,39 | degC |
| - Liquid Mass Fraction | 0,73 | fraction |
| - Droplet Diameter | 181,83 | um |
| - Expanded Radius | n/a | m |
| - Velocity | 119,34 | m/s |

## Consequence Results

### Distance to Concentration Results

**Path:** Study\CA1\Catastrophic rupture

The height for user defined concentrations is the user defined height 0 m
All toxic results are reported at the toxic effect height 0 m
All flammable results are reported at the cloud centreline height

| Concentration(ppm) | Averaging Time | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| UFL (91935,5) | 18,75 | s | 21,266 | 19,3531 |
| LFL (16666,7) | 18,75 | s | 122,388 | 111,33 |
| LFL Frac (8333,33) | 18,75 | s | 190,189 | 180,722 |

| Concentration(ppm) | Averaging Time | | | Heights (m) for above distances |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| UFL (91935,5) | 18,75 | s | 1 | 1 |
| LFL (16666,7) | 18,75 | s | 0 | 0 |
| LFL Frac (8333,33) | 18,75 | s | 0 | 0 |

### Fireball Hazard

**Path:** Study\CA1\Catastrophic rupture

| | Diurno | Noturno |
|---|---|---|
| Fireball Flame Status | Hazard | Hazard |

### Radiation Effects: Fireball Ellipse

**Path:** Study\CA1\Catastrophic rupture

| | | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| Radiation Level | 4 | kW/m2 | 265,071 | 270,54 |
| Radiation Level | 12,5 | kW/m2 | 131,215 | 134,481 |
| Radiation Level | 37,5 | kW/m2 | Not Reached | Not Reached |

### Flash Fire Envelope

**Path:** Study\CA1\Catastrophic rupture

All flammable results are reported at the cloud centreline height

| | | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| Furthest Extent | 8333,33 | ppm | 190,189 | 180,722 |
| Furthest Extent | 16666,7 | ppm | 122,388 | 111,33 |

| | | | | Heights (m) for above distances |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| Furthest Extent | 8333,33 | ppm | 0 | 0 |
| Furthest Extent | 16666,7 | ppm | 0 | 0 |

**Explosion Effects: Early Explosion**

**Path:** Study\CA1\Catastrophic rupture

Early Explosions are assumed to be centered at the release location
Explosion Model Used : TNT

| | | | Diurno | Noturno |
|---|---|---|---|---|
| Supplied Flammable Mass | | kg | 6950,33 | 6950,33 |

| | | | Distance (m) at Overpressure Levels | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| Overpressure | 0,1 | bar | 188,114 | 188,114 |
| Overpressure | 0,3 | bar | 93,9317 | 93,9317 |
| Overpressure | 0,3 | bar | 93,9317 | 93,9317 |

| | | | Used Mass (kg) at Overpressure Levels | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| Overpressure | 0,1 | bar | 5706,22 | 5706,22 |
| Overpressure | 0,3 | bar | 5706,22 | 5706,22 |
| Overpressure | 0,3 | bar | 5706,22 | 5706,22 |

**Explosion Effects: Late Ignition**

**Path:** Study\CA1\Catastrophic rupture

Explosion Model Used : TNT
Explosion Location Criterion: Cloud front (LFL fraction)
All distances are measured from the Source
All flammable results are reported at the cloud centreline height

| | | | Maximum Distance (m) at Overpressure Level | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| Overpressure | 0,1 | bar | 252,652 | 251,481 |
| Overpressure | 0,3 | bar | 204,487 | 203,993 |
| Overpressure | 0,3 | bar | 204,487 | 203,993 |

| | | Supplementary Data at 0,1 bar | |
|---|---|---|---|
| | | Diurno | Noturno |
| Supplied Flammable Mass | kg | 927,223 | 895,859 |
| Used Flammable Mass | kg | 927,223 | 895,859 |
| Overpressure Radius | m | 102,652 | 101,481 |
| Distance to: | | | |
| - Ignition Source | m | 150 | 150 |
| - Cloud Front/Centre | m | 69,5676 | 55,5806 |
| - Explosion Centre | m | 150 | 150 |

| | | Supplementary Data at 0,3 bar | |
|---|---|---|---|
| | | Diurno | Noturno |
| Supplied Flammable Mass | kg | 606,211 | 586,239 |
| Used Flammable Mass | kg | 606,211 | 586,239 |
| Overpressure Radius | m | 44,4874 | 43,9934 |
| Distance to: | | | |
| - Ignition Source | m | 160 | 160 |
| - Cloud Front/Centre | m | 77,361 | 62,0285 |
| - Explosion Centre | m | 160 | 160 |

| | | Supplementary Data at 0,3 bar | |
|---|---|---|---|
| | | Diurno | Noturno |
| Supplied Flammable Mass | kg | 606,211 | 586,239 |
| Used Flammable Mass | kg | 606,211 | 586,239 |
| Overpressure Radius | m | 44,4874 | 43,9934 |
| Distance to: | | | |
| - Ignition Source | m | 160 | 160 |
| - Cloud Front/Centre | m | 77,361 | 62,0285 |
| - Explosion Centre | m | 160 | 160 |

**Weather Conditions**

**Path:** Study\CA1\Catastrophic rupture

| | | Diurno | Noturno |
|---|---|---|---|
| Wind Speed | m/s | 3 | 2 |
| Pasquill Stability | | C | E |
| Atmospheric Temperature | degC | 25 | 20 |
| Surface Temperature | degC | 30 | 25 |
| Relative Humidity | fraction | 0,8 | 0,8 |

**CA2\Leak**

**Base Case**

**CASE Name:** **Data**

**Path:** Study\CA2\Leak

**User-Defined Data**

**Scenario**

**Direction**

| | |
|---|---|
| [Outdoor release direction | Horizontal] |

**Hole**

| | |
|---|---|
| Orifice diameter | 50,8 mm |
| Use specified discharge coefficient? | No |

**Release location**

| | |
|---|---|
| [Tank head | 0 m] |
| [Elevation | 1 m] |

**Material**

**Material**

| | |
|---|---|
| [User selected Flam/Toxic/Both results flag | Flammable] |

**Phase**

| | |
|---|---|
| [Phase to be released | Liquid] |

**Discharge parameters**

**Droplet breakup mechanism**

| | |
|---|---|
| [Droplet break-up mechanism - instantaneous | Use flashing correlation] |
| [Droplet break-up mechanism - continuous | Do not force correlation] |

**Model settings**

| | |
|---|---|
| [Atmospheric expansion method | Closest to initial conditions] |
| [Is flashing allowed to the orifice? | No flashing in the orifice] |

**Dispersion**

**Dispersion scope**

| | |
|---|---|
| [Specify user-defined averaging time | No] |

**Bund, building and terrain: Default terrain**

**Dispersing surface**

| | |
|---|---|
| [Surface over which the dispersion occurs | Land] |
| Surface roughness length | 1 - Regular large obstacle coverage (suburb, forest) |

**Bund, building and terrain: No bund**

**Bund properties**

| | |
|---|---|
| [Bund height | 0 m] |
| [Bund area | 0 m2] |

| | | |
|---|---|---|
| [Bund failure modeling | Bund cannot fail] | |

**Surface for pools**

| | | |
|---|---|---|
| [Type of surface for pools | Concrete] | |

**Bund, building and terrain**

**Building definition**

| | | |
|---|---|---|
| [Specify the release building type | No] | |

**Toxic parameters**

**Exposure time data**

| | | |
|---|---|---|
| [Set averaging time equal to exposure time | Use a fixed averaging time] | |

**Indoor toxic calculations**

| | | |
|---|---|---|
| [Specify the downwind building | Unselected] | |

**Toxic contours**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of toxic levels | 4] | |
| [Dose levels(1) | 130000] | |
| [Dose levels(2) | 1,3E+06] | |
| [Dose levels(3) | 1,3E+07] | |
| [Dose levels(4) | 1,3E+08] | |
| [Probit levels(1) | 2] | |
| [Probit levels(2) | 3] | |
| [Probit levels(3) | 4] | |
| [Probit levels(4) | 10] | |
| [Lethality levels(1) | 0,001 | fraction] |
| [Lethality levels(2) | 0,01 | fraction] |
| [Lethality levels(3) | 0,1 | fraction] |
| [Lethality levels(4) | 1 | fraction] |

**Flammable**

**Ignition and explosion**

| | | |
|---|---|---|
| [Supply late ignition location | No ignition location] | |
| [Explosion method | TNT] | |

**Jet fire method**

| | | |
|---|---|---|
| [Jet fire method | Cone model] | |

**Explosion parameters**

**TNT parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Air or ground burst | Air burst] | |
| [Default TNT explosion efficiency | 0,1 | fraction] |

**Vapour liquid method**

| | | |
|---|---|---|
| [Use of explosion mass modification factor | Early and late explosions] | |
| [Liquid mass modification factor for flammable mass | 3] | |

**Fireball**

**Calculation method**

| | | |
|---|---|---|
| [Fireball model | DNV recommended] | |

**Parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Mass modification factor | 3] | |

**Radiation levels**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of input radiation levels | 3] | |
| [Intensity levels(1) | 4 | kW/m2] |
| [Intensity levels(2) | 12,5 | kW/m2] |
| [Intensity levels(3) | 37,5 | kW/m2] |

**Which radiation levels to calculate**

| | | |
|---|---|---|
| [Calculate probit | No] | |
| [Calculate dose | No] | |
| [Calculate lethality | No] | |

**Jet fire**

**Cone model data**

| | | |
|---|---|---|
| [Horizontal options | Use standard method] | |
| [Correlation | DNV recommended] | |

**Parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Rate modification factor | 3] | |

**Radiation levels**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of input radiation levels | 3] | |
| [Intensity levels(1) | 4 | kW/m2] |
| [Intensity levels(2) | 12,5 | kW/m2] |
| [Intensity levels(3) | 37,5 | kW/m2] |

**Surface emissive power**

| | | |
|---|---|---|
| [Emissivity Method | Calculate SEP] | |

**Which radiation levels to calculate**

| | | |
|---|---|---|
| [Calculate probit | No] | |
| [Calculate dose | No] | |
| [Calculate lethality | No] | |

**Pool fire**

**Parameters**

| | | |
|---|---|---|
| [Radiative fraction for general fires | 0,4 | fraction] |

**Radiation levels**

| | | |
|---|---|---|
| [Number of input radiation levels | 3] | |
| [Intensity levels(1) | 4 | kW/m2] |
| [Intensity levels(2) | 12,5 | kW/m2] |
| [Intensity levels(3) | 37,5 | kW/m2] |

**Which radiation levels to calculate**

| | |
|---|---|
| [Calculate probit | No] |
| [Calculate dose | No] |
| [Calculate lethality | No] |

**Path:** Study\CA2\Leak

**DISCHARGE DATA for Weather:** Weather folder\Diurno

| | | |
|---|---|---|
| Wind Speed: | 3,00 | m/s |
| Wind Speed at Height (Calculated) | 1,78 | m/s |
| Pasquill Stability: | C | |

**USER-DEFINED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Material | GLP | |
| Scenario | Leak | |
| Inventory | 6.950,33 | kg |
| Fixed Duration | n/a | s |

Stagnation data (data at upstream end for long pipe):

| | | |
|---|---|---|
| - Pressure | 5,28 | bar |
| - Temperature | 25,00 | degC |
| - Fluid State | Saturated liquid | |

**CALCULATED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Mass Flow of Air (Vent from Vapor Space only) | n/a | |
| Mass Flowrate | 27,14 | kg/s |
| Release Duration | 256,09 | s |

Orifice or pipe exit data (before atmospheric expansion):

| | | |
|---|---|---|
| - Pressure | 1,01 | bar |
| - Temperature | 24,72 | degC |
| - Vena Contracta Velocity (exit velocity for pipe releases) | 41,09 | m/s |
| - Discharge Coefficient | 0,60 | |

Final data (after atmospheric expansion):

| | | |
|---|---|---|
| - Temperature | -25,39 | degC |
| - Liquid Mass Fraction | 0,73 | fraction |
| - Droplet Diameter | 191,14 | um |
| - Expanded Radius | 0,08 | m |
| - Velocity | 125,75 | m/s |

**DISCHARGE DATA for Weather:** Weather folder\Noturno

| | | |
|---|---|---|
| Wind Speed: | 2,00 | m/s |
| Wind Speed at Height (Calculated) | 0,83 | m/s |
| Pasquill Stability: | E | |

**USER-DEFINED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Material | GLP | |
| Scenario | Leak | |
| Inventory | 6.950,33 | kg |

| | | |
|---|---|---|
| Fixed Duration | n/a | s |
| Stagnation data (data at upstream end for long pipe): | | |
| - Pressure | 5,28 | bar |
| - Temperature | 25,00 | degC |
| - Fluid State | Saturated liquid | |

**CALCULATED QUANTITIES**

| | | |
|---|---|---|
| Mass Flow of Air (Vent from Vapor Space only) | n/a | |
| Mass Flowrate | 27,14 | kg/s |
| Release Duration | 256,09 | s |
| Orifice or pipe exit data (before atmospheric expansion): | | |
| - Pressure | 1,01 | bar |
| - Temperature | 24,72 | degC |
| - Vena Contracta Velocity (exit velocity for pipe releases) | 41,09 | m/s |
| - Discharge Coefficient | 0,60 | |
| Final data (after atmospheric expansion): | | |
| - Temperature | -25,39 | degC |
| - Liquid Mass Fraction | 0,73 | fraction |
| - Droplet Diameter | 191,14 | um |
| - Expanded Radius | 0,08 | m |
| - Velocity | 125,75 | m/s |

## Consequence Results

### Distance to Concentration Results

**Path:** Study\CA2\Leak

The height for user defined concentrations is the user defined height 0 m
All toxic results are reported at the toxic effect height 0 m
All flammable results are reported at the cloud centreline height

| Concentration(ppm) | Averaging Time | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| UFL (91935,5) | 18,75 | s | 15,8237 | 16,7742 |
| LFL (16666,7) | 18,75 | s | 108,211 | 129,915 |
| LFL Frac (8333,33) | 18,75 | s | 145,075 | 168,983 |

| Concentration(ppm) | Averaging Time | | | Heights (m) for above distances |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| UFL (91935,5) | 18,75 | s | 0,893925 | 0,872613 |
| LFL (16666,7) | 18,75 | s | 0 | 0 |
| LFL Frac (8333,33) | 18,75 | s | 0 | 0 |

### Jet Fire Hazard

**Path:** Study\CA2\Leak

Jet fire method used: Cone model - DNV recommended

| | Diurno | Noturno |
|---|---|---|
| Jet Fire Status | Truncated | Truncated |
| Flame Direction | Horizontal | Horizontal |

### Radiation Effects: Jet Fire Ellipse

**Path:** Study\CA2\Leak

This table gives the distances to the specified radiation levels
for each jet fire listed in the above hazard table

| | | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| Radiation Level | 4 | kW/m2 | 115,34 | 120,666 |
| Radiation Level | 12,5 | kW/m2 | 88,4495 | 94,0078 |
| Radiation Level | 37,5 | kW/m2 | 72,5296 | 78,1811 |

**Flash Fire Envelope**

**Path:** Study\CA2\Leak

All flammable results are reported at the cloud centreline height

| | | | | Distance (m) |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| Furthest Extent | 8333,33 | ppm | 145,075 | 168,983 |
| Furthest Extent | 16666,7 | ppm | 108,211 | 129,915 |

| | | | | Heights (m) for above distances |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| Furthest Extent | 8333,33 | ppm | 0 | 0 |
| Furthest Extent | 16666,7 | ppm | 0 | 0 |

**Explosion Effects: Late Ignition**

**Path:** Study\CA2\Leak

Explosion Model Used : TNT
Explosion Location Criterion: Cloud front (LFL fraction)
All distances are measured from the Source
All flammable results are reported at the cloud centreline height

| | | | Maximum Distance (m) at Overpressure Level | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Diurno | Noturno |
| Overpressure | 0,1 | bar | 208,244 | 252,425 |
| Overpressure | 0,3 | bar | 174,077 | 206,151 |
| Overpressure | 0,3 | bar | 174,077 | 206,151 |

| | | Supplementary Data at 0,1 bar | |
|---|---|---|---|
| | | Diurno | Noturno |
| Supplied Flammable Mass | kg | 272,447 | 676,788 |
| Used Flammable Mass | kg | 272,447 | 676,788 |
| Overpressure Radius | m | 68,2441 | 92,4247 |
| Distance to: | | | |
| - Ignition Source | m | 140 | 160 |
| - Cloud Front/Centre | m | 140 | 160 |
| - Explosion Centre | m | 140 | 160 |

| | | Supplementary Data at 0,3 bar | |
|---|---|---|---|
| | | Diurno | Noturno |
| Supplied Flammable Mass | kg | 272,447 | 676,788 |
| Used Flammable Mass | kg | 272,447 | 676,788 |
| Overpressure Radius | m | 34,0767 | 46,1509 |
| Distance to: | | | |
| - Ignition Source | m | 140 | 160 |
| - Cloud Front/Centre | m | 140 | 160 |
| - Explosion Centre | m | 140 | 160 |

| | | Supplementary Data at 0,3 bar | |
|---|---|---|---|
| | | Diurno | Noturno |
| Supplied Flammable Mass | kg | 272,447 | 676,788 |
| Used Flammable Mass | kg | 272,447 | 676,788 |
| Distance to: | | | |
| Overpressure Radius | m | 34,0767 | 46,1509 |
| - Ignition Source | m | 140 | 160 |
| - Cloud Front/Centre | m | 140 | 160 |
| - Explosion Centre | m | 140 | 160 |

**Weather Conditions**

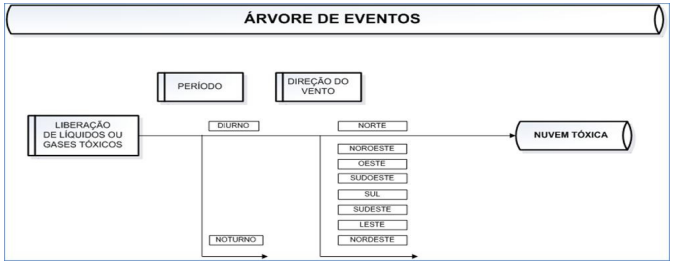
**Path:** Study\CA2\Leak

| | | Diurno | Noturno |
|---|---|---|---|
| Wind Speed | m/s | 3 | 2 |
| Pasquill Stability | | C | E |
| Atmospheric Temperature | degC | 25 | 20 |
| Surface Temperature | degC | 30 | 25 |
| Relative Humidity | fraction | 0,8 | 0,8 |

# Anexo B

## Memorias de cálculo do Risco

# Estação de tratamento de águas com cloro




| Taxas basicas de falhas | |
|---|---|
| Comp. | Taxa de falha |
| Tanque | 1,00E-04 |
| vaso | 2,00E-06 |
| tubulação | 3,00E-07 |
| válvula | 1,00E-05 |

| Probabilidades | |
|---|---|
| Periodo do dia | |
| dia | 4,17E-01 |
| noite | 5,83E-01 |

| | |
|---|---|
| Direção do vento | 1,25E-01 |
| (N, NE, L, SE, S, SO, O, NO) | |

| ***Frequencia dos eventos iniciadores*** | | |
|---|---|---|
| ***EI 1.1*** | | |
| Vaso | 6 | 1,20E-05 |
| Tubulação | 0 | 0,00E+00 |
| Válvula | 0 | 0,00E+00 |
| Freq. EI1 | ∑fi | 1,20E-05 |

| ***EI 1.2*** | | |
|---|---|---|
| Vaso | 0 | 0,00E+00 |
| Tubulação | 30 | 9,00E-06 |
| Válvula | 12 | 1,20E-04 |
| Freq. EI2 | ∑fi | 1,29E-04 |

| Frequencia dos cenarios acidentais | |
|---|---|
| Formação de nuvem tóxica | |
| CA1.1 | Fca1=Fev1*Pdn*Pv |
| CA1.2 | Fca2=Fev2*Pdn*Pv |

| ***Frequencia dos cenarios acidentais*** | | |
|---|---|---|
| Nuvem tóxica | | |
| Dia | CA1.1 | 6,25E-07 |
| | CA1.2 | 6,72E-06 |
| | | |
| Noite | CA1.1 | 8,75E-07 |
| | CA1.2 | 9,41E-06 |
| | | |

# *Cáculo do risco individual*

| | | | | | | | | | | Y=aX+b | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | Coeficientes reta | |
| | | Ref | Fcenario | Pmorte | Alcande 1% | Risco 1% | Pmorte 50% | Alcance50% | Risco50% | A | B |
| Formação de nuvem tóxica | Dia | CA1.1 | 6,25E-07 | 1% | 215 | 6,25E-09 | 50% | 87 | 3,13E-07 | -2,39258E-09 | 5,21E-07 |
| | | CA1.2 | 6,72E-06 | 1% | 215 | 6,72E-08 | 50% | 87 | 3,36E-06 | -2,57202E-08 | 5,60E-06 |
| | Noite | CA1.1 | 8,75E-07 | 1% | 484 | 8,75E-09 | 50% | 135 | 4,38E-07 | -1,22851E-09 | 6,03E-07 |
| | | CA1.2 | 9,41E-06 | 1% | 484 | 9,41E-08 | 50% | 135 | 4,70E-06 | -1,32065E-08 | 6,49E-06 |

MC RISCO INDIVIDUAL INSTALAÇÃO 1

| | Nuvem toxica | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Dia | | Noite | |
| | 1.1 | 1.2 | 1.1 | 1.2 |
| Coef. Angular (A) | -2,39E-09 | -2,57E-08 | -1,23E-09 | -1,32E-08 |
| Coef. Linear (B) | 5,21E-07 | 5,60E-06 | 6,03E-07 | 6,49E-06 |
| Risco maximo | 6,25E-07 | 6,72E-06 | 8,75E-07 | 9,41E-06 |

Y=aX+b R=aL+b

| Distancia (m) | | | | | ∑Risco |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 5,21E-07 | 5,60E-06 | 6,03E-07 | 6,49E-06 | 1,32E-05 |
| 5 | 5,09E-07 | 5,47E-06 | 5,97E-07 | 6,42E-06 | 1,30E-05 |
| 10 | 4,97E-07 | 5,34E-06 | 5,91E-07 | 6,35E-06 | 1,28E-05 |
| 15 | 4,85E-07 | 5,21E-06 | 5,85E-07 | 6,29E-06 | 1,26E-05 |
| 20 | 4,73E-07 | 5,08E-06 | 5,79E-07 | 6,22E-06 | 1,24E-05 |
| 25 | 4,61E-07 | 4,95E-06 | 5,73E-07 | 6,16E-06 | 1,21E-05 |
| 30 | 4,49E-07 | 4,83E-06 | 5,66E-07 | 6,09E-06 | 1,19E-05 |
| 35 | 4,37E-07 | 4,70E-06 | 5,60E-07 | 6,02E-06 | 1,17E-05 |
| 40 | 4,25E-07 | 4,57E-06 | 5,54E-07 | 5,96E-06 | 1,15E-05 |
| 45 | 4,13E-07 | 4,44E-06 | 5,48E-07 | 5,89E-06 | 1,13E-05 |
| 50 | 4,01E-07 | 4,31E-06 | 5,42E-07 | 5,83E-06 | 1,11E-05 |
| 55 | 3,89E-07 | 4,18E-06 | 5,36E-07 | 5,76E-06 | 1,09E-05 |
| 60 | 3,77E-07 | 4,05E-06 | 5,30E-07 | 5,69E-06 | 1,07E-05 |
| 65 | 3,65E-07 | 3,93E-06 | 5,23E-07 | 5,63E-06 | 1,04E-05 |
| 70 | 3,53E-07 | 3,80E-06 | 5,17E-07 | 5,56E-06 | 1,02E-05 |
| 75 | 3,41E-07 | 3,67E-06 | 5,11E-07 | 5,50E-06 | 1,00E-05 |
| 80 | 3,29E-07 | 3,54E-06 | 5,05E-07 | 5,43E-06 | 9,80E-06 |
| 85 | 3,17E-07 | 3,41E-06 | 4,99E-07 | 5,36E-06 | 9,59E-06 |
| 90 | 3,05E-07 | 3,28E-06 | 4,93E-07 | 5,30E-06 | 9,38E-06 |
| 95 | 2,93E-07 | 3,15E-06 | 4,87E-07 | 5,23E-06 | 9,16E-06 |
| 100 | 2,81E-07 | 3,03E-06 | 4,80E-07 | 5,17E-06 | 8,95E-06 |
| 105 | 2,69E-07 | 2,90E-06 | 4,74E-07 | 5,10E-06 | 8,74E-06 |
| 110 | 2,57E-07 | 2,77E-06 | 4,68E-07 | 5,03E-06 | 8,53E-06 |
| 115 | 2,46E-07 | 2,64E-06 | 4,62E-07 | 4,97E-06 | 8,31E-06 |
| 120 | 2,34E-07 | 2,51E-06 | 4,56E-07 | 4,90E-06 | 8,10E-06 |
| 125 | 2,22E-07 | 2,38E-06 | 4,50E-07 | 4,84E-06 | 7,89E-06 |
| 130 | 2,10E-07 | 2,25E-06 | 4,44E-07 | 4,77E-06 | 7,68E-06 |
| 135 | 1,98E-07 | 2,12E-06 | 4,38E-07 | 4,70E-06 | 7,46E-06 |
| 140 | 1,86E-07 | 2,00E-06 | 4,31E-07 | 4,64E-06 | 7,25E-06 |
| 145 | 1,74E-07 | 1,87E-06 | 4,25E-07 | 4,57E-06 | 7,04E-06 |
| 150 | 1,62E-07 | 1,74E-06 | 4,19E-07 | 4,51E-06 | 6,82E-06 |
| 155 | 1,50E-07 | 1,61E-06 | 4,13E-07 | 4,44E-06 | 6,61E-06 |
| 160 | 1,38E-07 | 1,48E-06 | 4,07E-07 | 4,37E-06 | 6,40E-06 |
| 165 | 1,26E-07 | 1,35E-06 | 4,01E-07 | 4,31E-06 | 6,19E-06 |
| 170 | 1,14E-07 | 1,22E-06 | 3,95E-07 | 4,24E-06 | 5,97E-06 |
| 175 | 1,02E-07 | 1,10E-06 | 3,88E-07 | 4,17E-06 | 5,76E-06 |
| 180 | 9,00E-08 | 9,67E-07 | 3,82E-07 | 4,11E-06 | 5,55E-06 |
| 185 | 7,80E-08 | 8,39E-07 | 3,76E-07 | 4,04E-06 | 5,34E-06 |
| 190 | 6,61E-08 | 7,10E-07 | 3,70E-07 | 3,98E-06 | 5,12E-06 |
| 195 | 5,41E-08 | 5,82E-07 | 3,64E-07 | 3,91E-06 | 4,91E-06 |
| 200 | 4,21E-08 | 4,53E-07 | 3,58E-07 | 3,84E-06 | 4,70E-06 |
| 205 | 3,02E-08 | 3,24E-07 | 3,52E-07 | 3,78E-06 | 4,48E-06 |
| 210 | 1,82E-08 | 1,96E-07 | 3,45E-07 | 3,71E-06 | 4,27E-06 |
| 215 | 6,25E-09 | 6,72E-08 | 3,39E-07 | 3,65E-06 | 4,06E-06 |

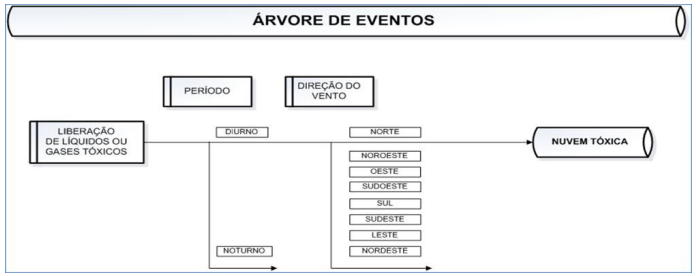
# *Risco social*

| | | | Freq. Do cenario | Residências entre fonte e 1% (75% Fatalidade) | Outras Pessoas entre fonte e 1% (75% Fatalidade) | Residências entre 1% e 50% (25% Fatalidade) | Outras Pessoas entre 1% e 50% (25% Fatalidade) | Numero de mortes |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | hab/resid | 3 |
| Nuvem tóxica | Dia | CA1.1 | 6,25E-07 | 20 | 0 | 20 | 0 | 30 |
| | | CA1.2 | 6,72E-06 | 40 | 0 | 20 | 0 | 53 |
| | Noite | CA1.1 | 8,75E-07 | 20 | 0 | 20 | | 60 |
| | | CA1.2 | 9,41E-06 | 40 | 0 | 20 | | 105 |

| | | Freq. Do cenario | Pessoas expostas região de 75% fatalidade | Pessoas expostas região de 25% fatalidade | Numero de mortes |
|---|---|---|---|---|---|
| CA1.1 | Dia | 6,25E-07 | 30 | 30 | 30 |
| CA1.2 | | 6,72E-06 | 60 | 30 | 53 |
| CA1.1 | Noite | 8,75E-07 | 60 | 60 | 60 |
| CA1.2 | | 9,41E-06 | 120 | 60 | 105 |

| | | | | | Frequencia acumulada | N mortes |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 1,76E-05 | 1 |
| 6,25E-07 | 30 | | 6,25E-07 | 30 | 1,76E-05 | 30 |
| 6,72E-06 | 53 | | 6,72E-06 | 53 | 1,70E-05 | 53 |
| 8,75E-07 | 60 | | 8,75E-07 | 60 | 1,03E-05 | 60 |
| 9,41E-06 | 105 | | 9,41E-06 | 105 | 9,41E-06 | 105 |

# *Sistema de refrigeração com amonia*




| Taxas basicas de falhas | |
|---|---|
| Comp. | Taxa de falha |
| Tanque | 1,00E-04 |
| vaso | 2,00E-06 |
| tubulação | 3,00E-07 |
| válvula | 1,00E-05 |

| Probabilidades | |
|---|---|
| Periodo do dia | |
| dia | 4,17E-01 |
| noite | 5,83E-01 |

| | |
|---|---|
| Direção do vento | 1,25E-01 |
| (N, NE, L, SE, S, SO, O, NO) | |

486

| Frequencia dos eventos iniciadores | | |
|---|---|---|
| ***EI 2.1*** | | |
| Vaso | 3 | 6,00E-06 |
| Tubulação | 0 | 0,00E+00 |
| Válvula | 0 | 0,00E+00 |
| Freq. EI1 | **∑fi** | 6,00E-06 |

| ***EI 2.2*** | | |
|---|---|---|
| Vaso | 0 | 0,00E+00 |
| Tubulação | 300 | 9,00E-05 |
| Válvula | 25 | 2,50E-04 |
| Freq. EI2 | **∑fi** | 3,40E-04 |

| Frequencia dos cenarios acidentais | | |
|---|---|---|
| Formação de nuvem tóxica | | |
| CA2.1 | Fca1=Fev1*Pdn*Pv | |
| CA2.2 | Fca2=Fev2*Pdn*Pv | |

| Frequencia dos cenarios acidentais | | |
|---|---|---|
| | Nuvem tóxica | |
| Dia | CA2.1 | 3,13E-07 |
| | CA2.2 | 1,77E-05 |
| | | |
| Noite | CA2.1 | 4,38E-07 |
| | CA2.2 | 2,48E-05 |
| | | |

# *Cáculo do risco individual*

| | | | | | | | | | | Y=aX+b | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | Coeficientes reta | |
| | | Ref | Fcenario | Pmorte | Alcande 1% | Risco 1% | Pmorte 50% | Alcance50% | Risco50% | A | B |
| Formação de nuvem tóxica | Dia | CA2.1 | 3,13E-07 | 1% | 282 | 3,13E-09 | 50% | 113 | 1,56E-07 | -9,06065E-10 | 2,59E-07 |
| | | CA2.2 | 1,77E-05 | 1% | 269 | 1,77E-07 | 50% | 167 | 8,85E-06 | -8,50694E-08 | 2,31E-05 |
| | Noite | CA2.1 | 4,38E-07 | 1% | 340 | 4,38E-09 | 50% | 87 | 2,19E-07 | -8,47332E-10 | 2,92E-07 |
| | | CA2.2 | 2,48E-05 | 1% | 235 | 2,48E-07 | 50% | 33 | 1,24E-05 | -6,01382E-08 | 1,44E-05 |

| | Nuvem toxica | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Dia | | Noite | |
| | 1.1 | 1.2 | 1.1 | 1.2 |
| Coef. Angular (A) | -9,06E-10 | -8,51E-08 | -8,47E-10 | -6,01E-08 |
| Coef. Linear (B) | 2,59E-07 | 2,31E-05 | 2,92E-07 | 1,44E-05 |
| Risco maximo | 3,13E-07 | 1,77E-05 | 4,38E-07 | 2,48E-05 |

Y=aX+b R=aL+b

| Distancia (m) | | | | | ∑Risco |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 2,59E-07 | 1,77E-05 | 2,92E-07 | 1,44E-05 | 3,26E-05 |
| 5 | 2,54E-07 | 1,77E-05 | 2,88E-07 | 1,41E-05 | 3,23E-05 |
| 10 | 2,50E-07 | 1,77E-05 | 2,84E-07 | 1,38E-05 | 3,20E-05 |
| 15 | 2,45E-07 | 1,77E-05 | 2,80E-07 | 1,35E-05 | 3,17E-05 |
| 20 | 2,41E-07 | 1,77E-05 | 2,76E-07 | 1,32E-05 | 3,14E-05 |
| 25 | 2,36E-07 | 1,77E-05 | 2,71E-07 | 1,29E-05 | 3,11E-05 |
| 30 | 2,31E-07 | 1,77E-05 | 2,67E-07 | 1,26E-05 | 3,08E-05 |
| 35 | 2,27E-07 | 1,77E-05 | 2,63E-07 | 1,23E-05 | 3,05E-05 |
| 40 | 2,22E-07 | 1,77E-05 | 2,59E-07 | 1,20E-05 | 3,02E-05 |
| 45 | 2,18E-07 | 1,77E-05 | 2,54E-07 | 1,17E-05 | 2,99E-05 |
| 50 | 2,13E-07 | 1,77E-05 | 2,50E-07 | 1,14E-05 | 2,95E-05 |
| 55 | 2,09E-07 | 1,77E-05 | 2,46E-07 | 1,11E-05 | 2,92E-05 |
| 60 | 2,04E-07 | 1,77E-05 | 2,42E-07 | 1,08E-05 | 2,89E-05 |
| 65 | 2,00E-07 | 1,75E-05 | 2,37E-07 | 1,05E-05 | 2,84E-05 |
| 70 | 1,95E-07 | 1,71E-05 | 2,33E-07 | 1,02E-05 | 2,77E-05 |
| 75 | 1,91E-07 | 1,67E-05 | 2,29E-07 | 9,87E-06 | 2,70E-05 |
| 80 | 1,86E-07 | 1,63E-05 | 2,25E-07 | 9,57E-06 | 2,62E-05 |
| 85 | 1,82E-07 | 1,58E-05 | 2,20E-07 | 9,27E-06 | 2,55E-05 |
| 90 | 1,77E-07 | 1,54E-05 | 2,16E-07 | 8,97E-06 | 2,48E-05 |
| 95 | 1,73E-07 | 1,50E-05 | 2,12E-07 | 8,67E-06 | 2,40E-05 |
| 100 | 1,68E-07 | 1,46E-05 | 2,08E-07 | 8,37E-06 | 2,33E-05 |
| 105 | 1,63E-07 | 1,41E-05 | 2,03E-07 | 8,07E-06 | 2,26E-05 |
| 110 | 1,59E-07 | 1,37E-05 | 1,99E-07 | 7,77E-06 | 2,18E-05 |
| 115 | 1,54E-07 | 1,33E-05 | 1,95E-07 | 7,46E-06 | 2,11E-05 |
| 120 | 1,50E-07 | 1,29E-05 | 1,91E-07 | 7,16E-06 | 2,04E-05 |
| 125 | 1,45E-07 | 1,24E-05 | 1,87E-07 | 6,86E-06 | 1,96E-05 |
| 130 | 1,41E-07 | 1,20E-05 | 1,82E-07 | 6,56E-06 | 1,89E-05 |
| 135 | 1,36E-07 | 1,16E-05 | 1,78E-07 | 6,26E-06 | 1,82E-05 |
| 140 | 1,32E-07 | 1,12E-05 | 1,74E-07 | 5,96E-06 | 1,74E-05 |
| 145 | 1,27E-07 | 1,07E-05 | 1,70E-07 | 5,66E-06 | 1,67E-05 |
| 150 | 1,23E-07 | 1,03E-05 | 1,65E-07 | 5,36E-06 | 1,59E-05 |
| 155 | 1,18E-07 | 9,88E-06 | 1,61E-07 | 5,06E-06 | 1,52E-05 |
| 160 | 1,14E-07 | 9,45E-06 | 1,57E-07 | 4,76E-06 | 1,45E-05 |
| 165 | 1,09E-07 | 9,02E-06 | 1,53E-07 | 4,46E-06 | 1,37E-05 |
| 170 | 1,05E-07 | 8,60E-06 | 1,48E-07 | 4,16E-06 | 1,30E-05 |
| 175 | 1,00E-07 | 8,17E-06 | 1,44E-07 | 3,86E-06 | 1,23E-05 |
| 180 | 9,55E-08 | 7,75E-06 | 1,40E-07 | 3,56E-06 | 1,15E-05 |
| 185 | 9,10E-08 | 7,32E-06 | 1,36E-07 | 3,25E-06 | 1,08E-05 |
| 190 | 8,65E-08 | 6,90E-06 | 1,31E-07 | 2,95E-06 | 1,01E-05 |
| 195 | 8,20E-08 | 6,47E-06 | 1,27E-07 | 2,65E-06 | 9,33E-06 |
| 200 | 7,74E-08 | 6,05E-06 | 1,23E-07 | 2,35E-06 | 8,60E-06 |
| 205 | 7,29E-08 | 5,62E-06 | 1,19E-07 | 2,05E-06 | 7,87E-06 |
| 210 | 6,84E-08 | 5,20E-06 | 1,15E-07 | 1,75E-06 | 7,13E-06 |
| 215 | 6,38E-08 | 4,77E-06 | 1,10E-07 | 1,45E-06 | 6,40E-06 |
| 220 | 5,93E-08 | 4,35E-06 | 1,06E-07 | 1,15E-06 | 5,66E-06 |
| 225 | 5,48E-08 | 3,92E-06 | 1,02E-07 | 8,49E-07 | 4,93E-06 |
| 230 | 5,02E-08 | 3,49E-06 | 9,76E-08 | 5,49E-07 | 4,19E-06 |
| 235 | 4,57E-08 | 3,07E-06 | 9,33E-08 | 2,48E-07 | 3,46E-06 |
| 240 | 4,12E-08 | 2,64E-06 | 8,91E-08 | | 2,77E-06 |
| 245 | 3,66E-08 | 2,22E-06 | 8,49E-08 | | 2,34E-06 |
| 250 | 3,21E-08 | 1,79E-06 | 8,06E-08 | | 1,91E-06 |
| 255 | 2,76E-08 | 1,37E-06 | 7,64E-08 | | 1,47E-06 |
| 260 | 2,31E-08 | 9,43E-07 | 7,22E-08 | | 1,04E-06 |
| 265 | 1,85E-08 | 5,17E-07 | 6,79E-08 | | 6,04E-07 |
| 270 | 1,40E-08 | 9,20E-08 | 6,37E-08 | | 1,70E-07 |
| 275 | 9,47E-09 | | 5,95E-08 | | 6,89E-08 |
| 280 | 4,94E-09 | | 5,52E-08 | | 6,02E-08 |
| 285 | 4,07E-10 | | 5,10E-08 | | 5,14E-08 |
| 290 | | | 4,67E-08 | | 4,67E-08 |
| 295 | | | 4,25E-08 | | 4,25E-08 |
| 300 | | | 3,83E-08 | | 3,83E-08 |
| 305 | | | 3,40E-08 | | 3,40E-08 |
| 310 | | | 2,98E-08 | | 2,98E-08 |
| 315 | | | 2,56E-08 | | 2,56E-08 |
| 320 | | | 2,13E-08 | | 2,13E-08 |
| 325 | | | 1,71E-08 | | 1,71E-08 |
| 330 | | | 1,28E-08 | | 1,28E-08 |
| 335 | | | 8,61E-09 | | 8,61E-09 |
| 340 | | | 4,37E-09 | | 4,37E-09 |
| 345 | | | 1,38E-10 | | 1,38E-10 |

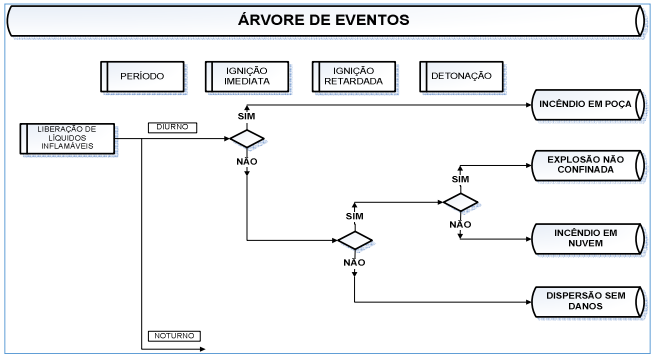
# *Risco social*

| | | | | | | hab/resid | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Freq. Do cenario | Residências entre fonte e 1% (75% Fatalidade) | Outras Pessoas entre fonte e 1% (75% Fatalidade) | Residências entre 1% e 50% (25% Fatalidade) | Outras Pessoas entre 1% e 50% (25% Fatalidade) | Numero de mortes |
| Dia | CA2.1 | 3,13E-07 | 15 | 0 | 40 | 0 | 32 |
| | CA2.2 | 1,77E-05 | 15 | 0 | 50 | 0 | 36 |
| Noite | CA2.1 | 4,38E-07 | 35 | 0 | 20 | | 94 |
| | CA2.2 | 2,48E-05 | 0 | 0 | 30 | | 23 |

| | | Freq. Do cenario | Pessoas expostas região de 75% fatalidade | Pessoas expostas região de 25% fatalidade | Numero de mortes |
|---|---|---|---|---|---|
| CA2.1 | Dia | 3,13E-07 | 23 | 60 | 33 |
| CA2.2 | | 1,77E-05 | 23 | 75 | 36 |
| CA2.1 | Noite | 4,38E-07 | 105 | 60 | 94 |
| CA2.2 | | 2,48E-05 | 0 | 90 | 23 |

| | | | | **Frequencia acumulada** | **N mortes** |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 4,33E-05 | 1 |
| 3,13E-07 | 32 | 2,48E-05 | 23 | 4,33E-05 | 23 |
| 1,77E-05 | 36 | 3,13E-07 | 32 | 1,85E-05 | 32 |
| 4,38E-07 | 94 | 1,77E-05 | 36 | 1,81E-05 | 36 |
| 2,48E-05 | 23 | 4,38E-07 | 94 | 4,38E-07 | 94 |

# *Base de armazenamento e transferencia de combustiveis*




| Taxas basicas de falhas | |
|---|---|
| Comp. | Taxa de falha |
| Tanque | 1,00E-04 |
| vaso | 2,00E-06 |
| tubulação | 3,00E-07 |
| válvula | 1,00E-05 |

| Probabilidades | |
|---|---|
| Periodo do dia | |
| dia | 4,17E-01 |
| noite | 5,83E-01 |

| | |
|---|---|
| Direção do vento | 1,25E-01 |
| (N, NE, L, SE, S, SO, O, NO) | |

| | |
|---|---|
| Ignição | 8,00E-02 |
| Imediata | 4,00E-02 |
| retardada | 4,00E-02 |

| | |
|---|---|
| detonação | 1,00E-01 |

**Frequencia dos eventos iniciadores**

| *EI 3.1* | | |
|---|---|---|
| Tanque | 4 | 4,00E-04 |
| Tubulação | 0 | 0,00E+00 |
| Válvula | 0 | 0,00E+00 |
| Freq. EI1 | ∑fi | 4,00E-04 |

| *EI3. 2* | | |
|---|---|---|
| Tanque | 4 | 4,00E-04 |
| Tubulação | 0 | 0,00E+00 |
| Válvula | 0 | 0,00E+00 |
| Freq. EI2 | ∑fi | 4,00E-04 |

| *EI 3.3* | | |
|---|---|---|
| Tanque | 8 | 8,00E-04 |
| Tubulação | 0 | 0,00E+00 |
| Válvula | 0 | 0,00E+00 |
| Freq. EI3 | ∑fi | 8,00E-04 |

**Frequencia dos cenarios acidentais**

| Incendio em poça | |
|---|---|
| CA1 | Fca1=Fev1*Pdn*Pii |
| CA2 | Fca2=Fev2*Pdn*Pii |
| CA3 | Fca3=Fei3*Pdn*Pii |

| Incendio em nuvem | | |
|---|---|---|
| CA1 | Fca1=Fev1*Pdn*Pv*Pir*(1-Pdet) | |
| CA2 | Fca2=Fev2*Pdn*Pv*Pir*(1-Pdet) | |
| CA3 | Fca3=Fev3*Pdn*Pv*Pir*(1-Pdet) | |

| Explosão não confinada | |
|---|---|
| CA1 | Fca1=Fev1*Pdn*Pv*Pir*Pdet |
| CA2 | Fca2=Fev2*Pdn*Pv*Pir*Pdet |
| CA3 | Fca3=Fev3*Pdn*Pv*Pir*Pdet |

**Frequencia dos cenarios acidentais**

| Incendio em poça | | | Incendio em nuvem | | | Explosão não confinada | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Dia | CA3.1 | 6,67E-06 | Dia | CA3.1 | 7,50E-07 | Dia | CA3.1 | 8,33E-08 |
| | CA3.2 | 6,67E-06 | | CA3.2 | 7,50E-07 | | CA3.2 | 8,33E-08 |
| | CA3.3 | 1,33E-05 | | CA3.3 | 1,50E-06 | | CA3.3 | 1,67E-07 |
| Noite | CA3.1 | 9,33E-06 | Noite | CA3.1 | 1,05E-06 | Noite | CA3.1 | 1,17E-07 |
| | CA3.2 | 9,33E-06 | | CA3.2 | 1,05E-06 | | CA3.2 | 1,17E-07 |
| | CA3.3 | 1,87E-05 | | CA3.3 | 2,10E-06 | | CA3.3 | 2,33E-07 |

# *Cáculo do risco individual*

| | | | | | | | | | | Y=aX+b | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | Coeficientes reta | |
| | | Ref | Fcenario | Pmorte | Alcande 1% | Risco 1% | Pmorte 50% | Alcance50% | Risco50% | A | B |
| Incendio em poça | Dia | CA3.1 | 6,67E-06 | 1% | 32 | 6,67E-08 | 50% | 0 | 3,33E-06 | -1,02E-07 | 3,33E-06 |
| | | CA3.2 | 6,67E-06 | 1% | 76 | 6,67E-08 | 50% | 41 | 3,33E-06 | -9,33E-08 | 7,16E-06 |
| | | CA3.3 | 1,33E-05 | 1% | 32 | 1,33E-07 | 50% | 0 | 6,67E-06 | -2,04E-07 | 6,67E-06 |
| | Noite | CA3.1 | 9,33E-06 | 1% | 32 | 9,33E-08 | 50% | 0 | 4,67E-06 | -1,43E-07 | 4,67E-06 |
| | | CA3.2 | 9,33E-06 | 1% | 73 | 9,33E-08 | 50% | 39 | 4,67E-06 | -1,35E-07 | 9,91E-06 |
| | | CA3.3 | 1,87E-05 | 1% | 32 | 1,87E-07 | 50% | 0 | 9,33E-06 | -2,86E-07 | 9,33E-06 |
| Incendio em nuvem | Dia | CA3.1 | 7,50E-07 | 100% | 57 | 7,50E-07 | 100% | 0 | 7,50E-07 | 0 | 7,50E-07 |
| | | CA3.2 | 7,50E-07 | 100% | 14 | 7,50E-07 | 100% | 0 | 7,50E-07 | 0 | 7,50E-07 |
| | | CA3.3 | 1,50E-06 | 100% | 12 | 1,50E-06 | 100% | 0 | 1,50E-06 | 0 | 1,50E-06 |
| | Noite | CA3.1 | 1,05E-06 | 100% | 59 | 1,05E-06 | 100% | 0 | 1,05E-06 | 0 | 1,05E-06 |
| | | CA3.2 | 1,05E-06 | 100% | 15 | 1,05E-06 | 100% | 0 | 1,05E-06 | 0 | 1,05E-06 |
| | | CA3.3 | 2,10E-06 | 100% | 12 | 2,10E-06 | 100% | 0 | 2,10E-06 | 0 | 2,10E-06 |
| Explosão não confinada | Dia | CA3.1 | 8,33E-08 | 1% | 123 | 8,33E-10 | 50% | 83 | 4,17E-08 | -1,02E-09 | 1,26E-07 |
| | | CA3.2 | 8,33E-08 | 1% | 37 | 8,33E-10 | 50% | 25 | 4,17E-08 | -3,4E-09 | 1,27E-07 |
| | | CA3.3 | 1,67E-07 | 1% | 19 | 1,67E-09 | 50% | 15 | 8,33E-08 | -2,04E-08 | 3,90E-07 |
| | Noite | CA3.1 | 1,17E-07 | 1% | 125 | 1,17E-09 | 50% | 92 | 5,83E-08 | -1,73E-09 | 2,18E-07 |
| | | CA3.2 | 1,17E-07 | 1% | 41 | 1,17E-09 | 50% | 28 | 5,83E-08 | -4,4E-09 | 1,81E-07 |
| | | CA3.3 | 2,33E-07 | 1% | 19 | 2,33E-09 | 50% | 15 | 1,17E-07 | -2,86E-08 | 5,45E-07 |

MC RISCO INDIVIDUAL INSTALAÇÃO 3

| | Incendio em poça | | | | | | Incendio em nuvem | | | | | | Explosão não confinada | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Dia | | | Noite | | | Dia | | | Noite | | | Dia | | | Noite | | |
| | 1A | 2A | 3A | 1A | 2A | 3A | 1A | 2A | 3A | 1A | 2A | 3A | 1A | 2A | 3A | 1A | 2A | 3A |
| Coef. Angular (A) | -1,02E-07 | -9,33E-08 | -2,04E-07 | -1,43E-07 | -1,35E-07 | -2,86E-07 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | -1,02E-09 | -3,40E-09 | -2,04E-08 | -1,73E-09 | -4,40E-09 | -2,86E-08 |
| Coef. Linear (B) | 3,33E-06 | 7,16E-06 | 6,67E-06 | 4,67E-06 | 9,91E-06 | 9,33E-06 | 7,50E-07 | 7,50E-07 | 1,50E-06 | 1,05E-06 | 1,05E-06 | 2,10E-06 | 1,26E-07 | 1,27E-07 | 3,90E-07 | 2,18E-07 | 1,81E-07 | 5,45E-07 |
| LII | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 57 | 14 | 12 | 59 | 15 | 12 | | | | | | |
| Risco maximo | 6,67E-06 | 6,67E-06 | 1,33E-05 | 9,33E-06 | 9,33E-06 | 1,87E-05 | 7,50E-07 | 7,50E-07 | 1,50E-06 | 1,05E-06 | 1,05E-06 | 2,10E-06 | 8,33E-08 | 8,33E-08 | 1,67E-07 | 1,17E-07 | 1,17E-07 | 2,33E-07 |

Y=aX+b R=aL+b

| Distancia (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ∑Risco |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 3,33E-06 | 6,67E-06 | 6,67E-06 | 4,67E-06 | 9,33E-06 | 9,33E-06 | 7,50E-07 | 7,50E-07 | 1,50E-06 | 1,05E-06 | 1,05E-06 | 2,10E-06 | 8,33E-08 | 8,33E-08 | 1,67E-07 | 1,17E-07 | 1,17E-07 | 2,33E-07 | 4,80E-05 |
| 5 | 2,82E-06 | 6,67E-06 | 5,65E-06 | 3,95E-06 | 9,24E-06 | 7,90E-06 | 7,50E-07 | 7,50E-07 | 1,50E-06 | 1,05E-06 | 1,05E-06 | 2,10E-06 | 8,33E-08 | 8,33E-08 | 1,67E-07 | 1,17E-07 | 1,17E-07 | 2,33E-07 | 4,42E-05 |
| 10 | 2,31E-06 | 6,23E-06 | 4,63E-06 | 3,24E-06 | 8,57E-06 | 6,48E-06 | 7,50E-07 | 7,50E-07 | 1,50E-06 | 1,05E-06 | 1,05E-06 | 2,10E-06 | 8,33E-08 | 8,33E-08 | 1,67E-07 | 1,17E-07 | 1,17E-07 | 2,33E-07 | 3,94E-05 |
| 15 | 1,80E-06 | 5,76E-06 | 3,60E-06 | 2,52E-06 | 7,89E-06 | 5,05E-06 | 7,50E-07 | 7,50E-07 | | 1,05E-06 | | | 8,33E-08 | 7,57E-08 | 8,33E-08 | 1,17E-07 | 1,16E-07 | 1,17E-07 | 2,98E-05 |
| 20 | 1,29E-06 | 5,29E-06 | 2,58E-06 | 1,81E-06 | 7,22E-06 | 3,62E-06 | 7,50E-07 | | | 1,05E-06 | | | 8,33E-08 | 5,87E-08 | | 1,17E-07 | 9,35E-08 | | 2,40E-05 |
| 25 | 7,81E-07 | 4,83E-06 | 1,56E-06 | 1,09E-06 | 6,55E-06 | 2,19E-06 | 7,50E-07 | | | 1,05E-06 | | | 8,33E-08 | 4,17E-08 | | 1,17E-07 | 7,15E-08 | | 1,91E-05 |
| 30 | 2,71E-07 | 4,36E-06 | 5,42E-07 | 3,79E-07 | 5,88E-06 | 7,58E-07 | 7,50E-07 | | | 1,05E-06 | | | 8,33E-08 | 2,47E-08 | | 1,17E-07 | 4,95E-08 | | 1,43E-05 |
| 35 | | 3,89E-06 | | | 5,20E-06 | | 7,50E-07 | | | 1,05E-06 | | | 8,33E-08 | 7,64E-09 | | 1,17E-07 | 2,76E-08 | | 1,11E-05 |
| 40 | | 3,43E-06 | | | 4,53E-06 | | 7,50E-07 | | | 1,05E-06 | | | 8,33E-08 | | | 1,17E-07 | 5,56E-09 | | 9,96E-06 |
| 45 | | 2,96E-06 | | | 3,86E-06 | | 7,50E-07 | | | 1,05E-06 | | | 8,05E-08 | | | 1,17E-07 | | | 8,82E-06 |
| 50 | | 2,49E-06 | | | 3,19E-06 | | 7,50E-07 | | | 1,05E-06 | | | 7,54E-08 | | | 1,17E-07 | | | 7,67E-06 |
| 55 | | 2,03E-06 | | | 2,51E-06 | | 7,50E-07 | | | 1,05E-06 | | | 7,03E-08 | | | 1,17E-07 | | | 6,53E-06 |
| 60 | | 1,56E-06 | | | 1,84E-06 | | | | | 1,05E-06 | | | 6,51E-08 | | | 1,14E-07 | | | 4,63E-06 |
| 65 | | 1,09E-06 | | | 1,17E-06 | | | | | | | | 6,00E-08 | | | 1,05E-07 | | | 2,43E-06 |
| 70 | | 6,27E-07 | | | 4,97E-07 | | | | | | | | 5,49E-08 | | | 9,64E-08 | | | 1,27E-06 |
| 75 | | 1,60E-07 | | | | | | | | | | | 4,98E-08 | | | 8,78E-08 | | | 2,98E-07 |
| 80 | | | | | | | | | | | | | 4,47E-08 | | | 7,91E-08 | | | 1,24E-07 |
| 85 | | | | | | | | | | | | | 3,96E-08 | | | 7,05E-08 | | | 1,10E-07 |
| 90 | | | | | | | | | | | | | 3,45E-08 | | | 6,18E-08 | | | 9,63E-08 |
| 95 | | | | | | | | | | | | | 2,94E-08 | | | 5,31E-08 | | | 8,26E-08 |
| 100 | | | | | | | | | | | | | 2,43E-08 | | | 4,45E-08 | | | 6,88E-08 |
| 105 | | | | | | | | | | | | | 1,92E-08 | | | 3,58E-08 | | | 5,50E-08 |
| 110 | | | | | | | | | | | | | 1,41E-08 | | | 2,72E-08 | | | 4,13E-08 |
| 115 | | | | | | | | | | | | | 9,00E-09 | | | 1,85E-08 | | | 2,75E-08 |
| 120 | | | | | | | | | | | | | 3,90E-09 | | | 9,83E-09 | | | 1,37E-08 |
| 125 | | | | | | | | | | | | | | | | 1,17E-09 | | | 1,17E-09 |
| 130 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

# Risco Social

| | | | Freq. Do cenario | Residências entre fonte e 1% (75% Fatalidade) | Outras Pessoas entre fonte e 1% (75% Fatalidade) | Residencias entre 1% e 50% (25% Fatalidade) | Outras pessoas entre 1% e 50% (25% Fatalidade) | 3<br>Numero de mortes |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Incendio em poça | Dia | CA3.1 | 6,67E-06 | 0 | | 20 | | 8 |
| | | CA3.2 | 6,67E-06 | 20 | | 40 | | 38 |
| | | CA3.3 | 1,33E-05 | 0 | | 20 | | 8 |
| | Noite | CA3.1 | 9,33E-06 | 0 | | 20 | | 15 |
| | | CA3.2 | 9,33E-06 | 20 | | 40 | | 75 |
| | | CA3.3 | 1,87E-05 | 0 | | 20 | | 15 |
| Incendio em nuvei | Dia | CA3.1 | 7,50E-07 | 40 | | 40 | | 60 |
| | | CA3.2 | 7,50E-07 | 0 | | 0 | | 0 |
| | | CA3.3 | 1,50E-06 | 0 | | 0 | | 0 |
| | Noite | CA3.1 | 1,05E-06 | 40 | | 40 | | 120 |
| | | CA3.2 | 1,05E-06 | 0 | | 0 | | 0 |
| | | CA3.3 | 2,10E-06 | 0 | | 0 | | 0 |
| Explosão não confi | Dia | CA3.1 | 8,33E-08 | 40 | | 40 | | 60 |
| | | CA3.2 | 8,33E-08 | 0 | | 20 | | 8 |
| | | CA3.3 | 1,67E-07 | 0 | | 0 | | 0 |
| | Noite | CA3.1 | 1,17E-07 | 60 | | 60 | | 180 |
| | | CA3.2 | 1,17E-07 | 0 | | 20 | | 15 |
| | | CA3.3 | 2,33E-07 | 0 | | 0 | | 0 |

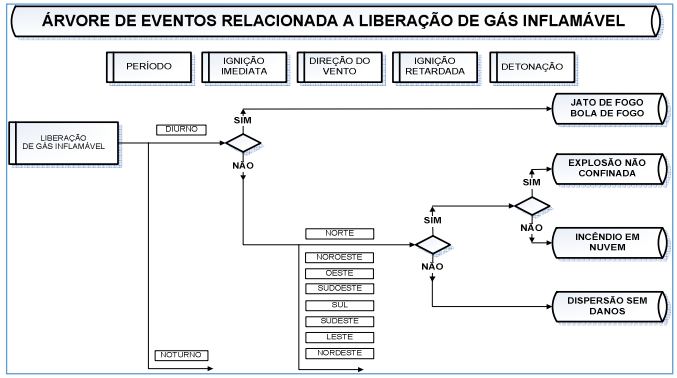
| | | | Freq. Do cenario | Pessoas expostas (75% Fatalidade) | Residencias entre 1% e 50% (25% Fatalidade) | Numero de mortes |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Incendio em poça | Dia | CA3.1 | 6,67E-06 | 0 | 30 | 8 |
| | | CA3.2 | 6,67E-06 | 30 | 60 | 38 |
| | | CA3.3 | 1,33E-05 | 0 | 30 | 8 |
| | Noite | CA3.1 | 9,33E-06 | 0 | 60 | 15 |
| | | CA3.2 | 9,33E-06 | 60 | 120 | 75 |
| | | CA3.3 | 1,87E-05 | 0 | 60 | 15 |
| Incendio em nuvei | Dia | CA3.1 | 7,50E-07 | 60 | 60 | 60 |
| | | CA3.2 | 7,50E-07 | 0 | 0 | 0 |
| | | CA3.3 | 1,50E-06 | 0 | 0 | 0 |
| | Noite | CA3.1 | 1,05E-06 | 120 | 120 | 120 |
| | | CA3.2 | 1,05E-06 | 0 | 0 | 0 |
| | | CA3.3 | 2,10E-06 | 0 | 0 | 0 |
| Explosão não confi | Dia | CA3.1 | 8,33E-08 | 60 | 60 | 60 |
| | | CA3.2 | 8,33E-08 | 0 | 30 | 8 |
| | | CA3.3 | 1,67E-07 | 0 | 0 | 0 |
| | Noite | CA3.1 | 1,17E-07 | 180 | 180 | 180 |
| | | CA3.2 | 1,17E-07 | 0 | 60 | 15 |
| | | CA3.3 | 2,33E-07 | 0 | 0 | 0 |

| | |
|---|---|
| 6,67E-06 | 8 |
| 6,67E-06 | 38 |
| 1,33E-05 | 8 |
| 9,33E-06 | 15 |
| 9,33E-06 | 75 |
| 1,87E-05 | 15 |
| 7,50E-07 | 60 |
| 7,50E-07 | 0 |
| 1,50E-06 | 0 |
| 1,05E-06 | 120 |
| 1,05E-06 | 0 |
| 2,10E-06 | 0 |
| 8,33E-08 | 60 |
| 8,33E-08 | 8 |
| 1,67E-07 | 0 |
| 1,17E-07 | 180 |
| 1,17E-07 | 15 |
| 2,33E-07 | 0 |

| | |
|---|---|
| 6,67E-06 | 8 |
| 1,33E-05 | 8 |
| 8,33E-08 | 8 |
| 9,33E-06 | 15 |
| 1,87E-05 | 15 |
| 1,17E-07 | 15 |
| 6,67E-06 | 38 |
| 7,50E-07 | 60 |
| 8,33E-08 | 60 |
| 9,33E-06 | 75 |
| 1,05E-06 | 120 |
| 1,17E-07 | 180 |

| Frequencia acumulada | N mortes |
|---|---|
| 6,62E-05 | 1 |
| 6,62E-05 | 8 |
| 4,61E-05 | 15 |
| 1,80E-05 | 38 |
| 1,13E-05 | 60 |
| 1,05E-05 | 75 |
| 1,17E-06 | 120 |
| 1,17E-07 | 180 |

# *Sistema de armazenamento e transferência de GLP*




| Taxas basicas de falhas | |
|---|---|
| Comp. | Taxa de falha |
| Tanque | 1,00E-04 |
| vaso | 2,00E-06 |
| tubulação | 3,00E-07 |
| válvula | 1,00E-05 |

| Probabilidades | | | |
|---|---|---|---|
| Periodo do dia | | Ignição | 8,00E-02 |
| dia | 4,17E-01 | Imediata | 4,00E-02 |
| noite | 5,83E-01 | retardada | 4,00E-02 |
| | | | |
| Direção do vento | 1,25E-01 | detonação | 1,00E-01 |
| (N, NE, L, SE, S, SO, O, NO) | | | |

| Frequencia dos eventos iniciadores | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| *EI 4.1* | | | *EI 4.2* | | |
| vaso | 10 | 2,00E-05 | Vaso | 0 | 0,00E+00 |
| Tubulação | 0 | 0,00E+00 | Tubulação | 800 | 2,40E-04 |
| Válvula | 0 | 0,00E+00 | Válvula | 40 | 4,00E-04 |
| Freq. EI1 | ∑fi | 2,00E-05 | Freq. EI2 | ∑fi | 6,40E-04 |

## Frequencia dos cenarios acidentais

| Jato de fogo | |
|---|---|
| CA2 | Fca2=Fev2*Pdn*Pii |

| Incendio em nuvem | | |
|---|---|---|
| CA1 | Fca1=Fev1*Pdn*Pv*Pir*(1-Pdet) | |
| CA2 | Fca2=Fev2*Pdn*Pv*Pir*(1-Pdet) | |

| Explosão não confinada | |
|---|---|
| CA1 | Fca1=Fev1*Pdn*Pv*Pir*Pdet |
| CA2 | Fca2=Fev2*Pdn*Pv*Pir*Pdet |

## Frequencia dos cenarios acidentais

| | Jato | | | Incendio em nuvem | | | Explosão não confinada | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Dia | CA4.1 | | Dia | CA4.1 | 3,75E-08 | Dia | CA4.1 | 4,17E-09 |
| | CA4.2 | 1,07E-05 | | CA4.2 | 1,20E-06 | | CA4.2 | 1,33E-07 |
| Noite | CA4.1 | | Noite | CA4.1 | 5,25E-08 | Noite | CA4.1 | 5,83E-09 |
| | CA4.2 | 1,49E-05 | | CA4.2 | 1,68E-06 | | CA4.2 | 1,87E-07 |
| | | | | | | | | |

# *Cáculo do risco individual*

| | | | | | | | | | | Y=aX+b | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | Coeficientes reta | |
| | | Ref | Fcenario | Pmorte | Alcande 1% | Risco 1% | Pmorte 50% | Alcance50% | Risco50% | A | B |
| Jato de fogo | Dia | CA4.1 | | 1% | | | 50% | | | | |
| | | CA4.2 | 1,07E-05 | 1% | 88 | 1,07E-07 | 50% | 73 | 5,33E-06 | -3,48E-07 | 3,08E-05 |
| | Noite | CA4.1 | | 1% | | | 50% | | | | |
| | | CA4.2 | 1,49E-05 | 1% | 94 | 1,49E-07 | 50% | 78 | 7,47E-06 | -4,57E-07 | 4,31E-05 |
| Incendio em nuvem | Dia | CA4.1 | 3,75E-08 | 100% | 122 | 3,75E-08 | 100% | 0 | 3,75E-08 | 0 | 3,75E-08 |
| | | CA4.2 | 1,20E-06 | 100% | 108 | 1,20E-06 | 100% | 0 | 1,20E-06 | 0 | 1,20E-06 |
| | Noite | CA4.1 | 5,25E-08 | 100% | 111 | 5,25E-08 | 100% | 0 | 5,25E-08 | 0 | 5,25E-08 |
| | | CA4.2 | 1,68E-06 | 100% | 130 | 1,68E-06 | 100% | 0 | 1,68E-06 | 0 | 1,68E-06 |
| Explosão não confinada | Dia | CA4.1 | 4,17E-09 | 1% | 225 | 4,17E-11 | 50% | 166 | 2,08E-09 | -3,46E-11 | 7,83E-09 |
| | | CA4.2 | 1,33E-07 | 1% | 176 | 1,33E-09 | 50% | 142 | 6,67E-08 | -1,92E-09 | 3,40E-07 |
| | Noite | CA4.1 | 5,83E-09 | 1% | 212 | 5,83E-11 | 50% | 155 | 2,92E-09 | -5,01E-11 | 1,07E-08 |
| | | CA4.2 | 1,87E-07 | 1% | 222 | 1,87E-09 | 50% | 176 | 9,33E-08 | -1,99E-09 | 4,43E-07 |

MC RISCO INDIVIDUAL INSTALAÇÃO 4

| | Jato de fogo | | | | Incendio em nuvem | | | | Explosão não confinada | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Dia | | Noite | | Dia | | Noite | | Dia | | Noite | |
| | 1A | 2A | 1A | 2A | 1A | 2A | 1A | 2A | 1A | 2A | 1A | 2A |
| Coef. Angular (A) | 0,00E+00 | -3,48E-07 | 0,00E+00 | -4,57E-07 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | -3,46E-11 | -1,92E-09 | -5,01E-11 | -1,99E-09 |
| Coef. Linear (B) | 0,00E+00 | 3,08E-05 | 0,00E+00 | 4,31E-05 | 3,75E-08 | 1,20E-06 | 5,25E-08 | 1,68E-06 | 7,83E-09 | 3,40E-07 | 1,07E-08 | 4,43E-07 |
| LII | 122 | 108 | 111 | 130 | 122 | 108 | 111 | 130 | | | | |
| Risco maximo | 0,00E+00 | 1,07E-05 | 0,00E+00 | 1,49E-05 | 3,75E-08 | 1,20E-06 | 5,25E-08 | 1,68E-06 | 4,17E-09 | 1,33E-07 | 5,83E-09 | 1,87E-07 |

| Distancia (m) | | | | | | | | | | | | | ∑Risco |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0,00E+00 | 1,07E-05 | 0,00E+00 | 1,49E-05 | 3,75E-08 | 1,20E-06 | 5,25E-08 | 1,68E-06 | 4,17E-09 | 1,33E-07 | 5,83E-09 | 1,87E-07 | 2,89E-05 |
| 5 | 0,00E+00 | 1,07E-05 | 0,00E+00 | 1,49E-05 | 3,75E-08 | 1,20E-06 | 5,25E-08 | 1,68E-06 | 4,17E-09 | 1,33E-07 | 5,83E-09 | 1,87E-07 | 2,89E-05 |
| 10 | 0,00E+00 | 1,07E-05 | 0,00E+00 | 1,49E-05 | 3,75E-08 | 1,20E-06 | 5,25E-08 | 1,68E-06 | 4,17E-09 | 1,33E-07 | 5,83E-09 | 1,87E-07 | 2,89E-05 |
| 15 | 0,00E+00 | 1,07E-05 | 0,00E+00 | 1,49E-05 | 3,75E-08 | 1,20E-06 | 5,25E-08 | 1,68E-06 | 4,17E-09 | 1,33E-07 | 5,83E-09 | 1,87E-07 | 2,89E-05 |
| 20 | 0,00E+00 | 1,07E-05 | 0,00E+00 | 1,49E-05 | 3,75E-08 | 1,20E-06 | 5,25E-08 | 1,68E-06 | 4,17E-09 | 1,33E-07 | 5,83E-09 | 1,87E-07 | 2,89E-05 |
| 25 | 0,00E+00 | 1,07E-05 | 0,00E+00 | 1,49E-05 | 3,75E-08 | 1,20E-06 | 5,25E-08 | 1,68E-06 | 4,17E-09 | 1,33E-07 | 5,83E-09 | 1,87E-07 | 2,89E-05 |
| 30 | 0,00E+00 | 1,07E-05 | 0,00E+00 | 1,49E-05 | 3,75E-08 | 1,20E-06 | 5,25E-08 | 1,68E-06 | 4,17E-09 | 1,33E-07 | 5,83E-09 | 1,87E-07 | 2,89E-05 |
| 35 | 0,00E+00 | 1,07E-05 | 0,00E+00 | 1,49E-05 | 3,75E-08 | 1,20E-06 | 5,25E-08 | 1,68E-06 | 4,17E-09 | 1,33E-07 | 5,83E-09 | 1,87E-07 | 2,89E-05 |
| 40 | 0,00E+00 | 1,07E-05 | 0,00E+00 | 1,49E-05 | 3,75E-08 | 1,20E-06 | 5,25E-08 | 1,68E-06 | 4,17E-09 | 1,33E-07 | 5,83E-09 | 1,87E-07 | 2,89E-05 |
| 45 | 0,00E+00 | 1,07E-05 | 0,00E+00 | 1,49E-05 | 3,75E-08 | 1,20E-06 | 5,25E-08 | 1,68E-06 | 4,17E-09 | 1,33E-07 | 5,83E-09 | 1,87E-07 | 2,89E-05 |
| 50 | 0,00E+00 | 1,07E-05 | 0,00E+00 | 1,49E-05 | 3,75E-08 | 1,20E-06 | 5,25E-08 | 1,68E-06 | 4,17E-09 | 1,33E-07 | 5,83E-09 | 1,87E-07 | 2,89E-05 |
| 55 | 0,00E+00 | 1,07E-05 | 0,00E+00 | 1,49E-05 | 3,75E-08 | 1,20E-06 | 5,25E-08 | 1,68E-06 | 4,17E-09 | 1,33E-07 | 5,83E-09 | 1,87E-07 | 2,89E-05 |
| 60 | 0,00E+00 | 9,86E-06 | 0,00E+00 | 1,49E-05 | 3,75E-08 | 1,20E-06 | 5,25E-08 | 1,68E-06 | 4,17E-09 | 1,33E-07 | 5,83E-09 | 1,87E-07 | 2,81E-05 |
| 65 | 0,00E+00 | 8,12E-06 | 0,00E+00 | 1,34E-05 | 3,75E-08 | 1,20E-06 | 5,25E-08 | 1,68E-06 | 4,17E-09 | 1,33E-07 | 5,83E-09 | 1,87E-07 | 2,48E-05 |
| 70 | 0,00E+00 | 6,38E-06 | 0,00E+00 | 1,11E-05 | 3,75E-08 | 1,20E-06 | 5,25E-08 | 1,68E-06 | 4,17E-09 | 1,33E-07 | 5,83E-09 | 1,87E-07 | 2,08E-05 |
| 75 | 0,00E+00 | 4,64E-06 | 0,00E+00 | 8,84E-06 | 3,75E-08 | 1,20E-06 | 5,25E-08 | 1,68E-06 | 4,17E-09 | 1,33E-07 | 5,83E-09 | 1,87E-07 | 1,68E-05 |
| 80 | 0,00E+00 | 2,89E-06 | 0,00E+00 | 6,55E-06 | 3,75E-08 | 1,20E-06 | 5,25E-08 | 1,68E-06 | 4,17E-09 | 1,33E-07 | 5,83E-09 | 1,87E-07 | 1,27E-05 |
| 85 | 0,00E+00 | 1,15E-06 | 0,00E+00 | 4,27E-06 | 3,75E-08 | 1,20E-06 | 5,25E-08 | 1,68E-06 | 4,17E-09 | 1,33E-07 | 5,83E-09 | 1,87E-07 | 8,72E-06 |
| 90 | 0,00E+00 | | 0,00E+00 | 1,98E-06 | 3,75E-08 | 1,20E-06 | 5,25E-08 | 1,68E-06 | 4,17E-09 | 1,33E-07 | 5,83E-09 | 1,87E-07 | 5,28E-06 |
| 95 | 0,00E+00 | | 0,00E+00 | | 3,75E-08 | 1,20E-06 | 5,25E-08 | 1,68E-06 | 4,17E-09 | 1,33E-07 | 5,83E-09 | 1,87E-07 | 3,30E-06 |
| 100 | 0,00E+00 | | 0,00E+00 | | 3,75E-08 | 1,20E-06 | 5,25E-08 | 1,68E-06 | 4,17E-09 | 1,33E-07 | 5,67E-09 | 1,87E-07 | 3,30E-06 |
| 105 | 0,00E+00 | | 0,00E+00 | | 3,75E-08 | 1,20E-06 | 5,25E-08 | 1,68E-06 | 4,17E-09 | 1,33E-07 | 5,42E-09 | 1,87E-07 | 3,30E-06 |
| 110 | 0,00E+00 | | 0,00E+00 | | 3,75E-08 | 1,20E-06 | 5,25E-08 | 1,68E-06 | 4,02E-09 | 1,28E-07 | 5,17E-09 | 1,87E-07 | 3,29E-06 |
| 115 | 0,00E+00 | | 0,00E+00 | | 3,75E-08 | | | 1,68E-06 | 3,85E-09 | 1,19E-07 | 4,92E-09 | 1,87E-07 | 2,03E-06 |
| 120 | 0,00E+00 | | 0,00E+00 | | 3,75E-08 | | | 1,68E-06 | 3,68E-09 | 1,09E-07 | 4,67E-09 | 1,87E-07 | 2,02E-06 |
| 125 | 0,00E+00 | | 0,00E+00 | | 3,75E-08 | | | 1,68E-06 | 3,50E-09 | 9,93E-08 | 4,42E-09 | 1,87E-07 | 2,01E-06 |
| 130 | 0,00E+00 | | 0,00E+00 | | | | | 1,68E-06 | 3,33E-09 | 8,97E-08 | 4,17E-09 | 1,85E-07 | 1,96E-06 |
| 135 | 0,00E+00 | | 0,00E+00 | | | | | | 3,16E-09 | 8,01E-08 | 3,92E-09 | 1,75E-07 | 2,62E-07 |
| 140 | 0,00E+00 | | 0,00E+00 | | | | | | 2,98E-09 | 7,05E-08 | 3,67E-09 | 1,65E-07 | 2,42E-07 |
| 145 | 0,00E+00 | | 0,00E+00 | | | | | | 2,81E-09 | 6,09E-08 | 3,42E-09 | 1,55E-07 | 2,22E-07 |
| 150 | 0,00E+00 | | 0,00E+00 | | | | | | 2,64E-09 | 5,13E-08 | 3,17E-09 | 1,45E-07 | 2,02E-07 |
| 155 | 0,00E+00 | | 0,00E+00 | | | | | | 2,46E-09 | 4,17E-08 | 2,92E-09 | 1,35E-07 | 1,82E-07 |
| 160 | 0,00E+00 | | 0,00E+00 | | | | | | 2,29E-09 | 3,21E-08 | 2,67E-09 | 1,25E-07 | 1,62E-07 |
| 165 | 0,00E+00 | | 0,00E+00 | | | | | | 2,12E-09 | 2,25E-08 | 2,42E-09 | 1,15E-07 | 1,42E-07 |
| 170 | 0,00E+00 | | 0,00E+00 | | | | | | 1,94E-09 | 1,29E-08 | 2,16E-09 | 1,05E-07 | 1,22E-07 |
| 175 | 0,00E+00 | | 0,00E+00 | | | | | | 1,77E-09 | 3,25E-09 | 1,91E-09 | 9,53E-08 | 1,02E-07 |
| 180 | 0,00E+00 | | 0,00E+00 | | | | | | 1,60E-09 | | 1,66E-09 | 8,54E-08 | 8,86E-08 |
| 185 | 0,00E+00 | | 0,00E+00 | | | | | | 1,43E-09 | | 1,41E-09 | 7,54E-08 | 7,83E-08 |
| 190 | 0,00E+00 | | 0,00E+00 | | | | | | 1,25E-09 | | 1,16E-09 | 6,55E-08 | 6,79E-08 |
| 195 | 0,00E+00 | | 0,00E+00 | | | | | | 1,08E-09 | | 9,11E-10 | 5,56E-08 | 5,75E-08 |
| 200 | 0,00E+00 | | 0,00E+00 | | | | | | 9,07E-10 | | 6,60E-10 | 4,56E-08 | 4,72E-08 |
| 205 | 0,00E+00 | | 0,00E+00 | | | | | | 7,34E-10 | | 4,09E-10 | 3,57E-08 | 3,68E-08 |
| 210 | 0,00E+00 | | 0,00E+00 | | | | | | 5,61E-10 | | 1,59E-10 | 2,57E-08 | 2,64E-08 |
| 215 | 0,00E+00 | | 0,00E+00 | | | | | | 3,88E-10 | | | 1,58E-08 | 1,62E-08 |
| 220 | 0,00E+00 | | 0,00E+00 | | | | | | 2,15E-10 | | | 5,84E-09 | 6,06E-09 |
| 225 | 0,00E+00 | | 0,00E+00 | | | | | | 4,17E-11 | | | | 4,17E-11 |

# *Risco Social*

| | | | Freq. Do cenario | Residências entre fonte e 1% (75% Fatalidade) | Outras Pessoas entre fonte e 1% (75% Fatalidade) | Residencias entre 1% e 50% (25% Fatalidade) | Outras pessoas entre 1% e 50% (25% Fatalidade) | 3<br>Numero de mortes |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Jato de fogo | Dia | CA4.1 | 0,00E+00 | 0 | | 0 | | 0 |
| | | CA4.2 | 1,07E-05 | 15 | | 2 | | 18 |
| | Noite | CA4.1 | 0,00E+00 | 0 | | 0 | | 0 |
| | | CA4.2 | 1,49E-05 | 15 | | 5 | | 38 |
| Incendio em nuvem | Dia | CA4.1 | 3,75E-08 | 55 | | 55 | | 83 |
| | | CA4.2 | 1,20E-06 | 55 | | 55 | | 83 |
| | Noite | CA4.1 | 5,25E-08 | 50 | | 50 | | 150 |
| | | CA4.2 | 1,68E-06 | 60 | | 60 | | 180 |
| Explosão não confinada | Dia | CA4.1 | 4,17E-09 | 90 | | 0 | | 102 |
| | | CA4.2 | 1,33E-07 | 60 | | 30 | | 79 |
| | Noite | CA4.1 | 5,83E-09 | 75 | | 15 | | 180 |
| | | CA4.2 | 1,87E-07 | 90 | | 0 | | 203 |

| | | | Freq. Do cenario | Pessoas expostas (75% Fatalidade) | Residencias entre 1% e 50% (25% Fatalidade) | Numero de mortes |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Incendio em | Dia | CA4.1 | 0,00E+00 | 0 | 0 | 0 |
| | | CA4.2 | 1,07E-05 | 23 | 3 | 18 |
| | Noite | CA4.1 | 0,00E+00 | 0 | 0 | 0 |
| | | CA4.2 | 1,49E-05 | 45 | 15 | 38 |
| Incendio em | Dia | CA4.1 | 3,75E-08 | 83 | 83 | 83 |
| | | CA4.2 | 1,20E-06 | 83 | 83 | 83 |
| | Noite | CA4.1 | 5,25E-08 | 150 | 150 | 150 |
| | | CA4.2 | 1,68E-06 | 180 | 180 | 180 |
| Explosão nã | Dia | CA4.1 | 4,17E-09 | 135 | 0 | 102 |
| | | CA4.2 | 1,33E-07 | 90 | 45 | 79 |
| | Noite | CA4.1 | 5,83E-09 | 225 | 45 | 180 |
| | | CA4.2 | 1,87E-07 | 270 | 0 | 203 |

| | |
|---|---|
| 0,00E+00 | 0 |
| 1,07E-05 | 18 |
| 0,00E+00 | 0 |
| 1,49E-05 | 38 |
| 3,75E-08 | 83 |
| 1,20E-06 | 83 |
| 5,25E-08 | 150 |
| 1,68E-06 | 180 |
| 4,17E-09 | 102 |
| 1,33E-07 | 79 |
| 5,83E-09 | 180 |
| 1,87E-07 | 203 |

| | |
|---|---|
| 1,07E-05 | 18 |
| 1,49E-05 | 38 |
| 1,33E-07 | 79 |
| 3,75E-08 | 83 |
| 1,20E-06 | 83 |
| 4,17E-09 | 102 |
| 5,25E-08 | 150 |
| 1,68E-06 | 180 |
| 5,83E-09 | 180 |
| 1,87E-07 | 203 |

| Frequencia acumulada | N mortes |
|---|---|
| 2,89E-05 | 1 |
| 2,89E-05 | 18 |
| 1,82E-05 | 38 |
| 3,30E-06 | 79 |
| 3,17E-06 | 83 |
| 1,93E-06 | 102 |
| 1,93E-06 | 150 |
| 1,87E-06 | 180 |
| 1,87E-07 | 203 |

# *Integração do Risco Social*

| ET com cloro | | | |
|---|---|---|---|
| Cenario | | Frequencia | Mortes |
| dia | CA1.1 | 6,25E-07 | 30 |
| | CA1.2 | 6,72E-06 | 53 |
| Noite | CA1.1 | 8,75E-07 | 60 |
| | CA1.2 | 9,41E-06 | 105 |

| Refr. Amonia | | | |
|---|---|---|---|
| Cenario | | Frequencia | Mortes |
| dia | CA2.1 | 3,13E-07 | 33 |
| | CA2.2 | 1,77E-05 | 36 |
| Noite | CA2.1 | 4,38E-07 | 94 |
| | CA2.2 | 2,48E-05 | 23 |

| Base de combustiveis | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Cenario | | Frequencia | Mortes |
| Incendio em poça | Dia | CA3.1 | 6,67E-06 | 8 |
| | | CA3.2 | 6,67E-06 | 38 |
| | | CA3.3 | 1,33E-05 | 8 |
| | Noite | CA3.1 | 9,33E-06 | 15 |
| | | CA3.2 | 9,33E-06 | 75 |
| | | CA3.3 | 1,87E-05 | 15 |
| Incendio em nuver | Dia | CA3.1 | 7,50E-07 | 60 |
| | | CA3.2 | 7,50E-07 | 0 |
| | | CA3.3 | 1,50E-06 | 0 |
| | Noite | CA3.1 | 1,05E-06 | 120 |
| | | CA3.2 | 1,05E-06 | 0 |
| | | CA3.3 | 2,10E-06 | 0 |
| Explosão não confi | Dia | CA3.1 | 8,33E-08 | 60 |
| | | CA3.2 | 8,33E-08 | 8 |
| | | CA3.3 | 1,67E-07 | 0 |
| | Noite | CA3.1 | 1,17E-07 | 180 |
| | | CA3.2 | 1,17E-07 | 15 |
| | | CA3.3 | 2,33E-07 | 0 |

| Base de GLP | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Cenario | | Frequencia | Mortes |
| Incendio em | Dia | CA4.1 | 0,00E+00 | 0 |
| | | CA4.2 | 1,07E-05 | 18 |
| | Noite | CA4.1 | 0,00E+00 | 0 |
| | | CA4.2 | 1,49E-05 | 38 |
| Incendio em | Dia | CA4.1 | 3,75E-08 | 83 |
| | | CA4.2 | 1,20E-06 | 83 |
| | Noite | CA4.1 | 5,25E-08 | 150 |
| | | CA4.2 | 1,68E-06 | 180 |
| Explosão nã | Dia | CA4.1 | 4,17E-09 | 102 |
| | | CA4.2 | 1,33E-07 | 79 |
| | Noite | CA4.1 | 5,83E-09 | 180 |
| | | CA4.2 | 1,87E-07 | 203 |

MC INTEGRAÇÃO RISCO SOCIAL

| Frequencia | Mortes |
|---|---|
| 7,50E-07 | 0 |
| 1,50E-06 | 0 |
| 1,05E-06 | 0 |
| 2,10E-06 | 0 |
| 1,67E-07 | 0 |
| 2,33E-07 | 0 |
| 0,00E+00 | 0 |
| 0,00E+00 | 0 |
| 6,67E-06 | 8 |
| 1,33E-05 | 8 |
| 8,33E-08 | 8 |
| 9,33E-06 | 15 |
| 1,87E-05 | 15 |
| 1,17E-07 | 15 |
| 1,07E-05 | 18 |
| 2,48E-05 | 23 |
| 6,25E-07 | 30 |
| 3,13E-07 | 33 |
| 1,77E-05 | 36 |
| 6,67E-06 | 38 |
| 1,49E-05 | 38 |
| 6,72E-06 | 53 |
| 8,75E-07 | 60 |
| 7,50E-07 | 60 |
| 8,33E-08 | 60 |
| 9,33E-06 | 75 |
| 1,33E-07 | 79 |
| 3,75E-08 | 83 |
| 1,20E-06 | 83 |
| 4,38E-07 | 94 |
| 4,17E-09 | 102 |
| 9,41E-06 | 105 |
| 1,05E-06 | 120 |
| 5,25E-08 | 150 |
| 1,17E-07 | 180 |
| 1,68E-06 | 180 |
| 5,83E-09 | 180 |
| 1,87E-07 | 203 |

| Frequencia acumulada | Mortes |
|---|---|
| 1,62E-04 | 1 |
| 1,62E-04 | 8 |
| 1,36E-04 | 15 |
| 1,08E-04 | 18 |
| 9,71E-05 | 23 |
| 7,23E-05 | 30 |
| 7,17E-05 | 33 |
| 7,14E-05 | 36 |
| 5,37E-05 | 38 |
| 3,21E-05 | 53 |
| 2,54E-05 | 60 |
| 2,36E-05 | 75 |
| 1,43E-05 | 79 |
| 1,42E-05 | 83 |
| 1,29E-05 | 94 |
| 1,25E-05 | 102 |
| 1,25E-05 | 105 |
| 3,09E-06 | 120 |
| 2,04E-06 | 150 |
| 1,99E-06 | 180 |
| 1,87E-07 | 203 |

# *Risco Social após 5 anos*

| | | | | | | | hab/resid | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Freq. Do cenario | Residências entre fonte e 1% (75% Fatalidade) | Outras Pessoas entre fonte e 1% (75% Fatalidade) | Residências entre 1% e 50% (25% Fatalidade) | Outras Pessoas entre 1% e 50% (25% Fatalidade) | Numero de mortes |
| Nuvem tóxica | Dia | CA2.1 | 3,13E-07 | 15 | 0 | 40 | 100 | 57 |
| | | CA2.2 | 1,77E-05 | 15 | 100 | 50 | | 111 |
| | Noite | CA2.1 | 4,38E-07 | 35 | 0 | 20 | 200 | 144 |
| | | CA2.2 | 2,48E-05 | 0 | 0 | 30 | 200 | 73 |

| | | Freq. Do cenario | Pessoas expostas região de 75% fatalidade | | Pessoas expostas região de 25% fatalidade | Numero de mortes |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CA2.1 | Dia | 3,13E-07 | 23 | | 60 | 33 |
| CA2.2 | | 1,77E-05 | 23 | | 75 | 36 |
| CA2.1 | Noite | 4,38E-07 | 105 | | 60 | 94 |
| CA2.2 | | 2,48E-05 | 0 | | 90 | 23 |

| | | | | Frequencia acumulada | N mortes |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 4,33E-05 | 1 |
| 3,13E-07 | 57 | 3,13E-07 | 57 | 4,33E-05 | 57 |
| 1,77E-05 | 111 | 2,48E-05 | 73 | 4,29E-05 | 73 |
| 4,38E-07 | 144 | 1,77E-05 | 111 | 1,81E-05 | 111 |
| 2,48E-05 | 73 | 4,38E-07 | 144 | 4,38E-07 | 144 |