

MANUAL PARA REALIZAÇÃO DE AVALIAÇÃO DE RISCO DE ACIDENTE DE ORIGEM TECNOLÓGICA

1 Introdução

Os acidentes industriais ocorridos nos últimos anos, em particular na década de 80, contribuíram de forma significativa para despertar a atenção das autoridades governamentais, da indústria e da sociedade como um todo no sentido de buscar mecanismos para a prevenção desses episódios que comprometem a segurança das pessoas e a qualidade do meio ambiente.

Assim, as técnicas e métodos já amplamente utilizados nas indústrias bélica, aeronáutica e nuclear passaram a ser adaptados para a realização de estudos de análise e avaliação do risco associado a outras atividades industriais, em especial nas áreas de petróleo, química e petroquímica.

No Brasil, em particular no estado de Rio de Janeiro, com a publicação da Resolução no 1 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 23/01/1986 (BRASIL, 1986), que instituiu a necessidade de realização do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e do respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) para o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, os Estudos de Análise de Risco passaram a ser requeridos pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Cidade do Rio de Janeiro (SMAC) para determinados tipos de empreendimentos, de forma que, além dos aspectos relacionados aos impactos ambientais e à poluição crônica, também a prevenção de acidentes maiores fosse contemplada no processo de licenciamento.

Da mesma forma, os Estudos de Análise de Risco têm se mostrado importantes na análise de instalações industriais já em operação, de modo que o risco residual possa ser avaliado e gerenciado satisfatoriamente.

O conhecimento do risco imposto pelo empreendimento à população externa otimiza a adoção de medidas de gerenciamento eventualmente necessárias para a redução desse risco. Estudos realizados separadamente para plantas ou instalações podem apresentar limitações na interpretação dos seus resultados, levando à subestimação do risco e à proposição de medidas de gerenciamento eventualmente insuficientes. A título de exemplo, pode-se imaginar um grupo de pessoas presentes na região de abrangência de cenários acidentais de duas plantas do mesmo empreendimento. Caso os estudos de risco das plantas sejam realizados de forma independente, ter-se-ão duas estimativas do risco imposto ao citado grupo, cada qual proveniente de um estudo.

A correta expressão do risco imposto pelo empreendimento ao grupo dependerá da integração dos estudos, tarefa nem sempre de realização imediata e consistente tecnicamente.

Por sua vez, realizar o estudo do empreendimento como um todo e não apenas de uma planta ou de uma instalação do mesmo, pode trazer vantagens ao empreendedor, pois possibilita conhecer o risco efetivamente imposto pelo seu empreendimento e, conseqüentemente, otimiza as medidas de redução desse risco, ou, de forma ampliada, de gerenciamento de risco.

A norma é composta por quatro partes:

- (i) **Parte I** Classificação de empreendimentos quanto à periculosidade,
- (ii) **Parte II** Termo de referência para a elaboração de Estudo de Análise de Risco para empreendimentos pontuais,
- (iii) **Parte III** Termo de referência para a elaboração de Estudo de Análise de Risco para dutos
- (iv) **Parte IV** Termo de referência para a elaboração de Programa de Gerenciamento de Risco.

A **Parte I** contempla o método para tomada de decisão quanto à necessidade de apresentação de Estudo de Análise de Risco (EAR) ou de Programa de Gerenciamento de Risco (PGR) embasado na periculosidade da substância, na quantidade da substância e na vulnerabilidade do entorno do empreendimento objeto de aplicação da norma. A periculosidade de cada substância é avaliada a partir de propriedades como inflamabilidade e toxicidade. Para as substâncias de interesse (vide **itens 6.1.1 e 6.1.2**), a partir das quantidades armazenadas e das condições de armazenamento, é possível encontrar nos **anexos D e E** tabelas com distâncias denominadas de referência (d_r). A decisão quanto à necessidade de apresentação de EAR ou de PGR é tomada comparando-se d_r com a distância da população de interesse (d_p) mais próxima, a partir do centro de cada recipiente.

Os termos de referência presentes nas **Partes II e III** orientam a elaboração dos EAR para empreendimentos pontuais e para dutos, respectivamente, e o termo de referência presente na **Parte IV** orienta a elaboração do PGR. No caso do EAR, os citados termos também trazem os critérios de tolerabilidade com os quais o risco estimado será comparado.

Na norma, há tabelas e quadros com modelos das etapas nela tratadas. Todos os valores numéricos presentes nesses modelos pretendem apenas ilustrar a melhor forma de apresentação dos resultados e não devem ser utilizados ou referenciados no EAR.

2 Escopo

Apresentar:

- (i) o método para tomada de decisão quanto à necessidade de apresentação de Estudo de Análise de Risco (EAR) ou de Programa de Gerenciamento de Risco (PGR) e
- (ii) os termos de referência para elaboração dos EAR e PGR.

Aplica-se a empreendimentos (indústrias, bases, terminais, dutos, entre outros) que manipulam (produzam, armazenam, transportam) substâncias inflamáveis e/ou tóxicas, nos estados líquido ou gasoso. Empreendimentos destinados ao armazenamento ou ao transporte por duto de petróleo e seus derivados são empreendimentos de interesse. Aqueles que manipulam substâncias com perigos diferenciados como, por exemplo, pós, peróxidos, oxidantes, explosivos e reativos são estudados caso a caso, uma vez que esta norma pode não ser suficiente para apoiar a decisão de que trata a **Parte I**.

3 Definições

Acidente

Evento específico não planejado e indesejável, ou uma sequência de eventos que geram consequências indesejáveis.

Auditoria do Programa de Gerenciamento de Risco

Atividade pela qual se pode verificar, periodicamente, a conformidade dos itens do Programa de Gerenciamento de Risco.

Avaliação de risco

Processo pelo qual os resultados da estimativa de risco são utilizados para a tomada de decisão, por meio de critérios comparativos de risco, visando à definição da estratégia de gerenciamento do risco.

Avaliação de vulnerabilidade

Estudo realizado por intermédio de modelos matemáticos para a previsão dos impactos danosos às pessoas, às instalações e ao meio ambiente, baseado em limites de tolerância para os efeitos de sobrepressão advindos de explosões, radiações térmicas decorrentes de incêndios e efeitos tóxicos advindos de exposição a substâncias químicas.

Bola de fogo

Fenômeno que se verifica quando o volume de vapor inflamável, inicialmente comprimido num recipiente, escapa repentinamente para a atmosfera e, devido à despressurização, forma um

volume esférico de gás, cuja superfície externa queima, enquanto a massa inteira eleva-se por efeito da redução da densidade provocada pelo superaquecimento.

Cenário acidental

Subdivisão de uma hipótese acidental diferenciada pelas tipologias acidentais e condições meteorológicas, em particular direções do vento.

Contorno de isorrisco

Representação do risco individual de um empreendimento sobre uma foto aérea, determinada pela intersecção de pontos com os mesmos valores de risco. Também conhecido como contorno de risco.

Diagrama de instrumentação e tubulação (*Piping and Instrumentation Diagram*)

Representação esquemática de todas as tubulações, vasos, válvulas, filtros, bombas, compressores, entre outros, do processo, incluindo dimensões. O diagrama também mostra toda a instrumentação da instalação.

Distância à população de interesse (dp)

Distância da fonte de vazamento à população de interesse.

Distância de referência (dr)

Distância determinada para efeito de aplicação da **Parte I** desta norma, apresentada nos **anexos D e E**, estimada a partir dos pressupostos do **anexo C**.

Dose tóxica

É a dose da substância que pode levar a um determinado efeito tóxico. Matematicamente é representada pela expressão:

$$\int_0^T C^n dt$$

, onde C é a concentração, t é o tempo de exposição e n é uma constante associada à substância

Duto

Conjunto de tubos ligados entre si, incluindo os componentes, destinado ao transporte ou transferência de fluidos, entre as fronteiras de unidades operacionais geograficamente distintas.

Empreendimento

Conjunto organizado de recursos humanos, materiais e financeiros, com vista a exercer uma atividade que produz e oferece bens e/ou serviços, com o objetivo de atender a alguma necessidade humana. Para fins desta norma, distinguimos dutos de empreendimentos pontuais, tais como indústrias, bases e terminais.

Estimativa de efeitos físicos

Estimativa do comportamento da liberação de matéria e/ou energia no meio ambiente por meio da aplicação de modelos matemáticos.

Estimativa de risco

Combinação das frequências e do número de vítimas dos cenários acidentais de interesse para fornecer uma medida de risco individual ou de risco social.

Estudo de Análise de Risco (EAR)

Estudo quantitativo de risco de um empreendimento, baseado em técnicas de identificação de perigos, estimativa de frequências e de efeitos físicos, avaliação de vulnerabilidade e na estimativa do risco.

Explosão

Processo onde ocorre uma rápida e violenta liberação de energia, associado a uma expansão de gases acarretando o aumento da pressão acima da pressão atmosférica.

Explosão confinada

Explosão de vapores inflamáveis em ambiente fechado.

Explosão de nuvem de vapor

Explosão de uma nuvem de vapor inflamável ao ar livre.

Faixa de dutos

BRASIL (2011) define como área de terreno de largura definida no projeto, ao longo da diretriz, destinada a construção, montagem, operação e manutenção de dutos.

Fluxograma de processo

Representação esquemática do fluxo seguido no manuseio ou na transformação de matérias-primas em produtos intermediários e acabados. É constituída de equipamentos de caldeiraria (tanques, torres, vasos, reatores, entre outros); máquinas (bombas, compressores, entre outros);

tubulações, válvulas e instrumentos principais, onde devem ser apresentados dados de pressão, temperatura, vazões, balanços de massa e de energia e demais variáveis de processo.

Frequência

Número de ocorrências de um evento por unidade de tempo.

Gerenciamento de risco

Processo de controle de risco compreendendo a formulação e a implantação de medidas e procedimentos técnicos e administrativos que têm por objetivo prevenir, reduzir e controlar o risco, bem como manter uma instalação operando dentro de padrões de segurança considerados toleráveis ao longo de sua vida útil.

Hipótese acidental

Suposição de condições que podem resultar em perda de contenção de matéria e/ou energia.

Incêndio

Tipo de reação química na qual os vapores de uma substância inflamável se combinam com o oxigênio do ar atmosférico e uma fonte de ignição, causando liberação de calor.

Incêndio de nuvem

Incêndio de uma nuvem de vapor onde a massa envolvida e o seu grau de confinamento não são suficientes para atingir o estado de explosão.

Incêndio de poça

Fenômeno que ocorre quando há a combustão da camada evaporada de líquido inflamável junto à base do fogo.

Incidente

Evento não desejado que poderia resultar em danos à pessoa, ao meio ambiente, à propriedade ou em perdas no processo.

Instalação

Conjunto de equipamentos e sistemas que permite o processamento, armazenamento e transporte de insumos, matérias-primas ou produtos.

Jato de fogo

Combustão de materiais emitidos com grande força através de um orifício.

Modelo matemático

Conjunto de equações que representa uma situação em estudo, tal como estimativas quantitativas para taxa de vazamento, dispersão atmosférica, radiação térmica, sobrepressão ou concentração de nuvens de vapor ou mesmo estimativa do risco.

Perigo

Uma ou mais condições físicas ou químicas com potencial para causar danos às pessoas, à propriedade e ao meio ambiente.

Plano de Ação de Emergência (PAE)

Documento que define as responsabilidades, diretrizes e informações, visando a adoção de procedimentos técnicos e administrativos, estruturados de forma a propiciar respostas rápidas e eficientes em situações emergenciais.

Planta

Setor dentro de um empreendimento que produz algum produto específico. Para fins desta norma, uma planta é composta por duas ou mais instalações.

Poliduto

Duto que se destina ao transporte ou transferência de produtos diversos, estes podem manter-se separados no mesmo por suas características físico-químicas ou por equipamentos especialmente projetados para este fim e introduzidos entre os mesmos.

Ponto notável

Elemento ao longo do traçado que pode interferir na integridade do duto ou da faixa de dutos, tais como erosão, movimentação do solo, invasões e interferências elétricas, ou ser impactado pelos efeitos físicos decorrentes de eventual incidente, tal como aglomerado populacional.

População abrigada

População no interior de construção (casa, edifício, galpão, entre outros) de alvenaria.

População de interesse

Pessoa ou agrupamento de pessoas presentes em residências, escolas, hospitais, estabelecimentos, comerciais ou industriais, vias com circulação de veículos como rodovias, avenidas e ruas movimentadas, entre outros, localizados no entorno do empreendimento para o qual a norma é aplicada. População de empresa terceira localizada dentro da área do empreendimento objeto de aplicação da norma não é considerada população de interesse.

População não abrigada

População no exterior de construção (casa, edifício, galpão, entre outros) de alvenaria ou no interior de construção que não seja de alvenaria. Áreas amplas de exposição, como ausência de portas e janelas, também caracterizam a ausência de abrigo para radiação térmica.

Programa de Gerenciamento de Risco (PGR)

Documento que define a política e diretrizes de um sistema de gestão, com vista à prevenção de acidentes em instalações ou atividades potencialmente perigosas.

Risco

Medida de danos à vida humana, resultante da combinação entre frequência de ocorrência de um ou mais cenários acidentais e a magnitude dos efeitos físicos associados a esses cenários.

Risco individual

Risco para uma pessoa presente na vizinhança de um perigo, em período de tempo definido. O risco individual tem caráter cumulativo e geográfico, razão pela qual sua expressão decorre da soma do risco individual de cada cenário acidental contribuinte nos pontos x,y localizados no entorno do empreendimento. Pode ser expresso por meio de contornos de risco (ou de isorrisco).

Risco residual

Risco do empreendimento, após a implantação de medidas de redução (se pertinentes), a ser gerenciado por meio de um Programa de Gerenciamento de Risco.

Risco social

Risco para um agrupamento de pessoas presente na vizinhança de um perigo, em período de tempo definido. Sua expressão se dá por meio da chamada curva F-N, onde F representa a frequência acumulada de ocorrência dos cenários com número de fatalidades N ou mais.

Rugosidade do terreno

Medida da altura média dos obstáculos que causam turbulência na atmosfera, devido à ação do vento, influenciando na dispersão de uma nuvem de gás ou vapor.

Setor censitário

IBGE (2010) define como unidade territorial estabelecida para fins de controle cadastral, formado por área contínua, situada em um único quadro urbano ou rural, com dimensão e número de domicílios que permitam o levantamento por um recenseador.

Tipo de superfície

Informação utilizada nos modelos de formação de poça e incêndio de poça. Contempla os parâmetros: densidade, capacidade térmica, condutividade térmica, difusividade térmica e permeabilidade.

Tipologia accidental

Denominação genérica para incêndio de poça, incêndio de nuvem, jato de fogo, bola de fogo, explosão confinada, explosão de nuvem de vapor e dispersão de nuvem tóxica.

Valor de referência

Concentração tóxica *versus* tempo, radiação térmica *versus* tempo ou sobrepressão associados a valor de probabilidade de fatalidade.

4 Documentos complementares

Os documentos relacionados a seguir contêm disposições que constituem fundamento para este procedimento. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisões e alterações, aqueles que realizam procedimentos com base nesta, devem verificar a existência de legislação superveniente aplicável ou de edições mais recentes das normas citadas. Na aplicação desta norma sugere-se consultar:

API. **API RP 581**: risk-based inspection technology. 2nd. ed. Washington, DC, 2008. 654 p. Recommended Practice.

CONCAWE. **CONCAWE Report nº 4/10**: performance of European cross-country oil pipelines. Statistical summary of reported spillages in 2008 and since 1971. Report nº 4/10. Brussels, 2010. Disponível em: <<http://www.concawe.be/content/default.asp?PageID=569>>. Acesso em 14 abr. 2011.

Rio de Janeiro

EGIG. **EGIG – report 1970-2007 gas pipeline incident**: 7th report of the European Gas Pipeline Incident Data Group,. Groningen, 2008. 33 p. (Doc. n. EGIG 08.TV-B.0502; 08.R.0002). Disponível em: <<http://www.egig.eu>>. Acesso em: 28 ago. 2012.

RIVM. **Reference manual bevi risk assessments**. Version 3.2. Bilthoven, 2009. 189 p. Translation of the: Handleiding Risicoberekeningen Bevi. Versie 3.2. Disponível em: <<http://www.rivm.nl/dsresource?objectid=rivmp:22450&type=org&disposition=inline>>. Acesso em: 31 ago. 2012.

USEPA. **Meteorological monitoring guidance for regulatory modeling applications**. North Carolina, 2000. (EPA-454/R-99-005). 171 p. Disponível em: <<http://www.epa.gov/scram001/metguidance.htm>>.

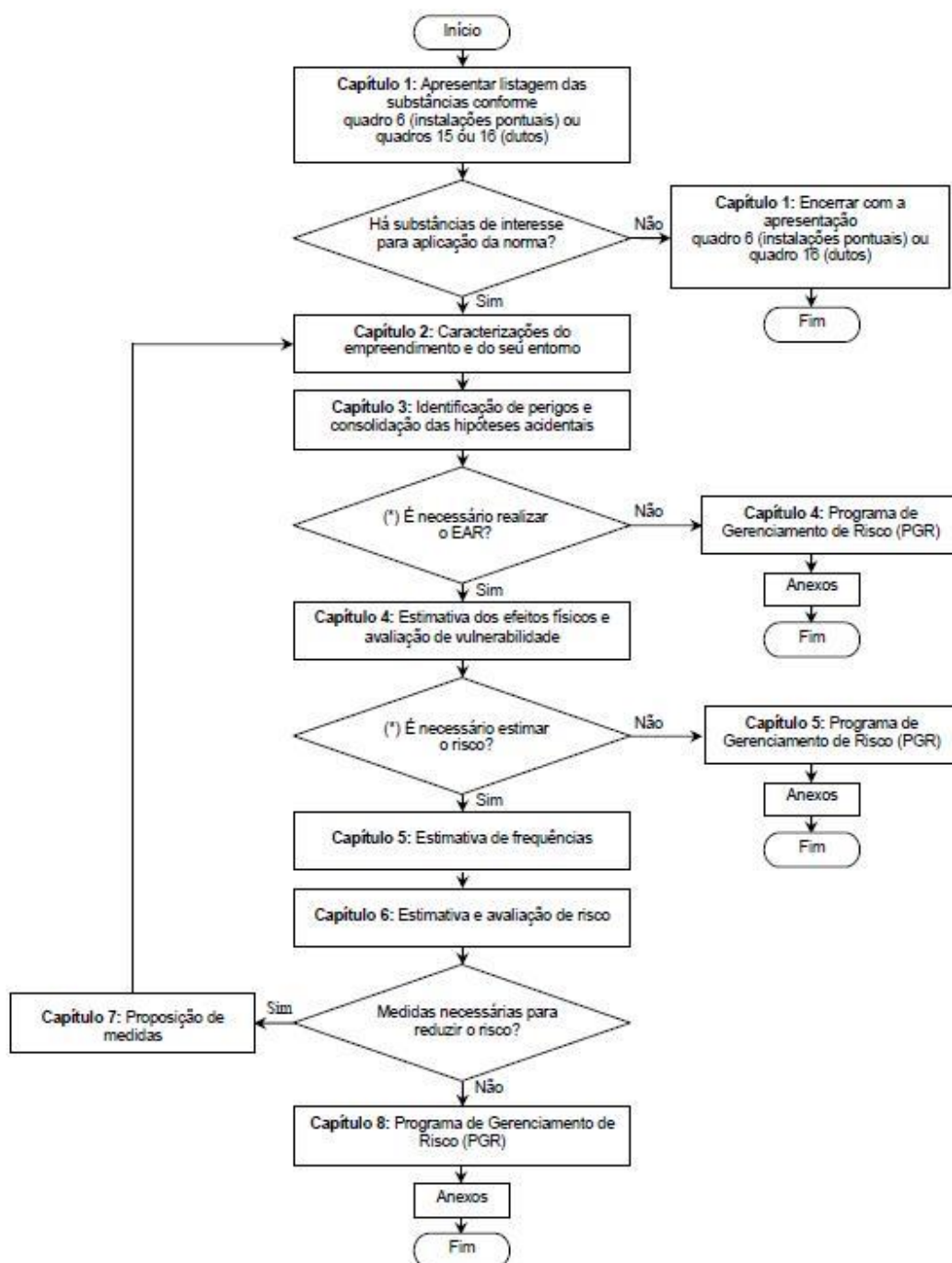
Acesso em: 31 ago. 2012.

Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems: meteorological measurements. North Carolina, 2008. (EPA-454/B-08-002). Title in site: **Meteorological Measurements Quality Assurance Handbook**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/scram001/metguidance.htm>>. Acesso em: 22 jan. 2013.

5 Documentação técnica

Apresentar o documento seguindo a sequência de capítulos indicada na **figura 1**.

Figura 1 – Sequência de capítulos que compõem o documento a ser apresentado



(*) Pergunta aplicável apenas aos empreendimentos pontuais

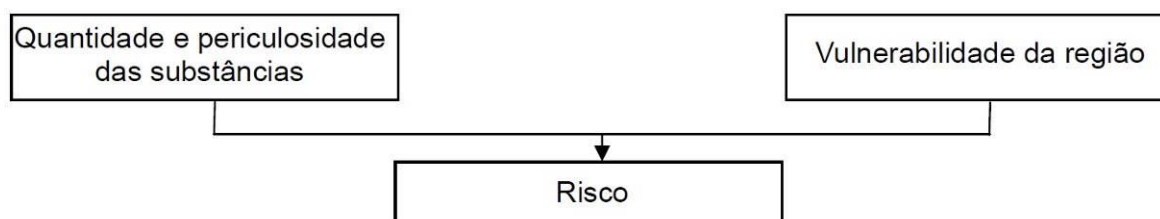
6 Parte I- Classificação de empreendimentos quanto à periculosidade

6.1 Desenvolvimento do método para empreendimentos pontuais

O método baseia-se no seguinte princípio:

O risco de um empreendimento para a comunidade e para o meio ambiente, circunvizinhos e externos aos limites do empreendimento, está diretamente associado às características das substâncias químicas manipuladas, suas quantidades e à vulnerabilidade da região onde está ou será localizado.

Figura 2 – Fatores que influenciam o risco de um empreendimento



Esse princípio pode ser representado esquematicamente pelo diagrama apresentado na **figura 2**. Como já mencionado no **item 1**, a partir da relação das substâncias manipuladas, suas quantidades e condições de armazenamento, pode-se encontrar nos **anexos D e E** tabelas com distâncias de referência (d_r) além das quais não se esperam danos significativos ao homem decorrentes de cenários acidentais associados a essas substâncias. Essas distâncias são comparadas com as distâncias à população de interesse (d_p) e assim se decide pela apresentação de um EAR ou de um PGR.

6.1.1 Classificação das substâncias químicas quanto à periculosidade

A primeira etapa do método consiste em selecionar as substâncias líquidas ou gasosas que, de acordo com a sua periculosidade intrínseca em relação à toxicidade e à inflamabilidade, apresentam potencial para causar danos ao ser humano e/ou ao meio ambiente.

6.1.1.1 Classificação de gases e líquidos tóxicos

Há quatro níveis de toxicidade, de acordo com a concentração letal 50 (CL_{50}), via respiratória, para rato ou camundongo, para substâncias que possuem pressão de vapor (P_{vap}) ≥ 10 mmHg a 25°C, como apresentado no **quadro 1**.

Quadro 1 – Classificação de substâncias tóxicas

Nível de toxicidade	C (ppmv.h)
4 - Muito tóxica	$C \leq 500$
3 - Tóxica	$500 < C \leq 5000$
2 - Pouco tóxica	$5000 < C \leq 50000$
1 - Praticamente não tóxica	$50000 < C \leq 150000$

Nota: C = concentração letal 50 (CL₅₀) em ppmv multiplicada pelo tempo de exposição em horas.

Para as substâncias cujos valores de CL₅₀ não estão disponíveis, utilizar os valores de dose letal 50 (DL₅₀), via oral para rato ou camundongo, considerando-se os mesmos valores de pressão de vapor, como apresentado no **quadro 2**.

Quadro 2 – Classificação de substâncias tóxicas pelo DL₅₀

Nível de toxicidade	DL ₅₀ (mg.kg ⁻¹)
4 - Muito tóxica	$DL_{50} \leq 50$
3 - Tóxica	$50 < DL_{50} \leq 500$
2 - Pouco tóxica	$500 < DL_{50} \leq 5000$
1 - Praticamente não tóxica	$5000 < DL_{50} \leq 15000$

Para efeito desta norma, substâncias de interesse são as classificadas nos níveis de toxicidade 3 e 4, consideradas como gases e líquidos tóxicos perigosos. Esta classificação se aplica às substâncias tóxicas com $P_{vap} \geq 10\text{mmHg}$ a 25°C e também àquelas cuja pressão de vapor puder se tornar igual ou superior a 10mmHg, em função das condições de armazenamento ou processo. O **anexo A** apresenta a listagem de algumas substâncias classificadas como tóxicas, de interesse para aplicação desta norma.

6.1.1.2 Classificação de gases e líquidos inflamáveis Analogamente às substâncias tóxicas, foi adotada a classificação apresentada no **quadro 3** para as substâncias inflamáveis, segundo níveis de inflamabilidade.

Quadro 3 – Classificação de substâncias inflamáveis

Nível de inflamabilidade	Ponto de fulgor (PF) e/ou Ponto de ebulição (PE) (°C)
4 - Gás ou líquido altamente inflamável	$PF \leq 37,8$ e $PE \leq 37,8$
3 - Líquido facilmente inflamável	$PF \leq 37,8$ e $PE > 37,8$
2 - Líquido inflamável	$37,8 < PF \leq 60$
1 - Líquido pouco inflamável	$PF > 60$

Nota: Quando existirem dados de ponto de fulgor em vaso aberto e vaso fechado, utilizar o menor valor.

Para efeito desta norma, são substâncias de interesse as do nível 4, líquidas ou gasosas e do nível 3, somente líquidas, consideradas substâncias inflamáveis perigosas. O **anexo B** apresenta a listagem de algumas destas substâncias. Ressalta-se que, caso a substância seja armazenada ou processada em temperaturas acima do seu ponto de fulgor, esta também será considerada de interesse.

6.2 Tomada de decisão quanto à necessidade de EAR ou PGR (aplicação do método)

Os **anexos A e B** apresentam, respectivamente, as tabelas com as substâncias tóxicas e inflamáveis de interesse e os **anexos D e E** as respectivas quantidades e distâncias de referência (d_r). Os pressupostos para a elaboração das tabelas encontram-se no **anexo C**.

O método consiste em classificar as substâncias presentes no empreendimento e relacionar as capacidades dos recipientes de armazenamento com as respectivas distâncias de referência (d_r). Uma vez obtidas, compará-las com as distâncias dos recipientes à população de interesse (d_p), considerando o número mínimo (N_p) de 26 pessoas na área de interesse delimitada pelo raio referente a d_r .

Em caso de mistura, apresentar sua composição e, na ausência de dados para classificação da mesma, deve-se utilizar a(s) substância(s) com maior grau de periculosidade.

Os **itens 6.2.1, 6.2.2 e 6.2.3** detalham a aplicação do método, passo a passo.

6.2.1 Classificação

a) Levantar todas as substâncias existentes no empreendimento e listá-las no **quadro 6**;

b) Verificar se as substâncias constam das tabelas presentes nos **anexos A ou B**;

b.1) Caso as substâncias constem das citadas tabelas, proceder da seguinte maneira:

b.1.1) Levantar as capacidades nominais dos diferentes recipientes (tanque, reator, tubulação, tambor). Somar as capacidades dos recipientes quando dois ou mais estiverem, de alguma forma, interligados e operando simultaneamente, podendo, dessa forma, ocorrer o vazamento de mais de um deles. Em sistemas fechados do tipo refrigeração, considerar o inventário total do sistema.

b.1.2) Obter a distância de referência (d_r) correspondente à capacidade do recipiente, de acordo com os dados constantes das tabelas dos **anexos D ou E**.

b.1.3) Determinar a distância à população de interesse (d_p) mais próxima, a partir do centro de cada recipiente.

b.1.4) Verificar se $N_p > 25$ pessoas dentro do círculo de raio d_r , a partir do centro de cada recipiente.

b.2) Caso as substâncias não constem das tabelas dos **anexos A e B**, proceder da seguinte maneira:

b.2.1) Classificar as substâncias de acordo com o nível de toxicidade ou de inflamabilidade, considerando os critérios estabelecidos nos **itens 6.1.1.1** ou **6.1.1.2**.

b.2.2) Proceder como no **item b.1.1**.

b.2.3) Obter a distância de referência (d_r) para a capacidade do recipiente, estabelecida para a substância de referência correspondente ao nível de toxicidade ou de inflamabilidade similar à substância em análise, citada nos **quadros 4** e **5**.

b.2.4) Proceder como nos **itens b.1.3** e **b.1.4**.

Observações:

a) Caso a capacidade exata do recipiente não conste das tabelas dos **anexos D** ou **E**, realizar a interpolação linear dos dados para a determinação da distância de referência (d_r).

b) As substâncias de referência foram selecionadas em função de pertencerem aos níveis de toxicidade e de inflamabilidade considerados perigosos. Os **quadros 4** e **5** apresentam as substâncias tóxicas e inflamáveis de referência, respectivamente, de acordo com o estado físico.

Quadro 4 – Substâncias de referência para líquidos e gases tóxicos

Nível de toxicidade	Estado físico	Substância de referência
4	gás	cloro
3	gás	amônia
4	líquido	acroleína
3	líquido	acrilonitrila

Quadro 5 – Substâncias de referência para líquidos e gases inflamáveis

Estado físico/Nível de inflamabilidade	Substância de referência
Gás	propano
Líquido dos níveis 4 e 3 com $P_{vap} > 120$ mmHg a 25 °C	n-pentano
Líquido nível 3 com $P_{vap} \leq 120$ mmHg a 25 °C	benzeno

c) Caso a substância possa ser classificada como tóxica e inflamável, adotar a situação mais restritiva em termos de distanciamento.

d) As quantidades e as distâncias de referência apresentadas nos **anexos D** e **E** são válidas tanto para as substâncias no estado gasoso como na condição liquefeita por pressão ou temperatura.

6.2.2 Avaliação dos resultados da aplicação do método

Uma vez obtidas a distância de referência (d_r) e a distância à população de interesse (d_p), deve-se compará-las, sendo que, quando houver a presença de população de interesse dentro dos limites determinados pela distância de referência (d_r) e $N_p > 25$ pessoas, deve-se realizar Estudo de

Análise de Risco (EAR) e Programa de Gerenciamento de Risco (PGR).

Caso contrário, isto é, quando a distância à população de interesse (d_p) for maior que a distância de referência (d_r), o que corresponde à ausência de população nos limites determinados por d_r , ou $N_p \leq 25$ pessoas dentro do círculo de raio d_r , o empreendedor fica dispensado da elaboração do Estudo de Análise de Risco (EAR), devendo apresentar um Programa de Gerenciamento de Risco (PGR).

Apresentar o PGR de acordo com o modelo constante no **item 25 da Parte IV** desta norma.

Assim, pode-se resumir o exposto da seguinte forma:

- a) Se $d_p \leq d_r$ e $N_p > 25$ pessoas $\rightarrow$ Elaborar EAR e PGR;
- b) Se $d_p \leq d_r$ e $N_p \leq 25$ pessoas $\rightarrow$ Dispensar do EAR e elaborar PGR;
- c) Se $d_p > d_r \rightarrow$ Dispensar do EAR e elaborar PGR.

6.2.3 Apresentação dos resultados

Registrar a classificação das substâncias e a avaliação dos resultados da aplicação do método, **itens 6.2.1 e 6.2.2**, conforme **quadro 6**.

6.3 Desenvolvimento do método para dutos

Para dutos destinados ao transporte de petróleo e seus derivados, bem como de substâncias tóxicas ou inflamáveis, nos estados líquido ou gasoso, classificadas de acordo com os **itens 6.1.1.1 e 6.1.1.2**, sempre elaborar Estudo de Análise de Risco (EAR) e Programa de Gerenciamento de Risco (PGR).

Quadro 6 – Modelo de planilha para a apresentação das substâncias presentes no empreendimento

Quadro 6 – Modelo de planilha para a apresentação das substâncias presentes no empreendimento															
Substância	CAS	Maior inventário	Propriedades						Condição operacional		Classificação conforme item 6.1.1	d _r (m)	d _b (m)	N _p	d _b ≤ d _r e N _p > 25
			P _{vap} (mmHg)	CL ₅₀ , tempo (ppmv, h)	C (ppmv.h)	DL ₅₀ (mg.kg ⁻¹)	PF (°C)	PE (°C)	T (°C)	P (bar)					
Nome e composição percentual (mássica ou molar), quando se tratar de misturas	Número do CAS (Chemical Abstracts Service)	Capacidade nominal do reservatório da substância. Se houver reservatórios interligados ou sistemas fechados, somar os inventários.	Verificar se a substância está presente nos anexos A ou B. Caso esteja presente, informar na coluna <i>Classificação conforme item 6.1.1</i> se é considerada inflamável ou tóxica com o respectivo nível. Caso não esteja presente nestes anexos: - Listar as propriedades Pressão de vapor (P_{vap}) na temperatura de operação, Concentração letal 50 (CL₅₀) para um certo tempo de exposição (tempo), Dose letal 50 (DL₅₀), Ponto de fulgor (PF) e Ponto de ebulição (PE) - Calcular o valor C a partir de CL₅₀ e do tempo - Listar a Temperatura (T) e Pressão (P) na condição operacional (processo ou armazenamento) - Classificar a substância tóxica de acordo com o item 6.1.1.1 - Classificar a substância inflamável de acordo com o item 6.1.1.2									Distância de referência, de acordo com as tabelas dos anexos D ou E	Distância à população de interesse a partir do centro do recipiente	Número mínimo de pessoas na área de interesse delimitada pelo raio referente à d _r a partir do centro do recipiente	Sim ou não

7 Parte II- Termo de referência para a elaboração de Estudo de Análise de Risco para empreendimentos pontuais

O presente termo de referência tem por objetivo fornecer as diretrizes básicas para a elaboração de Estudo de Análise de Risco (EAR) em atividades industriais e apresentar a visão da SMAC no tocante à interpretação e avaliação desse estudo.

O EAR, constituído pelas etapas a seguir, é estruturado segundo a lógica mostrada na **figura 3**.

- Caracterizações do empreendimento e do seu entorno;
- Identificação de perigos e consolidação das hipóteses acidentais;
- Estimativa dos efeitos físicos e avaliação de vulnerabilidade;
- Estimativa de frequências;
- Estimativa e avaliação de risco;
- Redução do risco.

O termo se aplica à avaliação do risco à população de interesse, não contemplando risco à saúde e segurança dos trabalhadores ou danos aos bens patrimoniais das instalações analisadas. Os impactos ao meio ambiente serão avaliados caso a caso, de forma específica, porém tal avaliação não será feita por meio das técnicas apresentadas neste termo.

Após a realização da etapa estimativa dos efeitos físicos e avaliação de vulnerabilidade o EAR deve ser interrompido se os efeitos físicos não atingirem a população de interesse. Nesse caso, as etapas estimativa de frequências e estimativa e avaliação de risco não precisam ser feitas, encerrando-se o estudo (vide **figura 3**) e elaborando-se o Programa de Gerenciamento de Risco (PGR).

O EAR deve refletir a realidade do empreendimento no tocante às suas características locais, às condições operacionais e de manutenção e aos sistemas de proteção disponíveis. Para tanto, o levantamento e a descrição do empreendimento e do seu entorno – etapa que inicia o estudo – devem ser fiéis ao momento em que este é realizado. As simulações dos efeitos físicos e a estimativa das frequências das hipóteses e dos cenários acidentais devem ser consistentes com a etapa inicial, com destaque para os limites operacionais de equipamentos, que, em geral, funcionam como condições de contorno para as simulações.

Ao longo do estudo, principalmente nas etapas quantitativas, o autor precisa assumir pressupostos que devem ser demonstrados e justificados. Atenção especial deve ser dada ao emprego de pressupostos por demais conservativos, em geral adotados nas etapas quantitativas, que podem produzir resultados incompatíveis com os perigos identificados e a vulnerabilidade do entorno, bem como onerar o empreendedor na implementação de medidas de redução do risco eventualmente desnecessárias. O órgão ambiental pode requerer a demonstração de tais pressupostos e a eventual revisão do estudo.

O Estudo de Análise de Risco deve ser elaborado por profissional com conhecimento e experiência no tema. O estudo deve ser acompanhado por declaração de responsabilidade técnica, conforme **anexo F**.

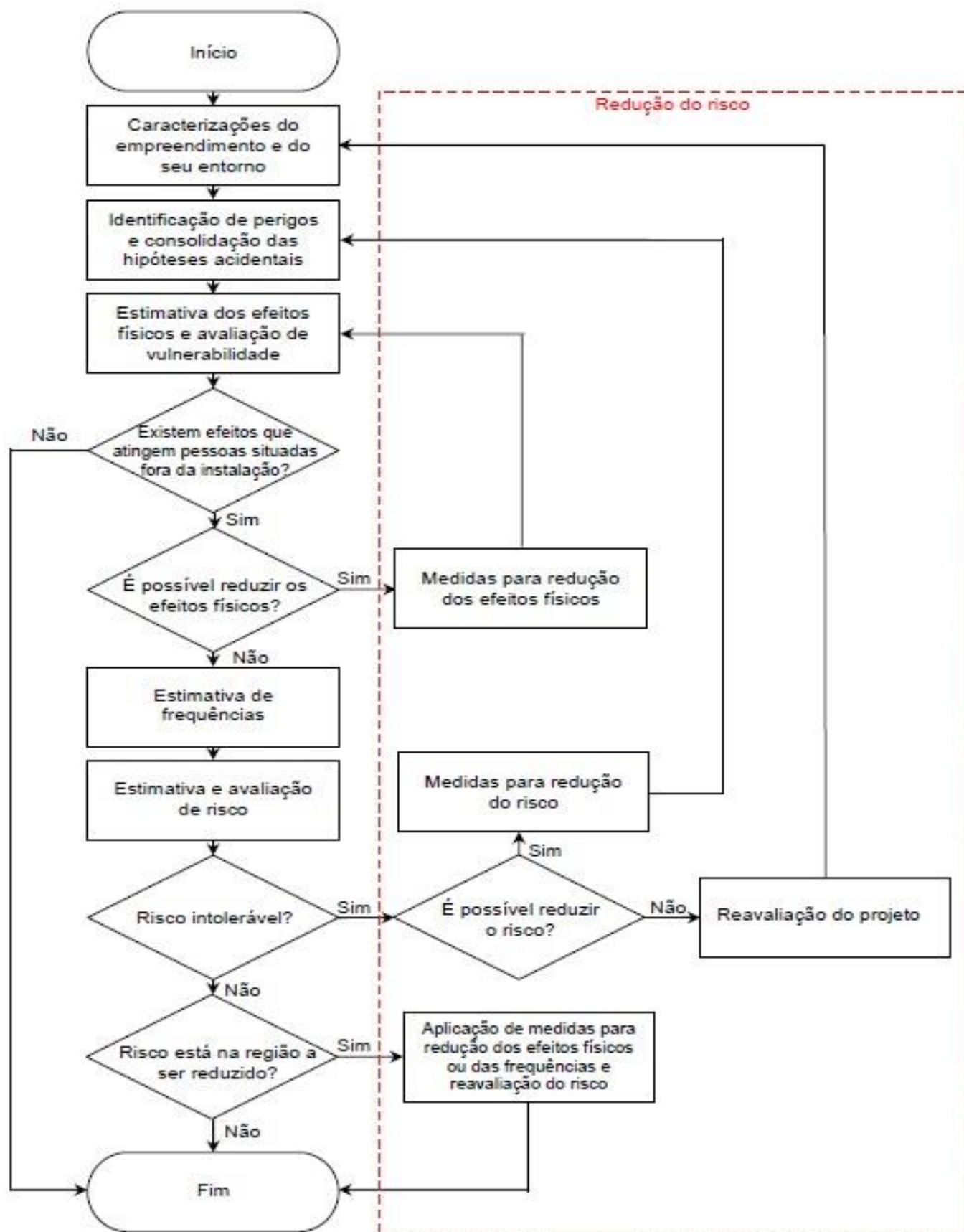
7.1 Caracterizações do empreendimento e do seu entorno

Apresentar as atividades do empreendimento e a população presente no seu entorno, diferenciando características para o período diurno, com início às 06h01min até 18h, e noturno, desde 18h01min até 06h.

7.1.1 Caracterização do empreendimento

Deve, no mínimo, incluir o levantamento dos dados relacionados conforme itens a seguir:

Figura 3 – Orientação para a elaboração de um Estudo de Análise de Risco para empreendimentos pontuais



7.1.1.1 Identificação do empreendimento:

–Nome, Logradouro, Bairro, Município, CEP

–Contato:

–Observações:

7.1.1.2 Substâncias químicas

Para elaborar um EAR, todas as substâncias classificadas nos níveis 3 e 4, de acordo com o **item 6.1.1**, presentes no **quadro 6** e as intermediárias de processo, devem fazer parte do estudo.

Para elaborar um PGR, todas as substâncias do **quadro 6** devem fazer parte do programa.

7.1.1.3 Instalações e processos

A caracterização deve:

a) Descrever as características físicas das instalações que processam, armazenam ou manuseiam substâncias mencionadas no **item 7.1.1.2**;

b) Descrever as principais atividades e processos realizados no empreendimento, contemplando as(os):

–Características dos processos, com identificação dos insumos, matérias-primas e produtos intermediários e finais gerados;

–Equipamentos e tubulações envolvidos e principais parâmetros e limites operacionais (temperatura, pressão e vazão);

Nota: Somente equipamentos e linhas utilizados para processar, armazenar ou manusear substâncias perigosas.

–Definições dos limites e das interfaces com outras instalações ou sistemas.

c) Descrever o armazenamento das substâncias (insumos, matérias-primas, produtos intermediários e produtos finais), contemplando as(os):

–Substâncias armazenadas e inventários;

–Condições de temperatura e pressão;

–Dispositivos de proteção das linhas de transferência e meios de armazenamento (sistemas de alívio, instrumentação, dispositivos de proteção, tipos de tetos/selo, entre outros);

–Dispositivos de contenção secundária (bacias de contenção, diques, canaletas de coleta, sistemas de drenagem e/ou segregação, entre outros).

Nota: Toda descrição deve ser acompanhada de memorial de cálculo da capacidade volumétrica

das bacias de contenção e material de referência pertinente.

d) Descrever as operações de carga e descarga das substâncias (insumos, matérias-primas, produtos intermediários e produtos finais), contemplando as(os):

- Volumes de armazenamento dos meios de transporte envolvidos nestas operações;
- Frequências das operações;
- Parâmetros operacionais (pressão, temperatura e vazão);
- Dispositivos de proteção dos sistemas envolvidos (sistemas de alívio, instrumentação, entre outros).

e) Descrever os sistemas de proteção presentes em cada área/setor/processo, contendo:

- Finalidades;
- Parâmetros observados/acompanhados;
- Meios de acompanhamento/supervisão;
- Elementos de detecção (automática, local ou supervisão);
- Elementos de controle;
- Elementos de atuação (remota, automática ou em área);
- Redundâncias e intertravamentos.

f) Apresentar informações gerais, contemplando:

- Diagramas de blocos;
- Fluxogramas de processo;
- Balanços de massa e de energia contendo inventários máximos;
- Limites superiores e inferiores dos parâmetros: temperatura, pressão, vazão, nível e composição, além dos quais as operações podem ser consideradas inseguras, além das consequências dos desvios desses limites, quando for aplicável.

g) Relacionar as normas que orientam aspectos de segurança do empreendimento, como as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), as regulamentadoras do Ministério do Trabalho e internacionais, entre outras.

h) Lista de documentos anexos:

Toda a descrição deve ser acompanhada de material de referência pertinente como plantas, fluxogramas de processo, diagramas de instrumentação e tubulação, leiaute, entre outros, com o qual seja possível identificar as instalações presentes.

7.1.2 Caracterização do entorno

Descrever o entorno do empreendimento de maneira completa e detalhada. Na elaboração do EAR a descrição deve considerar a região determinada por uma faixa ao longo do perímetro do empreendimento, com extensão equivalente a maior abrangência da estimativa de efeitos físicos correspondente a 1% de probabilidade de fatalidade ou ao Limite Inferior de Inflamabilidade (LII). Quando se tratar apenas de PGR, a região de interesse é delimitada pela faixa com extensão de 100m ou da distância de referência (d_r), a que for maior.

Caracterizar a população ao redor do empreendimento a partir de levantamento de campo.

Alternativamente, a caracterização pode ser feita com base em dados dos Setores Censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), seguindo o protocolo constante no **anexo G**.

Apresentar descrição em forma de quadro indicando todas as atividades presentes no local, como, por exemplo, comércios, indústrias, entre outros, com enfoque para os locais onde pode haver aglomeração de pessoas, tais como residências, creches, escolas, asilos, presídios, ambulatórios, casas de saúde, hospitais e afins. No caso de população flutuante em ruas, avenidas, estradas, entre outras, estimar o número de pessoas presentes no local.

Identificar os bens ambientais relevantes, tais como sistemas hídricos utilizados para abastecimento público, áreas de preservação ambiental, entre outros.

Identificar as atividades presentes no local (acima mencionadas) em foto aérea atualizada, com escala e resolução adequadas, que permita a visualização do entorno, e devem ser complementadas com levantamento em campo.

Incluir na descrição características relevantes do entorno, tais como barreiras naturais, que possam influenciar o resultado do estudo, como na análise dos efeitos físicos (explosão, radiação térmica, dispersão), entre outros.

7.1 Identificação de perigos

Consiste na aplicação de técnicas estruturadas para a identificação das possíveis sequências de eventos, visando a obtenção de diagnóstico do local e a definição de hipóteses acidentais.

Elaborar a identificação de perigos com a participação de, ao menos, um representante do empreendedor com conhecimento dos perigos e experiência na instalação que é objeto da análise. A identificação de perigos não pode ser genérica e tem que demonstrar a situação atual

do empreendimento.

Algumas técnicas são apresentadas no **anexo H**. Seu uso depende do empreendimento a ser analisado e do detalhamento necessário.

Apresentar esta etapa em forma de planilhas, incluindo a lista dos participantes, seus cargos ou funções, contemplando os itens constantes no **quadro 7**. O **anexo I** mostra um modelo de planilha preenchida.

Esta etapa pode ser precedida pela elaboração de uma análise histórica de acidentes para subsidiar a identificação dos perigos na instalação em estudo.

Quadro 7 – Tutorial para planilha de Identificação de Perigos

Sistema: Preencher com sistema em estudo

Data: Preencher com a data da Folha X/X
realização

Elaboração: Nomes dos participantes, incluindo o representante do empreendedor

Documento ref.	Perigo	Causa	Consequência	Danos externos?	Proteções existentes	Recomendações	Hipótese accidental
Relacionar os desenhos, segmentos de fluxograma, fluxograma de tubulação e instrumentação, entre outros, que estão sendo avaliados	Conter, no mínimo, a magnitude, estado físico, limites de bateria e sistemas de proteção	Preencher com as causas que poderão ser desenvolvidas na etapa de estimativa de frequências	Preencher com as tipologias accidentais que serão estudadas na etapa de estimativa dos efeitos físicos e outros impactos	Sim (não)	Indicar os dispositivos <u>existentes</u> que atuarão para reduzir a frequência ou a consequência	Propor dispositivos que atuarão para reduzir a frequência ou a consequência	Numerar como indicado no anexo T

Quadro 8 – Hipóteses accidentais consolidadas

Nº	Descrição da hipótese accidental	Instalação
Numerar e/ou referenciar as hipóteses como indicado no anexo T , de modo a permitir a sua rastreabilidade ao longo do estudo	Detalhar, especificando, no mínimo, a magnitude, estado físico, limites de bateria e sistemas de proteção	Identificar a instalação e a operação

7.3 Consolidação das hipóteses accidentais

Formular hipóteses accidentais a partir dos perigos identificados (**item 7.2**). Desenvolver quantitativamente as hipóteses cujas tipologias accidentais extrapolem os limites do empreendimento até 1% de probabilidade de fatalidade ou até o LII, justificando, por meio de simulações de efeitos físicos ou outras técnicas, qualquer procedimento distinto.

Nota: Quando se tratar apenas do Programa de Gerenciamento de Risco esta justificativa não é necessária. Neste caso, consolidar as hipóteses acidentais para a elaboração do Plano de Ação de Emergência.

Assegurar a formulação de hipóteses acidentais que contemplem a ruptura catastrófica do equipamento, a ruptura de linha (100% diâmetro), a ruptura parcial de linha (por exemplo, 10% do diâmetro, limitado a 50mm), segundo o *National Institute of Public Health and the Environment* (RIVM, 2009), ou os tamanhos segundo o *American Petroleum Institute* (API, 2008), com furo em equipamentos, tais como vasos e tanques, abertura de PSV e a ignição de fase vapor confinada em tanques.

Descrever e detalhar claramente as hipóteses acidentais consolidadas, especificando, no mínimo, a magnitude, estado físico, limites de bateria e sistemas de proteção. Numerar e/ou referenciar as hipóteses de modo a permitir a sua rastreabilidade ao longo do estudo, até a estimativa de risco, e apresentá-las conforme **quadro 8**. O **anexo K** mostra um modelo de planilha preenchida.

Para os casos em que for considerado sistema de proteção de equipamentos, elaborar duas hipóteses acidentais, sendo que a primeira (H_i) considera a falha do sistema de proteção e a segunda (H_{i+1}) considera a atuação do sistema.

7.4 Estimativa dos efeitos físicos e avaliação de vulnerabilidade

Após a definição das hipóteses acidentais, procede-se à estimativa dos seus efeitos físicos utilizando modelos matemáticos com a finalidade de obter informações sobre o comportamento da substância no meio e quantificar esses efeitos em termos de radiações térmicas (incêndios), sobrepressões (explosões) e concentrações tóxicas.

Em seguida procede-se à aplicação de modelos de vulnerabilidade ao homem e às estruturas obtendo as probabilidades de fatalidade decorrentes da radiação térmica, sobrepressão e concentrações tóxicas.

A partir desta etapa do estudo será possível estabelecer uma relação entre cada hipótese/cenário acidental e o número (N) de fatalidades.

7.4.1 Efeitos físicos

Para a definição das diferentes tipologias acidentais envolvendo substâncias inflamáveis, adotar as Árvores de Eventos apresentadas no **anexo R**.

Nota: Hipóteses acidentais envolvendo o armazenamento criogênico podem não ser adequadamente tratadas pelas árvores de eventos do **anexo R**. Referenciar a abordagem utilizada.

Realizar a estimativa por meio da aplicação de modelos matemáticos que efetivamente representem os possíveis fenômenos (vazamento de líquido, de gás ou bifásico) e tipologias acidentais (dispersões atmosféricas, incêndios e explosões) em estudo, de acordo com as hipóteses acidentais identificadas e com as características e comportamento das substâncias envolvidas.

Especificar claramente para cada fenômeno ou tipologia acidental o modelo matemático utilizado e apresentar estas informações na forma de tabela, conforme modelo no **quadro 9**. Informar a sequência acidental estudada em cada hipótese. Caso a mesma sequência acidental tenha sido utilizada em mais de uma hipótese, a sequência pode ser apresentada para um grupo de hipóteses.

Quadro 9 – Modelo de sequência acidental utilizada para uma hipótese acidental ou grupo de hipóteses

Sequência de cálculo para as hipóteses 1, 2, 8, 10, 25 e 34	Exemplo de modelo utilizado/item do EAR e/ou anexo, com memória de cálculo
Cálculo da taxa de vazamento	Modelo para líquido
Cálculo da taxa de evaporação de poça	Modelo de evaporação de poça
Cálculo da distância alcançada na dispersão de nuvem	Modelo de dispersão de gás pesado
Cálculo da radiação térmica para jato/poça/bola de fogo	Modelo para jato da API Modelo para incêndio de poça Modelo para bola de fogo do TNO Environment, Energy and Process Innovation (TNO)
Cálculo da sobrepressão de explosão de nuvem de vapor	Modelo multi-energia do TNO

Incluir as memórias de cálculos relativas a dados estimados manualmente e utilizados nas simulações como, por exemplo, cálculos das taxas de vazamento, áreas de poças e massas das substâncias envolvidas nas explosões confinadas.

Apresentar em tabelas os dados de entrada relevantes para cada hipótese acidental, conforme **anexo M**.

Informar e justificar eventuais alterações dos parâmetros internos dos modelos matemáticos.

Interromper o EAR se os efeitos físicos não atingirem a população de interesse e elaborar o Programa de Gerenciamento de Risco (PGR).

7.4.1.1 Caracterização das condições meteorológicas

Adotar os valores a seguir:

- Temperatura ambiente: 25°C;
- Velocidade do vento: 3,0m.s⁻¹;
- Categoria de estabilidade atmosférica: C;
- Umidade relativa do ar: 80%;
- Direção do vento: 12,5% (distribuição uniforme em oito direções);
- Temperatura do solo: 30°C.

Período noturno:

- Temperatura ambiente: 20°C;
- Velocidade do vento: 2,0m.s⁻¹;
- Categoria de estabilidade atmosférica: E;
- Umidade relativa do ar: 80%;
- Direção do vento: 12,5% (distribuição uniforme em oito direções);
- Temperatura do solo: 2C.

O empreendedor pode utilizar dados do local em estudo, em geral de estação própria. A compilação, a análise e a definição dos dados utilizados nas simulações devem ser feitas por um meteorologista e estarem em acordo com o protocolo de coleta e tratamento de dados, conforme **anexo O**.

Independentemente da fonte, apresentar os dados seguindo o padrão descrito no **quadro 10**.

Quadro 10 – Condições meteorológicas locais - períodos diurno e noturno

Parâmetros	Descrições		Exemplos	
	Período Diurno	Período Noturno	Período Diurno	Período Noturno
Temperatura ambiente média (°C)	Valor adotado	Valor adotado	23,2	19,6
Velocidade média do vento (m.s ⁻¹)	Valor adotado	Valor adotado	1,7	1,1
Categoria de estabilidade atmosférica de Pasquill	Valor adotado	Valor adotado	B	F
Umidade relativa média do ar (%)	Valor adotado	Valor adotado	76,5	92,3
Temperatura do solo (°C)	Temperatura ambiente média acrescida de 5°C	Temperatura ambiente média	28,2	19,6

7.4.1.2 Direção de vazamento

Adotar, independentemente do tamanho do orifício de liberação, apenas a direção horizontal (0° em relação ao solo) para vazamentos em linhas aéreas. Considerar as direções vertical (90°) e angular (45°) ao solo para linhas enterradas.

7.4.1.3 Tempo de vazamento

Estudar o vazamento contínuo utilizando o tempo de detecção e intervenção não inferior a dez minutos, exceto quando não existir massa suficiente para atingir este tempo.

Para os casos em que foi considerado sistema de proteção de equipamentos (**item 7.3**), a hipótese (H_i) deve ser estudada utilizando o tempo de detecção e intervenção não inferior a dez minutos e a segunda (H_{i+1}) deve considerar o tempo até cessar o vazamento.

7.4.1.4 Cálculo do inventário vazado

Para vazamentos de líquidos (exceto gases liquefeitos) em sistemas que operam com bombas e havendo ruptura total de linha, determinar a taxa de vazamento utilizando-se a curva da bomba ou de bomba similar e a curva do sistema, a qual deverá ser levantada pelo interessado. Para sistemas que operam com bombas para gases liquefeitos, realizar a estimativa da taxa de vazamento por meio do uso de modelos matemáticos.

Para vazamentos contínuos, considerar na simulação o inventário do reservatório de armazenamento mais o contido em linhas e demais equipamentos.

Para vazamentos instantâneos de gases, inclusive liquefeitos, o inventário utilizado na simulação deve ser equivalente à máxima capacidade operacional no recipiente.

7.4.1.5 Substância

Para substâncias cujos dados não estejam disponíveis, realizar a simulação considerando as substâncias de referência apresentadas nos **quadros 4 e 5 da Parte I**.

Para os casos do petróleo e seus derivados, as simulações podem ser realizadas para as substâncias representativas do **quadro 11**.

Quadro 11 – Substâncias a serem utilizadas nas simulações para petróleo e derivados

Substância (mistura)	Substância representativa para a simulação
gás liquefeito de petróleo (GLP)	propano
gás natural	metano
gasolina automotiva	n-hexano
nafta	n-pentano
óleo combustível	n-decano
óleo diesel	n-nonano
petróleo	n-decano
querosene	n-nonano

Para as hipóteses envolvendo misturas, como no caso do gás liquefeito de petróleo (GLP), pode-se utilizar tal mistura para realizar as simulações. Neste caso, apresentar a composição e as propriedades calculadas da mistura.

Excepcionalmente, na impossibilidade de caracterizar adequadamente as propriedades físicas, químicas e toxicológicas de uma mistura, adotar a substância com maior grau de periculosidade.

Para as áreas contendo diversas substâncias químicas como, por exemplo, áreas de armazenamento onde os tanques não são cativos ou áreas de armazenamento de tambores com diversas substâncias químicas, pode-se selecionar uma delas para uso nas simulações, de modo a representar os efeitos físicos das demais substâncias manipuladas. Nesse caso, apresentar o critério utilizado para a seleção da substância de referência.

7.4.1.6 Área de poça

Nas áreas onde há sistema de contenção de vazamentos, adotar a superfície da poça como sendo equivalente à área delimitada pela contenção.

Nos locais onde não há sistema de contenção de vazamentos, estimar a área de espalhamento da substância considerando-se uma altura máxima da poça de 3 (três) cm.

7.4.1.7 Incêndio de nuvem

Adotar, no estudo de dispersão, a área ocupada pela nuvem delimitada pela concentração associada ao Limite Inferior de Inflamabilidade (LII).

Para vazamentos instantâneos, a dispersão da substância na atmosfera gerará nuvens delimitadas pelo Limite Inferior de Inflamabilidade (LII) com diferentes áreas e localizações à medida que o tempo passa. Adotar, para cada cenário acidental (vide **anexo T**) um conjunto de nuvens, até o ponto mais distante em que o LII é alcançado, associando a cada nuvem sua probabilidade de ignição. Alternativamente, adotar para cada cenário acidental a nuvem, cuja área de abrangência corresponda à condição de maior número de fatalidades, associando uma única probabilidade de ignição.

7.4.1.8 Explosão

Para o cálculo de explosões, utilizar qualquer modelo reconhecido internacionalmente, desde que aplicável ao cenário em estudo, com as considerações a seguir.

7.4.1.8.1 Massa de vapor envolvida no cálculo de explosão confinada

Para a estimativa da massa de vapor existente no interior de um recipiente, considerar a fase vapor correspondente a, no mínimo, 50% do volume útil do recipiente, quando não dispuser de dados específicos. Apresentar a memória de cálculo da estimativa da massa de vapor utilizada na simulação.

7.4.1.8.2 Massa inflamável na nuvem

Para estimar a massa inflamável, considerar, no mínimo, a massa entre os limites de inflamabilidade.

Para vazamentos instantâneos, a dispersão da substância na atmosfera gerará nuvens delimitadas pelo Limite Inferior de Inflamabilidade (LII) com diferentes áreas, massas inflamáveis e localizações à medida que o tempo passa. Adotar, para cada cenário acidental (vide **anexo T**) um conjunto de nuvens, até o ponto mais distante em que o LII é alcançado, associando cada nuvem com a sua respectiva probabilidade de ignição e massa inflamável. Alternativamente, adotar para cada cenário acidental a massa inflamável da nuvem, cuja área de abrangência do efeito físico decorrente da explosão corresponda à condição de maior número de fatalidades, associando uma única probabilidade de ignição.

7.4.1.8.3 Rendimento da explosão

Adotar rendimento igual ou maior que 10%.

Para as substâncias altamente reativas, tais como o acetileno e óxido de eteno, adotar o rendimento igual ou maior que 20%.

7.4.1.8.4 Multi-energia

Para simulações de explosões utilizando o modelo multi-energia, apresentar memorial definindo as áreas de congestionamento de nuvem inflamável, evidenciando-as com material de apoio pertinente (plantas, fotos, memorial de cálculo, entre outros).

Para as frações da nuvem que se encontram em áreas congestionadas, utilizar nas simulações, no mínimo, a curva de número 6, conforme Bosch e Weterings (2005, p. 5.33-5.81).

7.4.1.8.5 Local da explosão

Para a explosão de nuvem de vapor, o ponto da explosão deve ser o centro geométrico da nuvem.

Quando for utilizado o modelo multi-energia, o ponto da explosão deve ser o centro geométrico da área parcialmente congestionada.

Para a explosão confinada, o ponto da explosão deve ser o centro do recipiente em estudo.

7.4.2 Vulnerabilidade

Os danos ao homem e às estruturas dependem dos efeitos físicos (radiação térmica, sobrepressão e toxicidade) dos cenários acidentais e da capacidade de resistência dos corpos expostos. Os modelos que permitem a estimativa desses danos são conhecidos como modelos de vulnerabilidade e se baseiam em uma função matemática do tipo Probit (Pr) (radiação e toxicidade) ou em valores previamente definidos (sobrepressão). Esses modelos permitem expressar a probabilidade do dano – no nosso caso, fatalidade humana – em função da magnitude dos efeitos físicos.

7.4.2.1 Valores de referência

Adotar os valores de referência a seguir apresentados para sobrepressão, radiação térmica e toxicidade.

7.4.2.1.1 Sobrepressão

Para sobrepressões decorrentes de explosões, referenciar as distâncias ao local do vazamento e considerar a probabilidade de fatalidade de 75% (0,75) quando a sobrepressão for acima de

0,3bar. Já para a região de sobrepressão entre 0,1 e 0,3bar, adotar a probabilidade de fatalidade de 25% (0,25), como indicadas na **figura 4**. Veja **item 7.4.1.8.2** para determinar a massa inflamável da nuvem.



7.4.2.1.2 Radiação Térmica

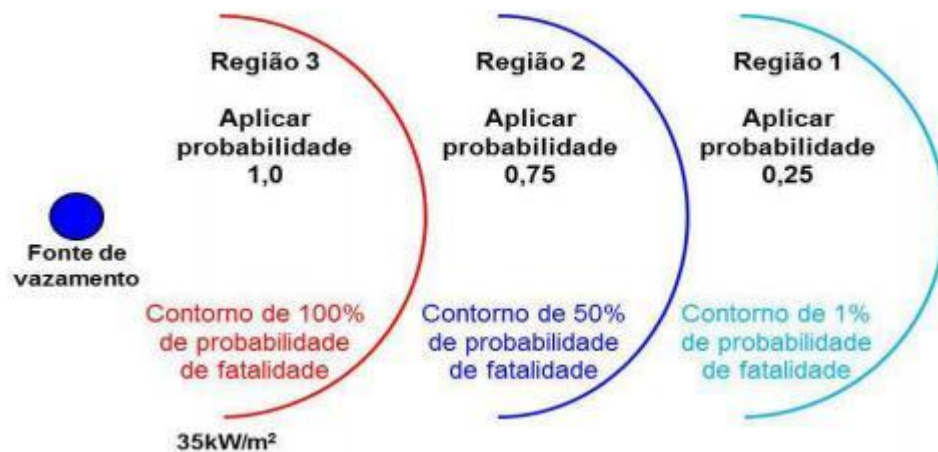
Para incêndios em poça, jatos de fogo, bolas de fogo, entre outros, adotar a probabilidade de fatalidade igual a 100% (1,0) quando a radiação térmica for maior ou igual a 35 kW.m⁻². Para valores de radiação térmica abaixo de 35kW.m⁻², calcular as probabilidades de fatalidade utilizando a equação 1 (TSAO; PERRY, 1979), até o contorno de 1% de fatalidade. O tempo de exposição a ser utilizado é de 20s, exceto para bola de fogo, onde deverá ser utilizado seu tempo de duração, até o limite de 20s.

$$Pr = -36,38 + 2,56 \ln [t \cdot I^{4/3}] \quad (1)$$

Com: t [s] e I [W.m⁻²].

A **figura 5** apresenta uma simplificação à estimativa da probabilidade de fatalidade $p_{f,x,y,i}$ correlacionando as probabilidades médias de fatalidade com os valores de referência.

Figura 5 – Representação das regiões de probabilidade de fatalidade associadas aos valores de referência para o efeito de radiação térmica



Para incêndio de nuvem, adotar a probabilidade de fatalidade de 100% (1,0) para pessoas dentro da área da nuvem, independentemente do fato de estarem abrigadas. A probabilidade de fatalidade para pessoas fora da área da nuvem é zero (0). Veja **item 7.4.1.7** para determinar a área da nuvem.

7.4.2.1.3 Toxicidade

Calcular a probabilidade de fatalidade utilizando a **equação 2**, de *Probit*, até o contorno de 1% de fatalidade. O tempo (T) a ser considerado é o de passagem da nuvem pelo receptor ou, no máximo, 10min.

$$Pr = a + b \ln D \quad (2)$$

Onde:

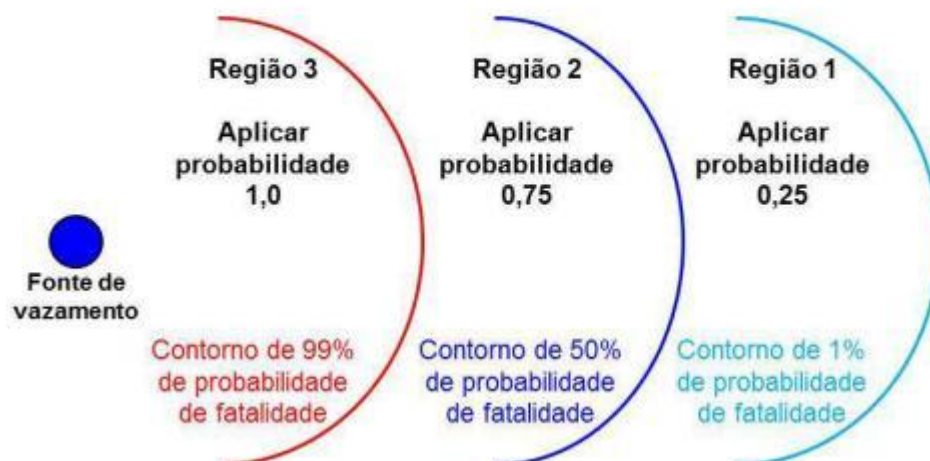
D = dose tóxica recebida em dado ponto, igual a: $\begin{cases} C^n T, & \text{quando } C \text{ é constante durante a exposição} \\ \int_0^T C^n dt, & \text{quando } C \text{ é variável durante a exposição} \end{cases}$

t = tempo de exposição; C = concentração; a , b e n = constantes específicas da substância.

Adotar as constantes a , b e n apresentadas no **anexo P** para as respectivas substâncias.

A **figura 6** apresenta uma simplificação à estimativa da probabilidade de fatalidade $p_{f,x,y,i}$ correlacionando as probabilidades médias de fatalidade com os valores de referência.

Figura 6 - Representação das regiões de probabilidade de fatalidade associadas aos valores de referência para o efeito de toxicidade



7.4.3 Apresentação dos resultados

7.4.3.1 Tabelas

Apresentar tabela, conforme a do **anexo Q**, com os resultados obtidos na etapa de estimativa dos efeitos físicos, **item 7.4.1**, para cada hipótese acidental e suas tipologias acidentais, de forma a relacionar os valores de referência adotados e as respectivas distâncias atingidas a partir do ponto onde ocorreu a liberação da substância.

7.4.3.2 Plotagem

Apresentar os pontos de liberação estudados em leiaute.

Apresentar os resultados de cada cenário acidental em foto aérea atualizada e em escala que permita a adequada visualização da área de influência dos efeitos físicos.

7.5 Estimativa de frequências

Nos casos em que os efeitos físicos extrapolam os limites do empreendimento e podem afetar pessoas, o risco do empreendimento deve ser calculado; para tanto, estimar as frequências de ocorrência de hipóteses e de cenários acidentais.

7.5.1 Técnicas

A estimativa quantitativa da frequência de ocorrência dos cenários acidentais pressupõe o emprego da técnica Análise por Árvore de Eventos (AAE). O **anexo R** apresenta algumas árvores de eventos. Nelas é possível observar a estrutura típica da técnica, qual seja: um evento inicial – em geral uma liberação para a atmosfera – interferências cronologicamente ordenadas e os eventos finais – neste caso, tipologias acidentais. O **anexo T** detalha cada tipologia, considerando

como interferências a ocorrência da liberação durante o dia ou durante a noite e, quando pertinente, as diferentes direções de vento.

Chega-se aqui à frequência dos cenários acidentais decorrentes de cada hipótese acidental.

O evento inicial da AAE corresponde à hipótese acidental formulada no **item 11**, cuja frequência de ocorrência pode ser estimada a partir da técnica Análise por Árvore de Falhas (AAF), por análise histórica de falhas ou outra técnica conveniente.

7.5.2 Quantificação

A frequência de ocorrência do evento inicial pode ser estimada diretamente a partir de registros históricos constantes de bancos de dados ou de referências bibliográficas, desde que efetivamente tenham aplicabilidade para o caso em estudo.

Ao se utilizar a Análise por Árvores de Falhas (AAF) para a estimativa do evento inicial, adotar API (2008) e/ou RIVM (2009) para fonte de taxas de falhas. Outras referências bibliográficas podem ser adotadas na ausência de dados nas referências mencionadas, no entanto devem ser devidamente justificadas.

A falha humana, quando pertinente, deve fazer parte da estimativa quantitativa, sendo que as probabilidades de falha devem ser consistentes com a hipótese em estudo no tocante a ação esperada do homem.

Alternativamente, banco de dados de falhas próprio do empreendimento em estudo pode ser utilizado, sendo que o método de coleta de dados e a estimativa das taxas de falha devem ser apresentados para avaliação.

Para substâncias inflamáveis, o **anexo R** apresenta árvores de eventos que descrevem as sequências acidentais, até as tipologias. Obter as probabilidades das interferências a partir dos **quadros 12 a 14**. A ignição imediata está associada à reatividade e à quantidade liberada para a atmosfera da substância, sendo que as probabilidades (p_{ij}) a serem adotadas no estudo são aquelas apresentadas no **quadro 13**, a partir da classificação da substância de acordo com o **quadro 12**.

Quadro 12 – Classificação de gases e líquidos inflamáveis quanto à reatividade

Categoria 0	Gases puros e misturas que podem ignizar nas condições normais de pressão e temperatura quando expostos ao ar, exceto os de reatividade baixa
reatividade média/alta	Líquidos puros e misturas com ponto de fulgor (PF) < 0°C e ponto de ebulição (ou início da ebulição) (PE) ≤ 37,8°C
Categoria 0 reatividade baixa	metano [Chemical Abstracts Service Number (CAS nº 74-82-8)] cloro de metila (CAS nº 74-87-3) cloro de etila (CAS nº 75-00-3)
Categoria 1	Líquidos puros e misturas com PF < 21°C e que não sejam classificadas como Categoria 0
Categoria 2	Líquidos puros e misturas com PF ≥ 21°C

A ignição retardada pressupõe a formação de uma nuvem e que esta alcance uma ou mais fontes de ignição. Características das fontes como quantidade, eficácia e distribuição espacial afetam a probabilidade dessa ignição. O **quadro 14** apresenta valores de probabilidade de ignição retardada (p_{ir}) que devem ser adotados no estudo. A adoção dos valores deve ser consistente com as caracterizações do empreendimento e do seu entorno, **item 9** da norma. Caso seja realizado estudo específico de fontes de ignição, considerar a probabilidade de ignição de 0,1 para locais com ausência de fontes.

A ocorrência de explosão está associada à massa da substância inflamável presente na nuvem em condições de inflamabilidade e do grau de confinamento dessa nuvem. O **quadro 13** apresenta a probabilidade de explosão (p_{ce}) que deve ser adotada no estudo.

Quadro 13 – Probabilidades de ignição imediata (p_{ii}) e de explosão (p_{ce})

Classificação da substância	Quantidade para vazamento instantâneo (kg)	Quantidade para vazamento contínuo (kg.s ⁻¹)	p_{ii}	p_{ce}
Categoria 0, reatividade média/alta	< 1000	< 10	0,2	0,4
	1000-10000	10-100	0,5	
	> 10000	> 100	0,7	
Categoria 0, reatividade baixa	< 1000	< 10	0,02	0,4
	1000-10000	10-100	0,04	
	> 10000	> 100	0,09	
Categoria 1	qualquer quantidade	qualquer vazão	0,065	0,4
Categoria 2	qualquer quantidade	qualquer vazão	0,01	0,4

Quadro 14 – Probabilidades de ignição retardada (p_{ir})

Fontes de ignição	p_{ir}
nenhuma	0,1
muito poucas	0,2
poucas	0,5
muitas	0,9

A frequência de cada cenário acidental é estimada a partir da **equação 3**.

$$f_{\text{cenário } i} = f_{\text{hipótese}} \cdot \prod P_i \quad (3)$$

Onde:

$f_{\text{cenário } i}$ = frequência de ocorrência do cenário i ;

$f_{\text{hipótese}}$ = frequência de ocorrência da hipótese acidental;

$\prod P_i$ = produto das probabilidades dos pontos de ramificação no percurso da hipótese até o cenário i .

Em geral, considera-se a ocorrência das hipóteses acidentais durante o dia e a noite com igual probabilidade (50%). A distribuição das probabilidades das direções do vento deve estar em consonância com o **item 7.4.1.1**.

Para hipóteses e cenários envolvendo tubulações enterradas, se forem estudados vazamentos nas direções vertical e angular à superfície do solo, de acordo com o **item 7.4.1.2**, considerar que 2/3 das vezes o vazamento ocorre na direção angular e 1/3 das vezes na direção vertical.

Para os casos em que foi considerado sistema de proteção de equipamentos, apresentar as árvores de falhas referentes às hipóteses H_i e H_{i+1} .

7.6 Estimativa e avaliação de risco

As etapas descritas nos **itens 7.4 e 7.5** possibilitam estimar o número de vítimas (N) e a frequência de ocorrência (f) de cada cenário acidental, que serão utilizados na estimativa do risco.

A SMAC avalia o risco do empreendimento por meio da comparação entre o risco estimado nas formas de risco individual e social e os respectivos critérios de tolerabilidade, cujos *end points* estão associados à fatalidade da população de interesse.

O emprego de *software* para a estimativa do número de vítimas fatais e a plotagem do RI em geral requer estabelecer as dimensões da malha. Esta decisão deve considerar a área do empreendimento e as distâncias dos efeitos físicos, contudo não devem ser maiores que 35m x 35m.

7.6.1 Risco individual

O risco, expresso na forma de risco individual (RI), refere-se ao risco para uma pessoa decorrente de um ou mais cenários acidentais, no intervalo de um ano. Seu caráter é geográfico, razão pela qual sua expressão se dá pela determinação dos valores de RI em pontos x,y localizados no entorno do empreendimento.

7.6.1.1 Estimativa

A determinação do risco individual num ponto x,y qualquer no entorno do empreendimento pressupõe o conhecimento da frequência de ocorrência de cada cenário acidental e da probabilidade desse cenário acarretar fatalidade nesse ponto.

Nota: Na expressão do risco individual, considerar todos os cenários de explosão, incêndio e dispersão tóxica cujos efeitos físicos extrapolem os limites do empreendimento até o limite de 1% de probabilidade de fatalidade ou até o LII.

O risco individual também tem caráter cumulativo, o que significa que a resultante em um ponto x,y de interesse advém da soma do RI de cada cenário acidental com contribuição no citado ponto, **conforme equações 4 e 5.**

$$RI_{x,y} = \sum_{i=1}^n RI_{x,y,i} \quad (4)$$

Onde

$RI_{x,y}$ = risco individual total de fatalidade no ponto x,y (chance de fatalidade por ano ou ano⁻¹);

$RI_{x,y,i}$ = risco individual de fatalidade no ponto x,y devido ao cenário i (chance de fatalidade por ano ou ano⁻¹);

n = número total de cenários considerados na análise.

$$RI_{x,y,i} = F_i \cdot p_{f,x,y,i} \quad (5)$$

Onde:

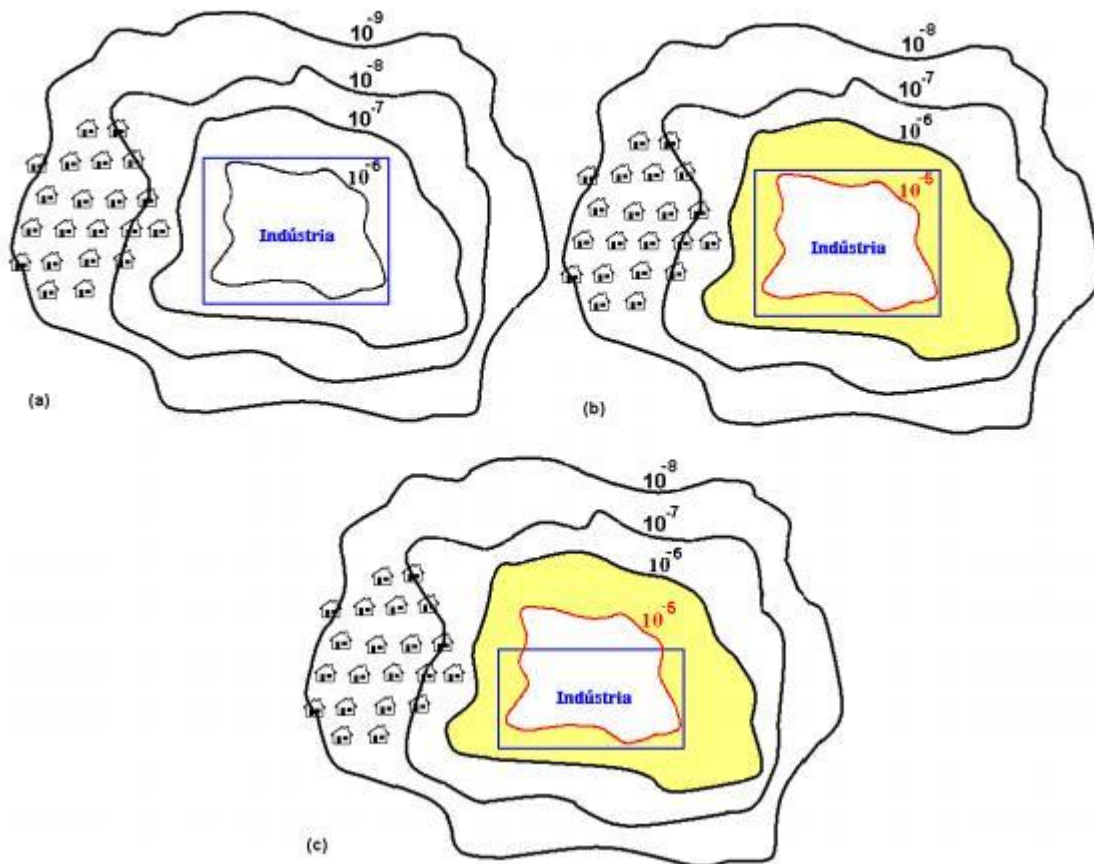
$RI_{x,y,i}$ = risco individual de fatalidade no ponto x,y devido ao cenário i (chance de fatalidade por ano ou ano⁻¹);

F_i = frequência de ocorrência do cenário i;

$p_{f,x,y,i}$ = probabilidade que o cenário i resulte em fatalidade no ponto x,y, de acordo com os efeitos esperados. Para radiação térmica, exceto incêndio de nuvem, e vazamento tóxico, utilizar as probabilidades de fatalidade provenientes das **equações 1 e 2**, respectivamente. Para incêndio de nuvem, considerar 1,0. Para sobrepressões, utilizar 0,75 quando a sobrepressão for acima de 0,3bar e 0,25 para a região de sobrepressão entre 0,1 e 0,3bar.

Apresentar o risco individual por meio de contornos de isorrisco, já que estes possibilitam visualizar a sua distribuição geográfica no entorno do empreendimento, como representado na **figura 7.**

Figura 7 - Representação do risco individual por meio dos contornos de isorrisco. Destaque para a região compreendida entre os contornos de $1 \times 10^{-5} \text{ ano}^{-1}$ e $1 \times 10^{-6} \text{ ano}^{-1}$, em amarelo, onde o risco deve ser reduzido.



7.6.1.2 Avaliação

O critério para a avaliação do risco individual é apresentado a seguir. Delimita três regiões de risco:

tolerável, a ser reduzido e intolerável.

– Risco tolerável: $\rightarrow \text{RI} < 1 \times 10^{-6} \text{ ano}^{-1}$;

– Risco a ser reduzido: $\rightarrow 1 \times 10^{-6} \text{ ano}^{-1} \leq \text{RI} \leq 1 \times 10^{-5} \text{ ano}^{-1}$;

– Risco intolerável: $\rightarrow \text{RI} > 1 \times 10^{-5} \text{ ano}^{-1}$

O contorno de isorrisco de $1 \times 10^{-6} \text{ ano}^{-1}$ situado dentro dos limites do empreendimento, como na **figura 7(a)**, aponta a presença de risco residual o qual deve ser gerenciado por meio de um Programa de Gerenciamento de Risco.

O empreendimento cujos limites situem-se entre os contornos de isorrisco de $1 \times 10^{-5} \text{ ano}^{-1}$ e de $1 \times 10^{-6} \text{ ano}^{-1}$, como na **figura 7(b)**, portanto na região de risco a ser reduzido, requer a implantação de medidas que resultem na redução do risco, de acordo com o recomendado no **item 7.7**.

O contorno de isorrisco de $1 \times 10^{-5} \text{ano}^{-1}$ situado total ou em parte externamente ao limite do empreendimento, como na **figura 7(c)**, indica a inviabilidade do projeto, tal como proposto. A adoção de medidas para a redução do risco, de acordo com o recomendado no **item 7.7**, deve ter como meta situar esse contorno integralmente dentro dos limites do empreendimento.

Os novos contornos, considerando as medidas de redução, devem ser apresentados para avaliação.

7.6.1.3 Aferição dos resultados

Com o objetivo de possibilitar a aferição, por parte da SMAC, da estimativa do risco individual, identificar um ponto x,y no contorno de isorrisco de $1 \times 10^{-6} \text{ano}^{-1}$ (ou um ponto sobre o menor valor de RI plotado, caso não seja alcançado $1 \times 10^{-6} \text{ano}^{-1}$) e detalhar todos os cenários que contribuem no cálculo do risco neste ponto. O detalhamento pressupõe a apresentação da memória de cálculo dos cenários identificados, retroagindo até a estimativa da frequência e do efeito físico da hipótese accidental de origem.

7.6.2 Risco social

O risco, expresso na forma de risco social (RS), refere-se ao risco para um determinado número ou agrupamento de pessoas expostas aos efeitos físicos decorrentes de um ou mais cenários accidentais.

7.6.2.1 Estimativa

A construção da curva F-N pressupõe o conhecimento dos pares ordenados f (frequência) e N (número de vítimas) para cada cenário accidental. A curva é obtida a partir da plotagem da frequência acumulada dos cenários accidentais com N ou mais vítimas (F , eixo y) e o número de vítimas fatais de cada cenário (N , eixo x).

7.6.2.1.1 Estimativa do número de vítimas

O número N de vítimas fatais de cada cenário accidental é determinado a partir do conhecimento da distribuição populacional na região de interesse e da probabilidade de fatalidade para essa população decorrente dos efeitos físicos desse cenário.

Para cada cenário accidental, estimar o número provável de vítimas fatais, levando em consideração os tópicos a seguir:

- a) tipo de população de interesse, em consonância com o levantamento apresentado no **item 7.1.2**.
- b) distribuição populacional para os períodos diurno (06h01min até 18h) e noturno (18h01min até

06h), considerando:

- Porcentagem de permanência da população de interesse no local;
- Porcentagem da população de interesse abrigada e não abrigada.

c) Probabilidades de fatalidade associadas aos efeitos físicos das tipologias acidentais, em função das pessoas expostas e dos fatores de proteção adotados.

7.6.2.1.1.1 Sobrepressão

Para os cenários envolvendo sobrepressão, estimar o número de vítimas fatais conforme a **equação 6**.

$$N_i = 0,25Ne_1 + 0,75Ne_2 \quad (6)$$

Onde:

N_i = número de fatalidades resultante do cenário i;

Ne_1 = número de pessoas abrigadas na região 1 da **figura 5**, delimitada pelas curvas correspondentes às sobrepressões de 0,3bar e 0,1bar;

Ne_2 = número de pessoas abrigadas na região 2 da **figura 5**, delimitada pela curva correspondente à sobrepressão de 0,3bar e a fonte do vazamento.

7.6.2.1.1.2 Radiação térmica e toxicidade

Para os cenários envolvendo radiação térmica e toxicidade, estimar o número de vítimas fatais conforme a **equação 7**

$$N_i = \sum_{x,y} Ne_{x,y} \cdot p_{f,x,y,i} \cdot f_p \quad (7)$$

Onde:

N_i = número de fatalidades resultante do cenário i;

$Ne_{x,y}$ = número de pessoas presentes e expostas no ponto x,y, de acordo com o item 7.6.2.1.1.b;

$p_{f,x,y,i}$ = probabilidade que o cenário i resulte em fatalidade para pessoas não abrigadas no ponto x,y, de acordo com os efeitos esperados. Para pessoas abrigadas e radiação térmica $< 35\text{kW.m}^{-2}$, considerar $p_{f,x,y,i} = 0$. Para radiação térmica $\geq 35\text{kW.m}^{-2}$, considerar $p_{f,x,y,i} = 1$, independentemente do fato de estarem abrigadas. Para incêndio de nuvem, adotar a $p_{f,x,y,i} = 1$ para pessoas dentro da área da nuvem, independentemente do fato de estarem abrigadas e $p_{f,x,y,i} = 0$ para pessoas fora da área da nuvem; e

f_p = fator associado a um certo nível de proteção, variando entre 1 e 0, os quais representam ausência de proteção e proteção total, respectivamente. Para radiação térmica $< 35\text{kW.m}^{-2}$, a probabilidade de fatalidade para pessoas não abrigadas é afetada pela proteção oferecida pela vestimenta. Utilizar o fator $f_p = 0,2$ para a baixa exposição, onde cerca de 25% do corpo está exposto. Utilizar $f_p = 0,8$ para a alta exposição, onde cerca de 70% do corpo está exposto. Para radiação térmica $\geq 35\text{kW.m}^{-2}$, $f_p = 1$. Para toxicidade, pode ser aplicado para pessoas abrigadas, justificando o valor adotado.

Se forem utilizadas as estimativas simplificadas das probabilidades de fatalidade $p_{f,x,y,i}$ (figuras 5 e 6), estimar o número de vítimas de acordo com os itens 7.6.2.1.1.2.1 e 7.6.2.1.1.2.2.

7.6.2.1.1.2.1 Radiação térmica

Estimar o número de vítimas fatais para cada cenário acidental conforme **equação 8**.

$$N_i = f_p(0,25Ne_1 + 0,75Ne_2) + Ne_3 \quad (8)$$

Onde:

N_i = número de fatalidades resultante do cenário i;

Ne_1 = número de pessoas presentes e expostas na região 1 da **figura 4**, delimitada pelas curvas correspondentes às probabilidades de fatalidade de 50% e 1%;

Ne_2 = número de pessoas presentes e expostas na região 2 da **figura 4**, delimitada pela curva de radiação térmica de 35 kW.m^{-2} e a curva de probabilidade de fatalidade de 50%;

Ne_3 = número de pessoas presentes e expostas na região 3 da **figura 4**, delimitada pela fonte do vazamento e a curva de radiação térmica de 35 kW.m^{-2} ; e

f_p = fator associado à vestimenta das pessoas não abrigadas, quando a radiação térmica é $< 35\text{ kW.m}^{-2}$.

7.6.2.1.1.2.2 Toxicidade

Estimar o número de vítimas fatais para cada cenário acidental conforme **equação 9**.

$$N_i = 0,25Ne_1 + 0,75Ne_2 + Ne_3 \quad (9)$$

Onde:

N_i = número de fatalidades resultante do cenário i ;

Ne_1 = número de pessoas presentes e expostas na região 1 da figura 6, delimitada pelas curvas correspondentes às probabilidades de fatalidade de 50% e 1%;

Ne_2 = número de pessoas presentes e expostas na região 2 da figura 6, delimitada pelas curvas

Para pessoas abrigadas, pode ser aplicado um fator de redução no número de vítimas, justificando-o.

7.6.2.1.3 Apresentação dos resultados

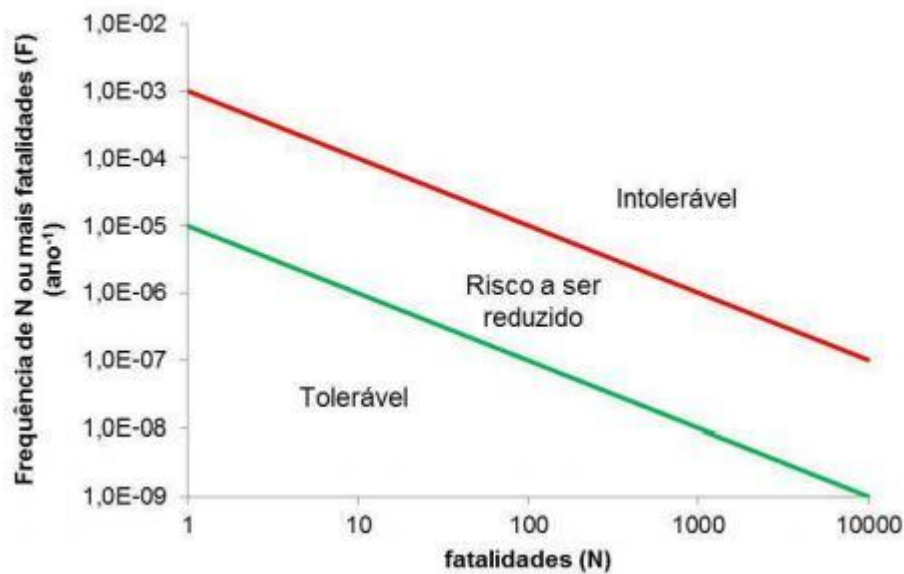
Ne_3 = número de pessoas presentes e expostas na região 3 da figura 6, delimitada pela fonte do vazamento e a curva de probabilidade de fatalidade de 99%.

Apresentar tabela, conforme a do **anexo U (b)**, identificando e detalhando para cada tipologia accidental o cenário de maior número de vítimas ($N_{(i)} = N_{max}$). O detalhamento pressupõe apresentar a memória decálculo do cenário identificado, retroagindo até a estimativa do efeito físico da hipótese accidental de origem. Apresentar tabela com os pares da curva F-N.

7.6.2.2 Avaliação

A **figura 8** apresenta o critério para a avaliação do risco social. Plotar a curva F-N do empreendimento contra o critério, de forma a possibilitar a avaliação da tolerabilidade do risco. O critério delimita três regiões de risco: tolerável, a ser reduzido e intolerável.

Figura 8 – Critério de tolerabilidade para risco social



A curva do empreendimento situada na região de risco tolerável aponta a presença de risco residual que deve ser gerenciado por meio de um Programa de Gerenciamento de Risco.

A curva situada total ou parcialmente na região de risco a ser reduzido requer a implantação de medidas que resultem na redução do risco, de acordo com o recomendado no **item 7.7**. Apresentar a nova curva para avaliação considerando tais medidas.

A curva situada total ou parcialmente na região de risco intolerável indica a inviabilidade do projeto, tal como proposto. A adoção de medidas para a redução do risco, de acordo com o recomendado no **item 7.7**, deve ter como meta situar a curva F-N integralmente na região de risco a ser reduzido ou, preferencialmente, na região de risco tolerável. Apresentar a nova curva para avaliação considerando tais medidas.

Cenário acidental com $N > 10000$, independentemente de F , deve ser desenvolvido no estudo e incorporado à curva do empreendimento. A tolerabilidade do risco, nessa condição, será avaliada pela SMAC como situação excepcional.

7.6.2.3 Aferição dos resultados

Com o objetivo de possibilitar a aferição por parte da SMAC da estimativa do risco social, identificar o cenário com maior número de vítimas ($N_{\max}$) e sua frequência. Também identificar os cenários que compõem os dois pontos subsequentes ao de $N_{\max}$ na composição da curva F-N. Apresentar os resultados em tabelas conforme modelos do **anexo U (a) e (b)**.

7.7 Redução do risco

No transcorrer do EAR, deve-se perguntar se é possível aplicar medidas que reduzam os efeitos físicos ou as frequências dos cenários acidentais, ou ainda eliminem alguns desses cenários. Essas medidas devem ser incorporadas ao projeto do empreendimento e ao EAR, demonstrando-se a redução dos efeitos físicos, das frequências e do risco. A esse processo, dá-se o nome de redução do risco, etapa apresentada em destaque na figura 3.

São exemplos de medidas a redundância ou o aumento da confiabilidade de componentes, a substituição de substâncias químicas por outras de menor periculosidade, o afastamento dos inventários em relação à população, a redução de inventários e das condições operacionais (temperatura, pressão), entre outras.

Identificar os cenários acidentais que mais contribuem para o risco do empreendimento, de forma que a adoção das medidas interfira nesses cenários, levando à efetiva redução do risco.

Demonstrar a redução dos efeitos físicos, das frequências e do risco decorrente das medidas propostas após as avaliações de que tratam os **itens 7.6.1.2 e 7.6.2.2**, seguindo as etapas do fluxograma da **figura 3**.

7.8 Outras considerações

Nos casos em que o risco social for considerado atendido, mas o risco individual for maior que o risco máximo tolerável, a SMAC, após avaliação específica, poderá considerar o empreendimento aprovado, uma vez que o enfoque principal na avaliação do risco está voltado para agrupamentos de pessoas possivelmente impactadas por acidentes maiores, sendo o risco social o critério prioritário nesta avaliação.

Considerando que o risco estimado foi avaliado e considerado tolerável ou se encontra na região de risco a ser reduzido é necessário manter esse risco residual ao longo da vida útil do empreendimento em valores próximos ao estimado. Para tanto, deve-se formular e implantar procedimentos técnicos e administrativos de forma a manter a instalação operando dentro de padrões de segurança adequados.

O Programa de Gerenciamento de Risco (PGR) apresentado na **Parte IV** da norma é a ferramenta recomendada para alcançar esse objetivo.

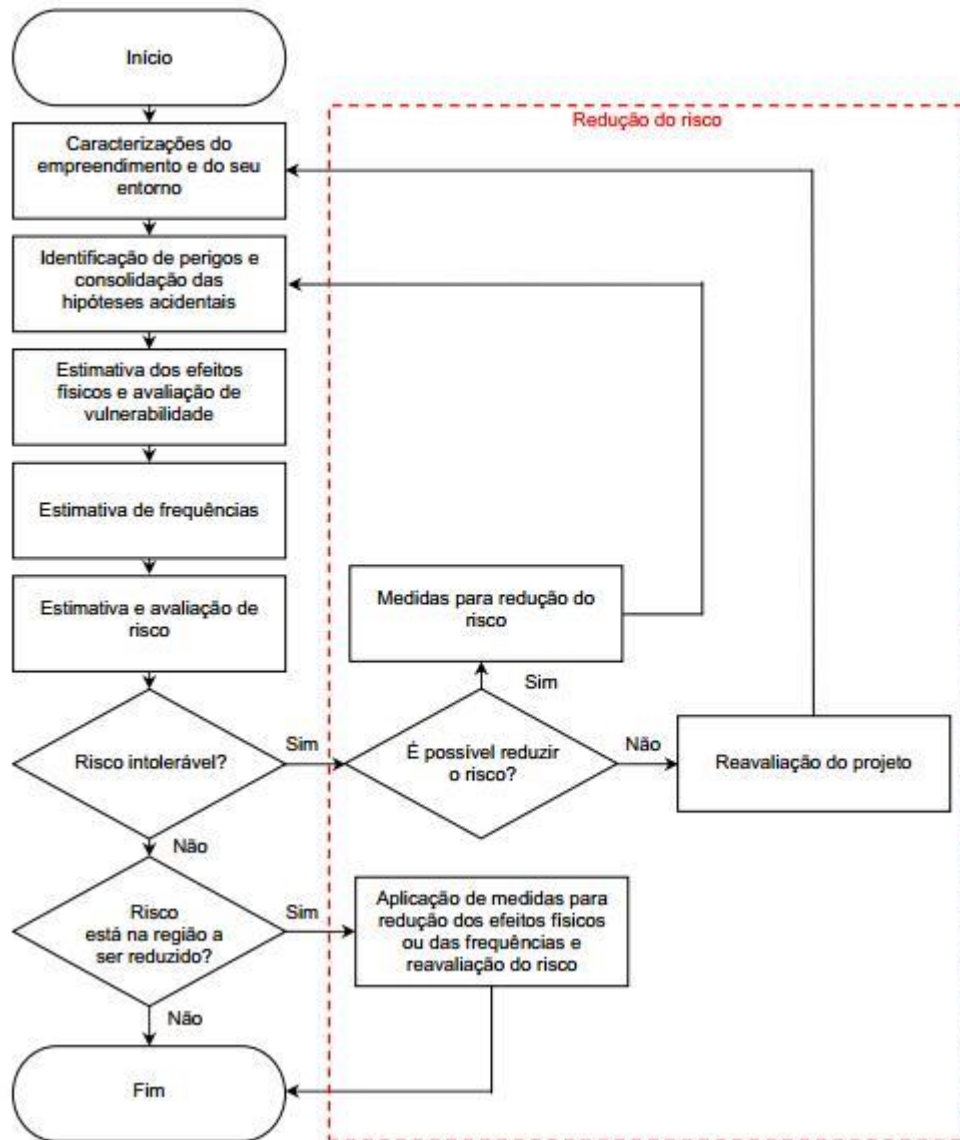
8 Parte III - Termo de referência para a elaboração de Estudo de Análise de Risco para dutos

O presente termo de referência tem por objetivo fornecer as diretrizes básicas para a elaboração de Estudo de Análise de Risco (EAR) para dutos e apresentar a visão da SMAC no tocante à interpretação e avaliação desse estudo.

O EAR, constituído pelas etapas a seguir, é estruturado segundo a lógica mostrada na **figura 9**.

- Caracterizações do empreendimento e do seu entorno;
- Identificação de perigos e consolidação das hipóteses acidentais;
- Estimativa dos efeitos físicos e avaliação de vulnerabilidade;
- Estimativa de frequências;
- Estimativa e avaliação de risco; e
- Redução do risco

Figura 9 - Orientação para a elaboração de um Estudo de Análise de Risco para dutos



As Estações de Compressão, de Redução de Pressão, de Entrega e outras devem ser incluídas no EAR, considerando para o cálculo das frequências o **item 7.5 da Parte II** desta norma.

O termo se aplica à avaliação do risco à população de interesse, não contemplando risco à saúde e segurança dos trabalhadores ou danos aos bens patrimoniais das instalações analisadas. Os impactos ao meio ambiente serão avaliados caso a caso, de forma específica, porém tal avaliação não será feita por meio das técnicas apresentadas neste termo.

O EAR deve refletir a realidade do empreendimento no tocante às suas características locais, às condições operacionais e de manutenção e aos sistemas de proteção disponíveis. Para tanto, o levantamento e a descrição do empreendimento e do seu entorno - etapa que inicia o estudo - devem ser fiéis ao momento em que este é realizado. As simulações dos efeitos físicos

e a estimativa das frequências das hipóteses e dos cenários acidentais devem ser consistentes com a etapa inicial, com destaque para os limites operacionais de equipamentos, que, em geral, funcionam como condições de contorno para as simulações.

Ao longo do estudo, principalmente nas etapas quantitativas, o autor precisa assumir pressupostos que devem ser demonstrados e justificados. Atenção especial deve ser dada ao emprego de pressupostos por demais conservativos, em geral adotados nas etapas quantitativas, que podem produzir resultados incompatíveis com os perigos identificados e a vulnerabilidade do entorno, bem como onerar o empreendedor na implementação de medidas de redução do risco eventualmente desnecessárias. O órgão ambiental pode requerer a demonstração de tais pressupostos e a eventual revisão do estudo.

O Estudo de Análise de Risco deve ser elaborado por profissional com conhecimento e experiência no tema. O estudo deve ser acompanhado por declaração de responsabilidade técnica conforme o **anexo F**.

8.1 Caracterizações do empreendimento e do seu entorno

As condições meteorológicas, a quantidade de pessoas presente no entorno do empreendimento, as parcelas dessa população, abrigada e não abrigada, entre outros, devem ser apresentadas diferenciando características para o período diurno, com início às 06h01min até as 18h, e noturno, desde 18h01min até as 06h.

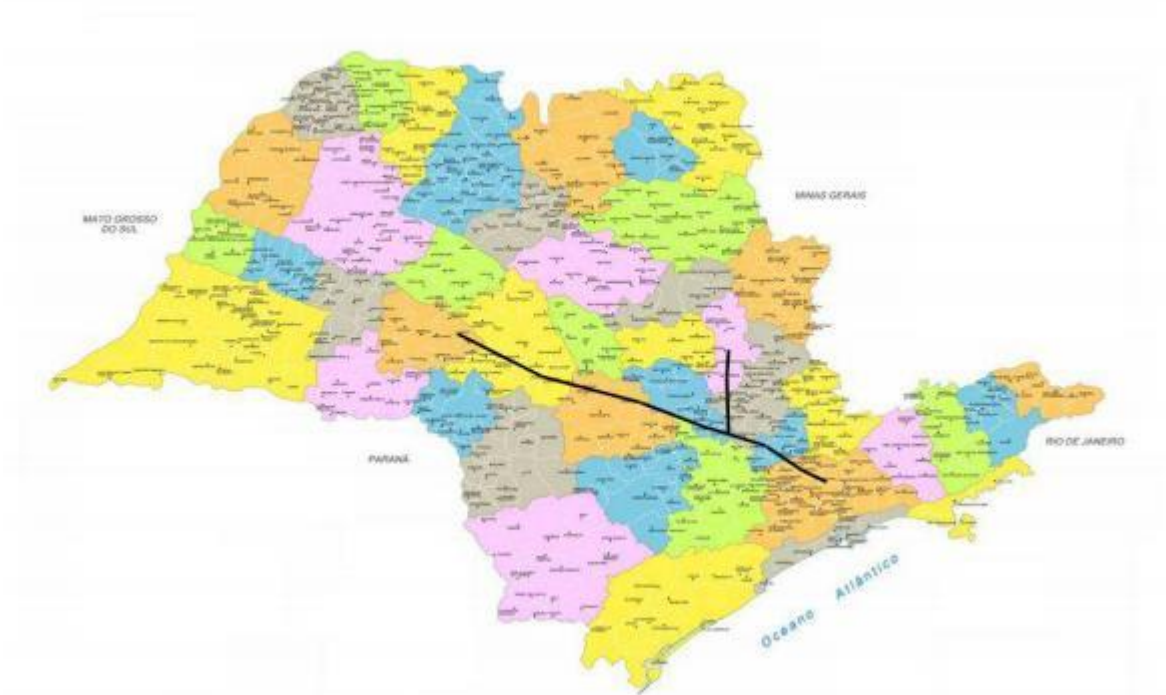
8.1.1 Caracterização do empreendimento

Deve, no mínimo, incluir o levantamento dos dados relacionados conforme itens a seguir:

8.1.1.1 Identificação do empreendimento

Apresentar o nome do sistema de distribuição ou de transmissão e o traçado geral (forma macro) em um mapa de localização, sendo indicados os municípios cortados pelo sistema, o qual poderá ser sem escala. A **figura 10** exemplifica um traçado geral. Também devem ser apresentados contatos e observações.

Figura 10 – Exemplo do traçado geral



Fonte: adaptado e modificado de INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO (IGC),2013

8.1.1.2 Substâncias químicas

Caso as substâncias transportadas sejam o petróleo ou algum de seus derivados, apresentar as informações indicadas no **quadro 15**. No caso de polidutos, apresentar o fator de utilização anual de cada substância, em porcentagem de tempo.

Quadro 15 – Modelo de planilha para a apresentação das substâncias transportadas quando forem o petróleo ou algum de seus derivados

Substância	CAS	Fator de utilização (%)	Condição operacional	
			T (°C)	P (bar)
Nome e composição percentual (mássica ou molar), quando se tratar de misturas	Número do CAS (Chemical Abstracts Service)	Para os casos de polidutos, definir a porcentagem do tempo (anual) que cada substância é transportada	Temperatura máxima de operação	Pressão máxima de operação

Caso as substâncias transportadas não se enquadrem no parágrafo anterior, verificar se as mesmas apresentam potencial para causar danos ao ser humano e/ou ao meio ambiente. Neste caso, apresentar as informações solicitadas no **quadro 16**.

Caso a substância transportada seja odorizada, informar o tipo de odorante utilizado, preenchendo o **quadro 16** e informando a quantidade armazenada e o local onde isto ocorre.

Quadro 16 – Modelo de planilha para a apresentação das substâncias transportadas quando forem diferentes do petróleo e seus derivados

Substância	CAS	Fator de utilização (%)	Propriedades						Condição operacional		Classificação conforme item 6.1
			P _{vap} (mmHg)	CL ₅₀ , tempo (ppmv, h)	C (ppmv.h)	DL ₅₀ (mg. kg ⁻¹)	PF (°C)	PE (°C)	T (°C)	P (bar)	
Nome e composição percentual (mássica ou molar), quando se tratar de misturas	Número do CAS (Chemical Abstracts Service)	Para os casos de polidutos, definir a porcentagem do tempo (anual) que cada substância é transportada	Verificar se a substância está presente nos anexos A ou B. Caso esteja presente, informar na coluna Classificação conforme item 6.1.1 se é considerada inflamável ou tóxica com o respectivo nível. Caso não esteja presente nestes anexos: - Listar as propriedades Pressão de vapor (P_{vap}) na temperatura de operação, Concentração letal 50 (CL₅₀) para um certo tempo de exposição (tempo), Dose letal 50 (DL₅₀), Ponto de fulgor (PF) e Ponto de ebulição (PE) - Calcular o valor C a partir de CL₅₀ e do tempo - Listar a Temperatura (T) e Pressão (P) na condição operacional (transporte ou transferência) - Classificar a substância tóxica de acordo com o item 6.1.1.1 - Classificar a substância inflamável de acordo com o item 6.1.1.2								

8.1.1.3 Instalações

A caracterização deve incluir o levantamento dos seguintes dados, quando pertinente:

- Informações construtivas: material da tubulação, diâmetro, revestimentos, entre outros;
- Parâmetros e condições operacionais: pressão, vazão e temperatura na condição normal de operação, na condição máxima de operação e na condição de projeto;
- Métodos construtivos: indicar em quadro/tabela a profundidade de instalação do duto e o tipo do método utilizado para a instalação do mesmo, como por exemplo, vala a céu aberto, furo direcional, entre outros, com a respectiva localização e extensão.
- Classe de locação: indicar em quadro/tabela a classe de locação adotada com a respectiva localização e extensão.
- Válvulas, dispositivos de segurança e de alívio: apresentar em quadro/tabela a identificação, localização (quilometragem), tipo de válvula (bloqueio, controle, de segurança, de alívio, entre outros) e forma de acionamento (automática, remota ou manual), bem como identificá-las no traçado (foto aérea, fluxograma, entre outros).
- Sistema de proteção contra corrosão: indicar o tipo de proteção utilizado com as informações que se fazem necessárias, como por exemplo, localização dos pontos de teste no caso de sistema

de proteção catódica.

g) Tipos de proteção mecânica: indicar o tipo de proteção, localização e extensão, como por exemplo, contenção por barreiras no caso de erosão, encamisamento do duto, colocação de placas de concreto, entre outros.

h) Parâmetros de monitoração: indicar se existe um sistema de monitoração, informando os parâmetros observados/acompanhados, os elementos de detecção, controle e atuação, assim como a localização do centro de controle.

i) Sinalização: informar o tipo de sinalização aérea utilizada (placas, marcos de concreto ou tachões), bem como a sua finalidade (identificação das válvulas, pontos de teste, quilometragem do duto, avisos de advertência como “não escavar”, entre outros), informações contidas (telefones de emergência, profundidade do duto, entre outras) e os critérios de instalação. Mencionar também o tipo de sinalização subterrânea com as informações contidas e os critérios de instalação.

j) Faixa do duto: indicar a largura e presença de sinalização dos limites da faixa com o critério de instalação.

k) Gradiente hidráulico: apresentar o gráfico do perfil hidráulico do sistema, incluindo as curvas de pressão para cada substância transportada de acordo com as condições operacionais, em escala adequada.

l) Normas e códigos de projeto: relacionar as normas e códigos que orientam os aspectos de segurança e de projeto do empreendimento.

m) Lista de documentos anexos: toda a descrição deve ser acompanhada de material de referência pertinente como fotos aéreas, plantas, fluxogramas de processo, diagramas de instrumentação e tubulação, leiaute, entre outros, com o qual seja possível identificar as instalações presentes.

n) Outros aspectos relevantes.

8.1.1.4 Traçado do sistema

Descrever o caminhamento do sistema em forma de texto e apresentar o traçado em foto aérea em escala mínima de 1:25.000.

Quando o duto em estudo estiver em faixa existente e compartilhada com outro(s) duto(s), apresentar desenho esquemático da faixa posicionando o novo duto e o(s) duto(s) existente(s) frente aos limites laterais da faixa e a descrição sucinta das características e condições operacionais dos dutos existentes.

8.1.2 Caracterização do entorno

Descrever o entorno do sistema de maneira completa e detalhada. Na elaboração do EAR a descrição deve considerar a região determinada por uma faixa ao longo do duto, com extensão equivalente a maior abrangência da estimativa de efeitos físicos correspondente a 1% de probabilidade de fatalidade ou ao Limite Inferior de Inflamabilidade (LII).

8.1.2.1 Caracterização dos pontos notáveis

Identificar os pontos notáveis como aglomerados populacionais, travessias de corpos d'água, áreas de preservação ambiental, interferências elétricas, cruzamentos ou paralelismos com outros dutos, entre outros, em foto aérea com escala mínima de 1:10.000. Se houver necessidade de melhor detalhamento, apresentar um relatório fotográfico identificando os principais pontos notáveis.

Caracterizar a população ao redor do empreendimento a partir de levantamento de campo.

Alternativamente, a caracterização pode ser feita com base em dados dos Setores Censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), seguindo o protocolo constante no anexo G.

Apresentar descrição em forma de quadro, indicando todas as atividades presentes no local, como, por exemplo, comércios, indústrias, entre outros, com enfoque para os locais onde pode haver aglomeração de pessoas, tais como residências, creches, escolas, asilos, presídios, ambulatórios, casas de saúde, hospitais e afins. Este quadro deve conter as seguintes informações: nome do ponto notável considerado, nome do bairro caso seja uma região residencial; menor distância perpendicular do ponto notável ao eixo do duto, informando sua localização geográfica com relação ao mesmo. No caso dos sistemas de transmissão ou de rede primária, indicar posição referendada ao empreendimento (quilômetro do duto).

No caso de população flutuante em ruas, avenidas, estradas, entre outras, estimar o número de pessoas presentes no local.

Identificar as atividades presentes no local (acima mencionadas) em foto aérea atualizada, em escala e resolução adequadas, que permitam a visualização do entorno, e complementá-las com levantamento em campo.

Incluir na descrição características relevantes do entorno, tais como barreiras naturais, que possam influenciar o resultado do estudo, como na análise dos efeitos físicos (explosão, radiação térmica, dispersão), entre outros.

8.1.2.2 Caracterização das condições meteorológicas

Os dados de velocidade e direção dos ventos influenciam os cálculos dos efeitos físicos e consequentemente o número de fatalidades e os valores de frequência dos cenários acidentais.

Desta forma, pesquisar os dados meteorológicos para cada trecho do duto em estudo, levando em consideração a validade desses dados de acordo com a área de abrangência de cada estação meteorológica.

Adotar os valores a seguir quando os dados das estações da SMAC não estiverem disponíveis para o trecho em análise.

Período diurno:

- Temperatura ambiente: 25°C;
- Velocidade do vento: 3,0m.s⁻¹;
- Categoria de estabilidade atmosférica: C;
- Umidade relativa do ar: 80%;
- Direção do vento: 12,5% (distribuição uniforme em oito direções);
- Temperatura do solo: 30°C.

Período noturno:

- Temperatura ambiente: 20°C;
- Velocidade do vento: 2,0m.s⁻¹;
- Categoria de estabilidade atmosférica: E;
- Umidade relativa do ar: 80%;
- Direção do vento: 12,5% (distribuição uniforme em oito direções);
- Temperatura do solo: 20°C.

O empreendedor pode utilizar dados de outras estações meteorológicas do local em estudo. A compilação, a análise e a definição dos dados utilizados nas simulações devem ser feitas por um meteorologista e estarem em acordo com o protocolo de coleta e tratamento de dados, conforme **anexo O**. Independentemente da fonte, apresentar os dados seguindo o padrão descrito no **quadro 17**.

Quadro 17 – Condições meteorológicas locais - períodos diurno e noturno

Parâmetros	Descrições		Exemplos	
	Período Diurno	Período Noturno	Período Diurno	Período Noturno
Temperatura ambiente média (°C)	Valor adotado	Valor adotado	23,2	19,6
Velocidade média do vento (m.s ⁻¹)	Valor adotado	Valor adotado	1,7	1,1
Categoria de estabilidade atmosférica de Pasquill	Valor adotado	Valor adotado	B	F
Umidade relativa média do ar (%)	Valor adotado	Valor adotado	76,5	92,3
Temperatura do solo (°C)	Temperatura ambiente média acrescida de 5°C	Temperatura ambiente média	28,2	19,6

8.2 Identificação de perigos

Consiste na aplicação de técnicas estruturadas para a identificação das possíveis sequências de eventos, visando à obtenção de diagnóstico do local e à definição das hipóteses acidentais.

A identificação de perigos não pode ser genérica e tem que demonstrar a situação atual do empreendimento.

Apresentar esta etapa em forma de planilhas, incluindo a lista dos participantes, seus cargos ou funções, contemplando os itens constantes no **quadro 18**. Para isto, segmentar o traçado do sistema em trechos, considerando a combinação das condições operacionais (pressão, diâmetro, gradiente hidráulico e substância) e material da tubulação, onde então deverão ser igualmente apontados os pontos notáveis, tais como, presença de aglomerados populacionais, locais suscetíveis à erosão e deslizamentos (movimentação de solo), interferências externas que venham a comprometer a integridade do sistema (interferências elétricas, cruzamento ou proximidade com outros dutos, rodovias, ferrovias ou rios), entre outros, com as respectivas quilometragens quando pertinente, bem como as medidas físicas e administrativas já adotadas pela empresa em cada trecho, e ainda a eventual necessidade de implantação de outras medidas.

O **anexo J** mostra um modelo de planilha preenchida.

Esta etapa poderá ser precedida pela elaboração de uma análise histórica de acidentes para

Quadro 18 – Tutorial para planilha de Identificação de Perigos para dutos

Sistema: Preencher com o nome do sistema em estudo

Data: Preencher com a data da realização **Folha** X/X

Elaboração: Nomes dos participantes

Documento ref.	Perigo	Ponto Notável	Causa	Consequência	Proteções existentes	Recomendações	Hipótese acidental
Relacionar as fotos aéreas, os desenhos, segmentos de fluxograma, gradientes hidráulicos, fluxograma de tubulação e instrumentação, entre outros, que estão sendo avaliados	Conter, no mínimo, a magnitude, estado físico, limites do segmento considerado, condições operacionais (pressão, diâmetro e substância) e material da tubulação	Mencionar todos os pontos notáveis no segmento considerado informando o tipo e a localização (km)	Preencher com as causas informadas nos bancos de dados analisados	Preencher com as tipologias acidentais que serão estudadas na etapa de estimativa dos efeitos físico se outros impactos	Indicar os dispositivos <u>existentes</u> que atuarão para reduzir a frequência ou a consequência	Propor dispositivos que atuarão para reduzir a frequência ou a consequência	Numerar como indicado no anexo T

subsidiar a identificação dos perigos na instalação em estudo.

8.3 Consolidação das hipóteses acidentais

Formular hipóteses acidentais a partir de todos os perigos identificados (**item 8.2**). Observar que os dados meteorológicos influenciam os resultados dos efeitos físicos e os cálculos de frequência, portanto as hipóteses acidentais devem ser formuladas levando em consideração também os dados meteorológicos e mudanças significativas de direção no traçado do duto.

A **figura 11** exemplifica a consolidação de duas hipóteses acidentais devido à mudança de direção no traçado, o que implica em mudança da frequência do cenário acidental e, conseqüentemente, mudança no perfil do risco, pois diferentes direções de vento em relação ao eixo do duto são predominantes.

Figura 11 – Exemplo de formulação de duas hipóteses acidentais devido à mudança na direção do traçado do duto



Fonte: adaptado de Google Maps/Google Earth

Assegurar a formulação de hipóteses acidentais que contemplem, no mínimo, grande, médio e pequeno vazamento. As hipóteses acidentais devem ser formuladas levando-se em consideração os tamanhos dos orifícios de liberação de acordo com o **item 8.4.1.2**.

Descrever e detalhar claramente as hipóteses acidentais consolidadas, especificando, no mínimo, a magnitude, estado físico, condições operacionais e condições meteorológicas. Numerar e/ou referenciar as hipóteses de modo a permitir a sua rastreabilidade ao longo do estudo, até a estimativa de risco, e apresentá-las conforme **quadro 19**. O **anexo L** mostra um modelo de planilha preenchida.

Quadro 19 – Hipóteses acidentais consolidadas

Nº	Descrição da hipótese acidental
Numerar e/ou referenciar as hipóteses como indicado no anexo T , de modo a permitir a sua rastreabilidade ao longo do estudo	Detalhar, especificando, no mínimo, a magnitude, estado físico e condições operacionais

8.4 Estimativa dos efeitos físicos e avaliação de vulnerabilidade

Após a definição das hipóteses acidentais, procede-se à estimativa dos seus efeitos físicos utilizando modelos matemáticos com a finalidade de obter informações sobre o comportamento da substância no meio e quantificar esses efeitos em termos de radiações térmicas (incêndios), sobrepressões (explosões) e concentrações tóxicas.

Em seguida procede-se à aplicação de modelos de vulnerabilidade ao homem e às estruturas obtendo-se probabilidades de fatalidade decorrentes da radiação térmica, sobrepressão e concentrações tóxicas.

8.4.1 Efeitos físicos

Para a definição das diferentes tipologias acidentais envolvendo substâncias inflamáveis, adotar as Árvores de Eventos apresentadas no **anexo S**.

Nota: Hipóteses acidentais envolvendo o transporte de substâncias criogênicas podem não ser adequadamente tratadas pelas árvores de eventos do anexo S. Referenciar a abordagem utilizada.

Realizar a estimativa por meio da aplicação de modelos matemáticos que efetivamente representem os possíveis fenômenos (vazamento de líquido, de gás ou bifásico) e tipologias acidentais (dispersões atmosféricas, incêndios e explosões) em estudo, de acordo com as hipóteses acidentais identificadas e com as características e comportamento das substâncias envolvidas.

Especificar claramente para cada fenômeno ou tipologia acidental o modelo matemático utilizado e apresentar estas informações na forma de tabela, conforme modelo no **quadro 20**. Informar a sequência acidental estudada em cada hipótese. Caso a mesma sequência acidental tenha sido utilizada em mais de uma hipótese, a sequência pode ser apresentada para um grupo de hipóteses.

Quadro 20 – Modelo de sequência acidental utilizada para uma hipótese acidental ou grupo de hipóteses

Sequência de cálculo para as hipóteses 1, 2 e 5	Exemplo de modelo utilizado/item do EAR e/ou anexo, com memória de cálculo
Cálculo da taxa de vazamento	Modelo para gás
Cálculo da taxa de evaporação de poça	Modelo de evaporação de poça
Cálculo da distância alcançada na dispersão de nuvem	Modelo de dispersão de gás pesado
Cálculo da radiação térmica para jato/poça/bola de fogo	Modelo para jato da API Modelo para incêndio de poça Modelo para bola de fogo do TNO
Cálculo da sobrepressão de explosão de nuvem de vapor	Modelo Trinitrotolueno (TNT) equivalente

Incluir as memórias de cálculos relativas a dados estimados manualmente e utilizados nas simulações como, por exemplo, cálculos das taxas de vazamento, determinação da massa a ser considerada na bola de fogo e áreas de poças.

Apresentar os dados de entrada mais relevantes para cada hipótese acidental, conforme anexo N.

Informar e justificar eventuais alterações dos parâmetros internos dos modelos matemáticos.

8.4.1.1 Condição operacional (pressão)

Para os sistemas que transportam substâncias no estado gasoso, utilizar, nas simulações dos efeitos físicos, os dados de máxima pressão operacional independentemente do local em estudo.

Para os sistemas que transportam substâncias líquidas ou gases liquefeitos, considerar a máxima condição operacional no local do ponto de vazamento em estudo.

8.4.1.2 Tamanho dos orifícios de liberação

Considerar, minimamente, as hipóteses de vazamento correspondentes a:

- Ruptura: diâmetro do vazamento igual a 100% do diâmetro da tubulação;
- Fenda: diâmetro do vazamento igual a 20% do diâmetro da tubulação; e
- Furo: diâmetro do vazamento igual a 5% do diâmetro da tubulação.

Podem ser realizados estudos mais detalhados considerando tamanhos de orifícios de liberação diferentes dos acima mencionados, exceto para gás natural, desde que seja apresentada justificativa adequada, incluindo as referências e que haja consistência com as frequências utilizadas.

8.4.1.3 Direção de vazamento

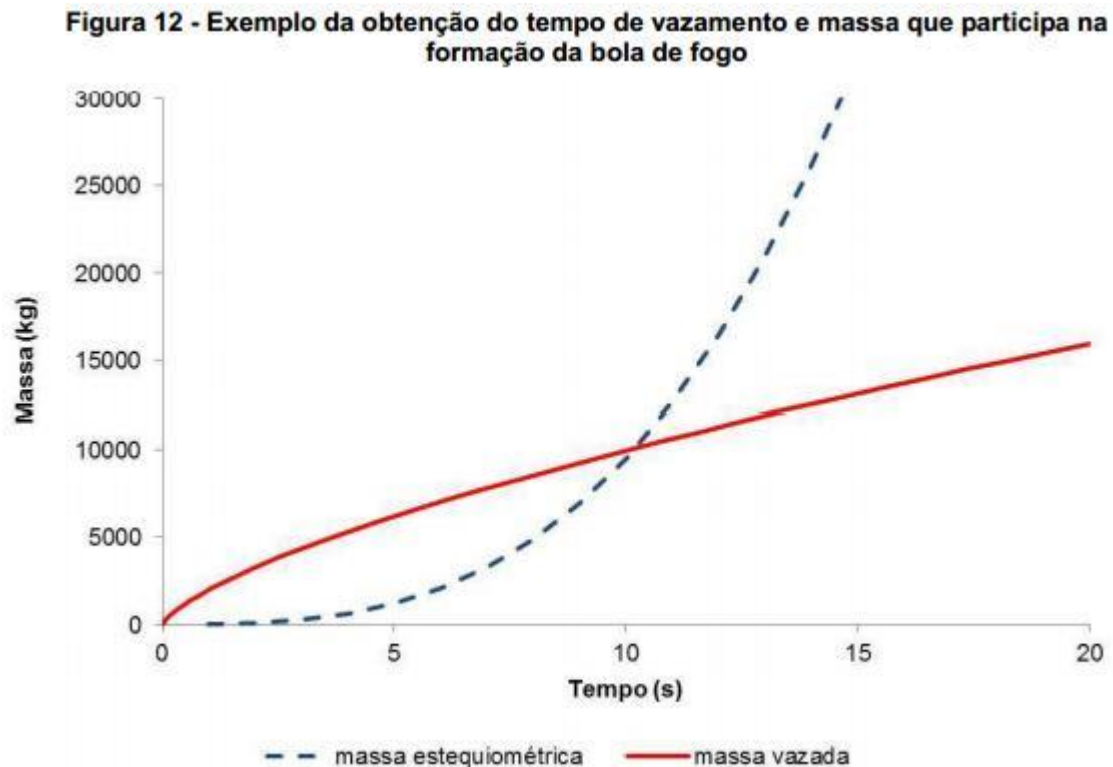
Adotar, independentemente do tamanho do orifício de liberação, apenas a direção horizontal (0° em relação ao solo) para vazamentos em dutos aéreos. Considerar as direções vertical (90°) e angular (45°) ao solo para dutos enterrados.

8.4.1.4 Tempo de vazamento e cálculo do inventário vazado

8.4.1.4.1 Sistemas que transportam gás natural

Como os vazamentos nos dutos são contínuos, deve-se determinar o tempo de vazamento a ser considerado para calcular a massa total que participa na formação da bola de fogo. Obter este tempo graficamente, a partir da intersecção de duas curvas. A curva (1) da **figura 12** se refere à massa vazada acumulada com o tempo, obtida pelos modelos matemáticos e a curva (2) se refere

à massa consumida na reação de combustão obtida pela **equação 10** (massa estequiométrica). A **figura 12** fornece um exemplo deste método, obtendo-se neste caso um tempo de vazamento próximo de 10s e uma massa total vazada, a ser utilizada no cálculo dos efeitos físicos da bola de fogo, próxima a 10.000kg.



$$M = \text{Max} \left[\left(\frac{29t}{4,5A} \right)^3, \left(\frac{29t}{8,2A} \right)^6 \right] \quad (10)$$

Onde:

$M \rightarrow$ massa consumida na reação de combustão (massa estequiométrica) [t];

$T \rightarrow$ tempo [s];

$A \rightarrow$ fator para cada substância decorrente da estequiometria da equação de combustão. Para o caso de gás natural vale 30,4.

Para o caso de ocorrência de jato de fogo, considerar a taxa de vazamento no tempo igual a 30s para a determinação dos efeitos físicos quando ocorrer um jato provindo de uma ignição retardada no local após uma ruptura catastrófica. No caso da ocorrência de um jato de fogo devido a uma ruptura parcial do duto (fenda ou furo) a partir de uma ignição imediata, a taxa de vazamento a ser considerada deverá ser a taxa média nos primeiros 20s de descarga. O **anexo S** mostra a diferenciação destes tipos de jatos.

8.4.1.4.2 Sistemas que transportam gases liquefeitos por pressão e gases diferentes do gás

natural No caso de ruptura catastrófica, considerar a massa total vazada durante os 10s iniciais para o cálculo da bola de fogo.

Para as demais tipologias da ruptura catastrófica e para as tipologias da ruptura parcial (fenda ou furo), considerar a taxa de vazamento no tempo igual a 10s, estimada por meio de modelos matemáticos.

O tempo do vazamento adotado é encontrado quando a dispersão atinge o estado estacionário.

8.4.1.4.3 Sistemas que transportam líquidos

Estimar a área da poça utilizando-se modelos que considerem o regime transiente da hipótese, contemplando as taxas do vazamento durante o bombeio e após a parada da bomba (devido ao escoamento das colunas hidráulicas), a formação da poça, a evaporação da substância, a infiltração da substância no solo e o seu acúmulo devido ao relevo. Todo este processo dinâmico resulta em uma poça com área máxima que pode ser determinada. Apresentar as considerações adotadas e os cálculos realizados para a determinação do tamanho máximo da poça.

Alternativamente ao emprego de modelos dinâmicos é possível estimar o volume total vazado a partir da soma do (i) volume vazado durante o bombeamento, até a detecção do vazamento e a parada do mesmo e do (ii) volume vazado associado ao perfil hidráulico do duto, o qual pode levar em consideração a presença de válvulas.

Para a ruptura catastrófica, utilizar a **equação 11** para a obtenção do volume total vazado (V_{total} vazado). A taxa de vazamento pode ser obtida pela intersecção da curva da bomba ou de bomba similar e da curva do sistema, a qual deve ser levantada pelo interessado. Considerar que V_{total} vazado será derramado no solo, instantaneamente, levando-se em consideração o relevo do terreno, determinando a área da poça formada de acordo com o **item 8.4.1.6**.

$$V_{total\ vazado} = Q_{curva} \cdot (t_d + t_p) + V_p \quad (11)$$

Onde:

$V_{total\ vazado}$ = volume total vazado [m^3];

Q_{curva} = taxa de vazamento obtida a partir da curva da bomba (ou de bomba similar) e da curva do sistema [$m^3 \cdot h^{-1}$];

t_d = tempo de detecção do vazamento [h];

t_p = tempo de parada do bombeamento [h];

V_p = volume vazado associado ao perfil hidráulico [m^3].

No caso de uma ruptura parcial (fenda ou furo), utilizar a **equação 12** e considerar que V_{total} vazado será derramado no solo, levando-se em consideração o relevo do terreno, determinando a

$$V_{\text{total vazado}} = Q_{\text{orificio}} \cdot (t_d + t_p) + V_c \quad (12)$$

Onde:

$V_{\text{total vazado}}$ = volume total vazado [m^3];

Q_{orificio} = taxa de vazamento pela fenda/furo [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$];

Q_{orificio} = taxa de vazamento pela fenda/furo [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$];

t_d = tempo de detecção do vazamento [h];

t_p = tempo de parada do bombeamento [h];

V_c = volume vazado até que seja controlado ou cessado [m^3].

área da poça formada de acordo com o **item 8.4.1.6**.

8.4.1.5 Substância

Para substâncias cujos dados não estejam disponíveis, realizar a simulação considerando as substâncias de referência apresentadas nos **quadros 4 e 5 da Parte I**.

Para os casos do petróleo e seus derivados, as simulações podem ser realizadas para as substâncias representativas do **quadro 21**.

Quadro 21 – Substâncias a serem utilizadas nas simulações para petróleo e derivados

Substância (mistura)	Substância representativa para a simulação
gás liquefeito de petróleo (GLP)	propano
gás natural	metano
gasolina automotiva	n-hexano
nafta	n-pentano
óleo combustível	n-decano
óleo diesel	n-nonano
petróleo	n-decano
querosene	n-nonano

Para as hipóteses envolvendo misturas, como no caso do gás liquefeito de petróleo (GLP), pode-se utilizar tal mistura para realizar as simulações. Neste caso, apresentar a composição e as propriedades calculadas da mistura.

Excepcionalmente, na impossibilidade de caracterizar adequadamente as propriedades físicas, químicas e toxicológicas de uma mistura, adotar a substância com maior grau de periculosidade.

Para os políditos, realizar simulações com cada um das substâncias transportadas, levando-se em consideração, posteriormente na frequência, o respectivo fator de utilização. Pode-se selecionar uma dessas substâncias para uso nas simulações de modo a representar os efeitos físicos das demais substâncias transportadas. Nesse caso, apresentar o critério utilizado para a seleção da substância de referência.

8.4.1.6 Área de poça

Considerar o relevo da região para a determinação da área da poça formada. Os cálculos devem ser evidenciados com material de apoio pertinente (plantas planialtimétricas, fotos do local, entre outros).

Caso seja necessário calcular o espalhamento livre da substância, estimar a área de espalhamento considerando-se uma altura máxima da poça de 3 (três) cm.

8.4.1.7 Incêndio de nuvem

Adotar, no estudo de dispersão, a área ocupada pela nuvem delimitada pela concentração associada ao Limite Inferior de Inflamabilidade (LII).

8.4.1.8 Explosão

Para o cálculo de explosões, utilizar qualquer modelo reconhecido internacionalmente, desde que aplicável ao cenário em estudo, com as considerações a seguir:

8.4.1.8.1 Massa inflamável na nuvem

Para estimar a massa inflamável, considerar, no mínimo, a massa entre os limites de inflamabilidade.

8.4.1.8.2 Rendimento da explosão

Adotar rendimento igual ou maior que 10%.

Para as substâncias altamente reativas, tais como o acetileno e óxido de eteno, adotar o rendimento igual ou maior que 20%.

8.4.1.8.3 Multi-energia

Para simulações de explosões utilizando o modelo multi-energia, apresentar memorial definindo as áreas de congestionamento de nuvem inflamável, evidenciando-as com material de apoio pertinente (plantas, fotos, memorial de cálculo, entre outros).

Para as frações da nuvem que se encontram em áreas congestionadas, utilizar nas simulações, no mínimo, a curva de número 6, conforme Bosch e Weterings (2005, p. 5.33, 5.81).

8.4.1.8.4 Local da explosão

Para a explosão de nuvem de vapor, o ponto da explosão deve ser o centro geométrico da nuvem. Quando for utilizado o modelo multi-energia, o ponto da explosão deve ser o centro geométrico da área parcialmente congestionada.

8.4.2 Vulnerabilidade

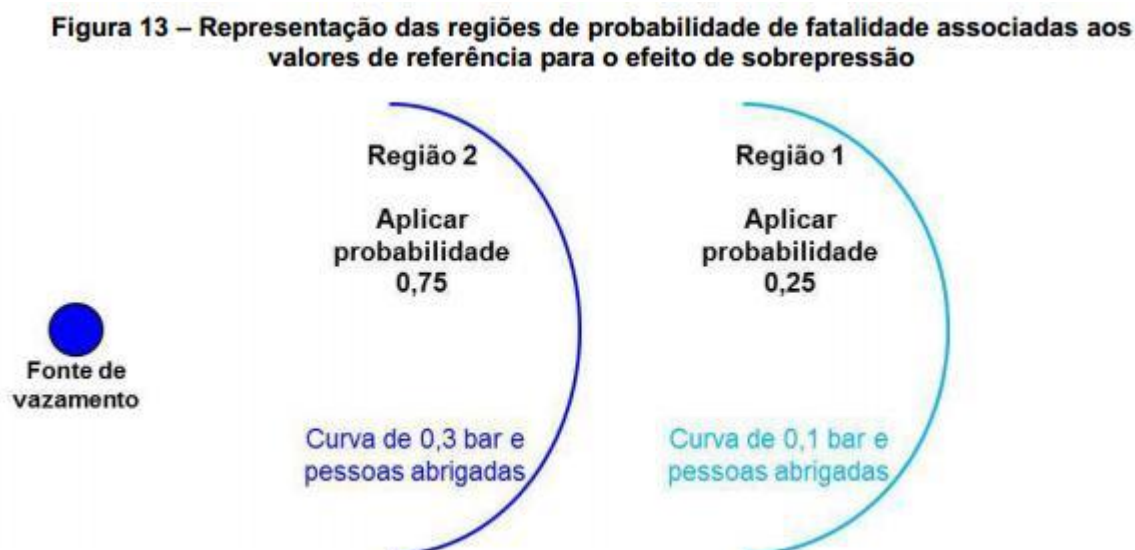
Os danos ao homem e às estruturas dependem dos efeitos físicos (radiação térmica, sobrepressão e toxicidade) dos cenários acidentais e da capacidade de resistência dos corpos expostos. Os modelos que permitem a estimativa desses danos são conhecidos como modelos de vulnerabilidade e se baseiam em uma função matemática do tipo Probit (Pr) (radiação e toxicidade) ou em valores previamente definidos (sobrepressão). Esses modelos permitem expressar a probabilidade do dano – no nosso caso, fatalidade humana – em função da magnitude dos efeitos físicos.

8.4.2.1 Valores de referência

Adotar os valores de referência a seguir apresentados para sobrepressão, radiação térmica e toxicidade.

8.4.2.1.1 Sobrepressão

Para sobrepressões decorrentes de explosões, referenciar as distâncias ao local do vazamento e considerar a probabilidade de fatalidade de 75% (0,75) quando a sobrepressão for acima de 0,3bar. Já para a região de sobrepressão entre 0,1 e 0,3bar, adotar a probabilidade de fatalidade de 25% (0,25), como indicadas na **figura 13**.



8.4.2.1.2 Radiação Térmica

Para incêndios em poça, jatos de fogo, bolas de fogo, entre outros, adotar a probabilidade de fatalidade igual a 100% (1,0) quando a radiação térmica for maior ou igual a 35kW.m^{-2} .

Para valores de radiação térmica abaixo de 35kW.m^{-2} , calcular as probabilidades de fatalidade utilizando a **equação 13** (TSAO; PERRY, 1979), até o contorno de 1% de fatalidade. O tempo de

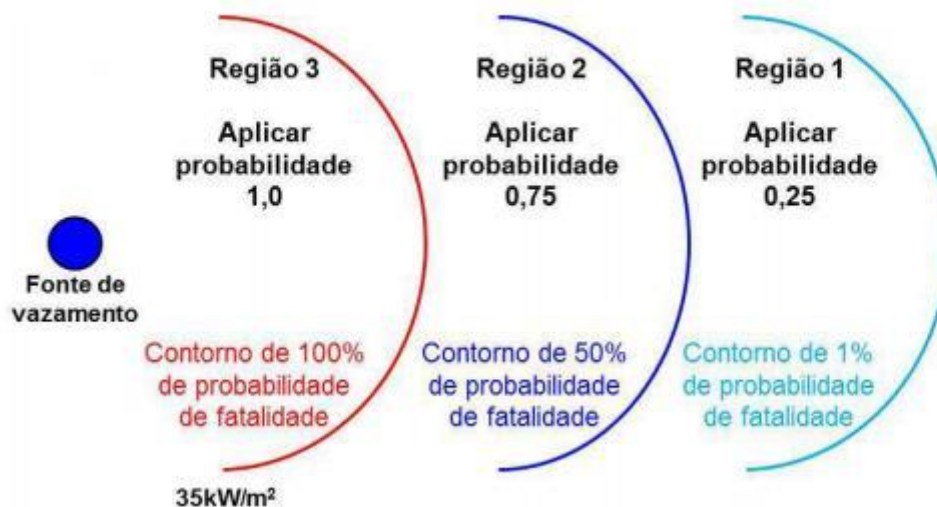
exposição a ser utilizado é de 20s, exceto para bola de fogo, onde deverá ser utilizado seu tempo de duração, até o limite de 20s.

$$Pr = -36,38 + 2,56 \ln \left[t \cdot I^{4/3} \right] \quad (13)$$

Com t [s] e I [$W \cdot m^{-2}$].

A figura 14 apresenta uma simplificação à estimativa da probabilidade de fatalidade $p_{t,x,y,i}$ correlacionando as probabilidades médias de fatalidade com os valores de referência.

Figura 14 – Representação das regiões de probabilidade de fatalidade associadas aos valores de referência para o efeito de radiação térmica



Para incêndio de nuvem, adotar a probabilidade de fatalidade de 100% (1,0) para pessoas dentro da área da nuvem, independentemente do fato de estarem abrigadas. A probabilidade de fatalidade para pessoas fora da área da nuvem é zero (0).

8.4.2.1.3 Toxicidade

Calcular a probabilidade de fatalidade utilizando a **equação 14**, de *Probit*, até o contorno de 1% de fatalidade. O tempo (T) a ser considerado é o de passagem da nuvem pelo receptor ou, no máximo, 10min.

A figura 15 apresenta uma simplificação à estimativa da probabilidade de fatalidade $p_{f,x,y,i}$ correlacionando as probabilidades médias de fatalidade com os valores de referência.

Figura 15 – Representação das regiões de probabilidade de fatalidade associadas aos valores de referência para o efeito de toxicidade



8.4.3 Apresentação dos resultados

8.4.3.1 Tabelas

Apresentar tabela, conforme a do anexo Q, com os resultados obtidos na etapa de estimativa dos efeitos físicos, item 8.4.1, para cada hipótese acidental e suas tipologias acidentais, de forma a relacionar os valores de referência adotados e as respectivas distâncias atingidas a partir do ponto onde ocorreu a liberação da substância.

8.4.3.2 Plotagem

Apresentar os resultados de cada cenário acidental, juntamente com a sinalização dos pontos de liberação, em foto aérea atualizada e em escala mínima 1:10.000 que permita a adequada visualização da área de influência dos efeitos físicos.

8.5 Estimativa de frequências

Para o cálculo do risco devem ser estimadas as frequências de ocorrência de hipóteses e de cenários acidentais.

8.5.1 Técnicas

A estimativa quantitativa da frequência de ocorrência dos cenários acidentais pressupõe o emprego da técnica Análise por Árvore de Eventos (AAE). O **anexo S** apresenta algumas árvores de eventos. Nelas é possível observar a estrutura típica da técnica, qual seja: um evento inicial – em geral uma liberação para a atmosfera – interferências cronologicamente ordenadas e os eventos finais – neste caso, tipologias acidentais. O **anexo T** detalha cada tipologia, considerando como interferências a ocorrência da liberação durante o dia ou durante a noite e, quando

pertinente, as diferentes direções de vento. Obtém-se assim a frequência dos cenários acidentais decorrentes de cada hipótese acidental.

O evento inicial da AAE corresponde à hipótese acidental formulada no **item 8.3**, cuja frequência de ocorrência pode ser estimada a partir da técnica Análise por Árvore de Falhas (AAF), por análise histórica de falhas ou outra técnica conveniente.

8.5.2 Quantificação

A frequência de ocorrência do evento inicial pode ser estimada diretamente a partir de registros históricos constantes de bancos de dados ou de referências bibliográficas, desde que efetivamente tenham aplicabilidade para o caso em estudo.

Como alternativa à utilização de dados históricos, a taxa de falha do duto pode ser calculada por meio de modelos de confiabilidade estrutural que contemplem os modos de falhas cabíveis ao sistema em estudo. Todos os cálculos efetuados devem estar devidamente justificados e demonstrados.

Considerar pontos de liberação a cada 10m para a determinação da frequência final do cenário acidental, isto é, multiplicar por 0,01km a frequência obtida do final da Análise por Árvore de Eventos, a qual é dada por ocorrência.km⁻¹.ano⁻¹. Se necessário, devido ao tamanho dos efeitos físicos, considerar um distanciamento menor entre os pontos de liberação. A extensão do duto a ser considerada depende do tipo de risco a ser calculado, conforme **itens 8.6.1.1 e 8.6.2.1**.

Para os sistemas de aço carbono que transportam gás natural utilizar, para fonte de taxas de falhas, o relatório do *European Gas Pipeline Incident Data Group* (EGIG, 2008). Adotar a taxa de falhas que melhor reflita a realidade do empreendimento, isto é, utilizar o período total de levantamento dos dados ou o período dos últimos 5 anos, justificando a escolha.

Apresentar os cálculos para a determinação das frequências de ocorrências para cada tamanho de orifício, sendo que a correlação entre os tamanhos solicitados no **item 8.4.1.2** com os apresentados no relatório do EGIG está no **quadro 22**.

Quadro 22 – Correlação entre o tamanho dos orifícios do item 8.4.1.2 e do relatório do EGIG

Tamanho do orifício do item 8.4.1.2	Tamanho do orifício apresentado no EGIG
Ruptura (100% do diâmetro da tubulação)	<i>Rupture</i>
Fenda (20% do diâmetro da tubulação)	<i>Hole</i>
Furo (5% do diâmetro da tubulação)	<i>Pinhole/crack</i>

Para os sistemas de polietileno que transportam gás natural, consultar a taxa de falhas em bancos de dados específicos, sendo demonstrados os valores utilizados. Caso não seja possível encontrar tais valores, adotar taxa de falha dez vezes superior à do aço carbono.

Para os sistemas que transportam gases liquefeitos ou substâncias no estado líquido utilizar, para fonte de taxas de falhas, o relatório do *Conservation of Clean Air And Water in Europe* (CONCAWE, 2010).

Apresentar os cálculos para a determinação das frequências de ocorrências para cada tamanho de orifício, sendo que a correlação entre os tamanhos solicitados no item 8.4.1.2 com os apresentados no relatório do CONCAWE está no quadro 23.

Quadro 23 – Correlação entre tamanho dos orifícios do item 8.4.1.2 e do relatório do CONCAWE

Tamanho do orifício do item 8.4.1.2	Tamanho do orifício apresentado no CONCAWE
Ruptura (100% do diâmetro da tubulação)	<i>Rupture</i>
Fenda (20% do diâmetro da tubulação)	<i>Split</i> <i>Hole</i>
Furo (5% do diâmetro da tubulação)	<i>Fissure</i> <i>Pinhole</i>

Dependendo do diâmetro do duto em estudo, os orifícios classificados no CONCAWE como *split* e *hole* podem ser considerados como sendo uma ruptura ou uma fenda, motivo pelo qual aparecem em destaque no **quadro 23**. Realizar estudos mais detalhados para justificar a escolha da correlação a ser utilizada, levando em consideração a definição dada pelo CONCAWE para os tamanhos dos orifícios e as características do duto em estudo.

Outras referências bibliográficas podem ser adotadas na ausência de dados nas referências mencionadas, no entanto, deverão ser devidamente justificadas.

A falha humana, quando pertinente, deve fazer parte da estimativa quantitativa, sendo que as probabilidades de falha devem ser consistentes com a hipótese em estudo no tocante à ação esperada do homem.

Alternativamente, banco de dados de falhas próprio do empreendimento em estudo pode ser utilizado, sendo que o método de coleta de dados e a estimativa das taxas de falha devem ser apresentados para avaliação.

Para substâncias inflamáveis, o **anexo S** apresenta árvores de eventos que descrevem as sequências acidentais, até as tipologias. No caso da substância transportada ser o gás natural, utilizar o quadro 24 para obter as probabilidades das interferências. Para as demais substâncias, obter as probabilidades das interferências a partir dos **quadros 25 a 27**. A ignição imediata está associada à reatividade e à quantidade liberada para a atmosfera da substância, sendo que as probabilidades (p_{ii}) a serem adotadas no estudo são aquelas apresentadas no **quadro 26**, a partir da classificação da substância de acordo com o **quadro 25**.

Quadro 25 – Classificação de gases e líquidos inflamáveis quanto à reatividade

categoria 0 reatividade média/alta	Gases puros e misturas que podem ignizar nas condições normais de pressão e temperatura quando expostos ao ar, exceto os de reatividade baixa e gás natural
	Líquidos puros e misturas com ponto de fulgor (PF) < 0°C e ponto de ebulição (ou início da ebulição) (PE) ≤ 37,8°C
categoria 0 reatividade baixa	cloreto de metila (CAS nº 74-87-3)
	cloreto de etila (CAS nº 75-00-3)
categoria 1	Líquidos puros e misturas com PF < 21°C e que não sejam classificados como categoria 0
categoria 2	Líquidos puros e misturas com PF ≥ 21°C

A ignição retardada pressupõe a formação de uma nuvem e que esta alcance uma ou mais fontes de ignição. Características das fontes como quantidade, eficácia e distribuição espacial afetam a probabilidade dessa ignição. O **quadro 27** apresenta valores de probabilidade de ignição retardada (p_{ir}) que devem ser adotados no estudo. A adoção dos valores deve ser consistente com as caracterizações do empreendimento e do seu entorno, **item 17** da norma. Caso seja realizado estudo específico de fontes de ignição, considerar a probabilidade de ignição de 0,1 para locais com ausência de fontes.

A ocorrência de explosão está associada à massa da substância inflamável presente na nuvem em condições de inflamabilidade e do grau de confinamento dessa nuvem. O **quadro 26** apresenta a probabilidade de explosão (p_{ce}) que deve ser adotada no estudo.

Quadro 26 – Probabilidades de ignição imediata (p_{ii}) e de explosão (p_{ce})

Classificação da substância	Quantidade para vazamento instantâneo (kg)	Quantidade para vazamento contínuo (kg.s ⁻¹)	p_{ii}	p_{ce}
categoria 0, reatividade média/alta	< 1.000	< 10	0,2	0,4
	1.000-10.000	10-100	0,5	
	> 10.000	> 100	0,7	
categoria 0, reatividade baixa	< 1.000	< 10	0,02	0,4
	1.000-10.000	10-100	0,04	
	> 10.000	> 100	0,09	
categoria 1	qualquer quantidade	qualquer vazão	0,065	0,4
categoria 2	qualquer quantidade	qualquer vazão	0,01	0,4

Quadro 27 – Probabilidades de ignição retardada (p_{ir})

Fontes de ignição	p_{ir}
nenhuma	0,1
muito poucas	0,2
poucas	0,5
muitas	0,9

A frequência de cada cenário acidental é estimada a partir da equação 15.

$$f_{\text{cenário } i} = f_{\text{hipótese}} \cdot \prod P_i \quad (15)$$

Onde:

$f_{\text{cenário } i}$ = frequência de ocorrência do cenário i ;

$f_{\text{hipótese}}$ = frequência de ocorrência da hipótese acidental; e

$\prod P_i$ = produto das probabilidades dos pontos de ramificação no percurso da hipótese até o cenário i .

Em geral, considera-se a ocorrência das hipóteses acidentais durante o dia e a noite com igual probabilidade (50%). A distribuição das probabilidades das direções do vento deve estar em consonância com o **item 8.1.2.2**.

Para hipóteses e cenários envolvendo dutos aéreos, considerar que o vazamento ocorre somente na direção horizontal (100%). No caso de dutos enterrados, considerar que 2/3 das vezes o vazamento ocorre na direção angular e 1/3 das vezes na direção vertical de acordo com o **item 8.4.1.3**.

8.6 Estimativa e avaliação de risco

As etapas descritas nos **itens 8.4 e 8.5** possibilitam estimar as distâncias referentes às consequências dos efeitos físicos para diferentes probabilidades de fatalidade e a frequência de ocorrência (f) de cada cenário acidental, que serão utilizados na estimativa do risco expresso na forma de risco individual.

Ainda é possível estimar o número de vítimas (N) para cada cenário acidental, o qual, em conjunto com a frequência de ocorrência (f), será utilizado na estimativa do risco expresso na forma de risco social.

A SMAC avalia o risco do empreendimento por meio da comparação entre o risco estimado nas formas de risco individual e social e os respectivos critérios de tolerabilidade, cujos *end points* estão associados à fatalidade da população de interesse.

Caso o duto esteja em faixa compartilhada com outro(s) duto(s), estimar e avaliar o risco cumulativo da faixa, expresso tanto na forma de risco individual como de risco social.

O emprego de *software* para a estimativa do número de vítimas fatais e a plotagem do RI em geral requer estabelecer as dimensões da malha. Esta decisão deve considerar as distâncias dos efeitos físicos, contudo a malha não deve ter dimensões maiores que 35m x 35m.

8.6.1 Risco individual

O risco, expresso na forma de risco individual (RI), refere-se ao risco para uma pessoa decorrente de um ou mais cenários acidentais, no intervalo de um ano. Seu caráter é geográfico, razão pela qual sua expressão se dá pela determinação dos valores de RI em pontos x,y localizados no entorno do empreendimento.

8.6.1.1 Estimativa

A determinação do risco individual num ponto x,y qualquer no entorno do empreendimento pressupõe o conhecimento da frequência de ocorrência de cada cenário acidental e da probabilidade desse cenário acarretar fatalidade nesse ponto.

O risco individual também tem caráter cumulativo, o que significa que a resultante em um ponto x,y de interesse advém da soma do RI de cada cenário acidental com contribuição no citado ponto, conforme **equações 16 e 17**.

$$RI_{x,y} = \sum_{i=1}^n RI_{x,y,i} \quad (16)$$

Onde

$RI_{x,y}$ = risco individual total de fatalidade no ponto x,y (chance de fatalidade por ano ou ano⁻¹);

$RI_{x,y,i}$ = risco individual de fatalidade no ponto x,y devido ao cenário i (chance de fatalidade por ano ou ano⁻¹);

N = número total de cenários considerados na análise.

$$RI_{x,y,i} = f_i \cdot p_{f,x,y,i} \quad (17)$$

Onde:

$RI_{x,y,i}$ = risco individual de fatalidade no ponto x,y devido ao cenário i (chance de fatalidade por ano ou ano⁻¹);

f_i = frequência de ocorrência do cenário i; e

$p_{f,x,y,i}$ = probabilidade que o cenário i resulte em fatalidade no ponto x,y, de acordo com os efeitos esperados. Para radiação térmica, exceto incêndio de nuvem, e vazamento tóxico utilizar as probabilidades de fatalidade provenientes das **equações 13 e 14**, respectivamente. Para incêndio de nuvem, considerar 1,0. Para sobrepressões, utilizar 0,75 quando a sobrepressão for acima de 0,3bar e 0,25 para a região de sobrepressão entre 0,1 e 0,3bar.

Considerar que os pontos de liberação ocorrem a cada 10m para o cálculo da frequência de ocorrência de cada cenário acidental, conforme **item 8.5.2**, em uma extensão de duto igual a duas vezes o maior raio entre os cenários acidentais, conforme exemplificado pela **figura 16**.

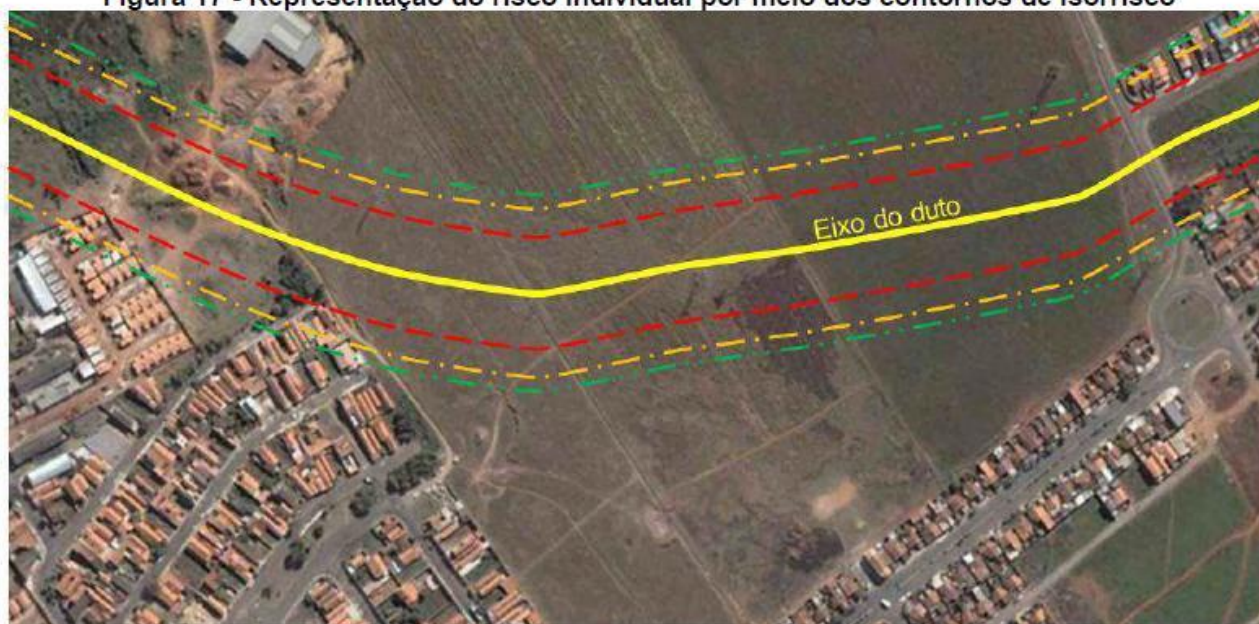
Figura 16 – Representação dos pontos de liberação a cada 10m para o cálculo do risco individual



Fonte: adaptado de GOOGLE MAPS/GOOGLE EARTH, 2013

Apresentar o risco individual por meio de contornos de isorrisco, uma vez que estes possibilitam visualizar a sua distribuição geográfica no entorno do empreendimento, como representado na **figura 17** ou na forma de perfil de risco, como representado na **figura 18**.

Figura 17 - Representação do risco individual por meio dos contornos de isorrisco

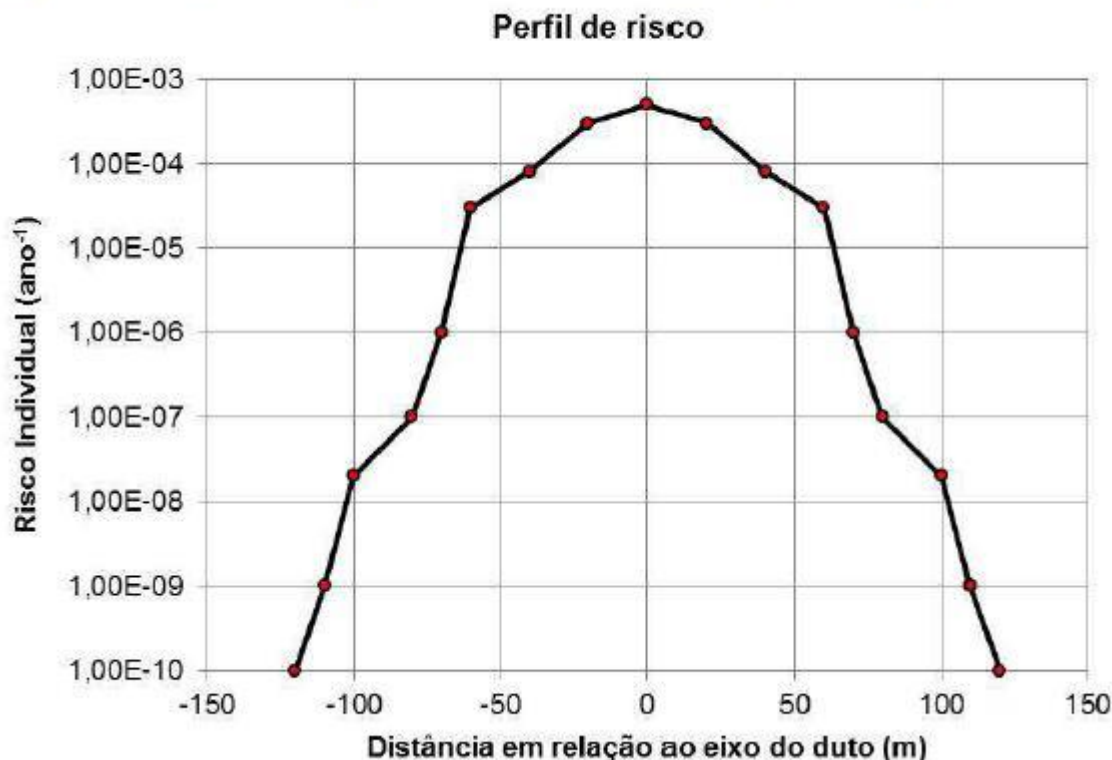


Legenda para RI:

- $1 \times 10^{-4} \text{ ano}^{-1}$
- $1 \times 10^{-5} \text{ ano}^{-1}$
- $1 \times 10^{-6} \text{ ano}^{-1}$

Fonte: adaptado de GOOGLE MAPS/GOOGLE EARTH, 2013

Figura 18 - Representação do risco individual por meio de perfil de risco



Em cenários envolvendo vazamento de líquido e formação de poça cujo centro está deslocado da geratriz do duto, a plotagem dos contornos de isorrisco deve se adequar ao posicionamento da poça.

8.6.1.2 Avaliação

O critério para a avaliação do risco individual é apresentado a seguir. Delimita três regiões de risco:

tolerável, a ser reduzido e intolerável.

Risco tolerável: $\rightarrow RI < 1 \times 10^{-6} \text{ ano}^{-1}$;

Risco a ser reduzido: $\rightarrow 1 \times 10^{-6} \text{ ano}^{-1} \leq RI \leq 1 \times 10^{-5} \text{ ano}^{-1}$;

Risco intolerável: $\rightarrow RI > 1 \times 10^{-5} \text{ ano}^{-1}$.

O contorno de isorrisco situado no eixo do duto ou nos limites da faixa de dutos com valor menor que $1 \times 10^{-6} \text{ ano}^{-1}$ aponta a presença de risco residual, o qual deve ser gerenciado por meio de um Programa de Gerenciamento de Risco, conforme exemplificado na **figura 19 (a₁ e a₂)**.

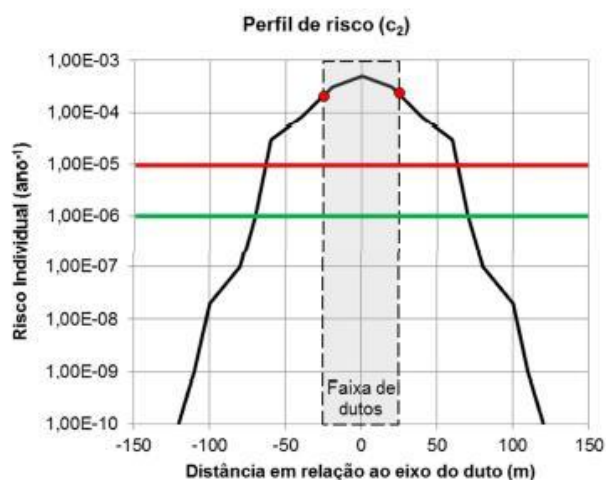
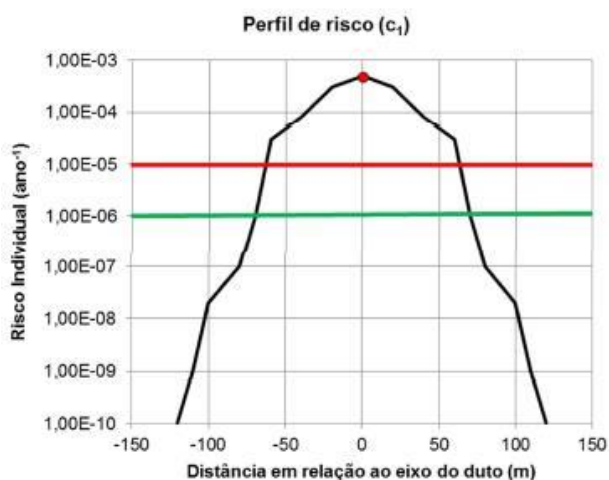
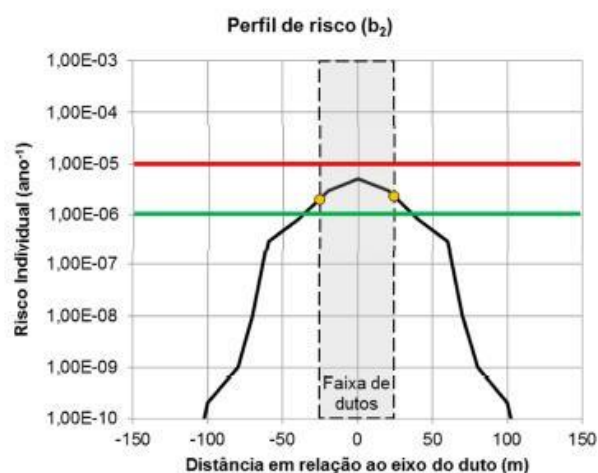
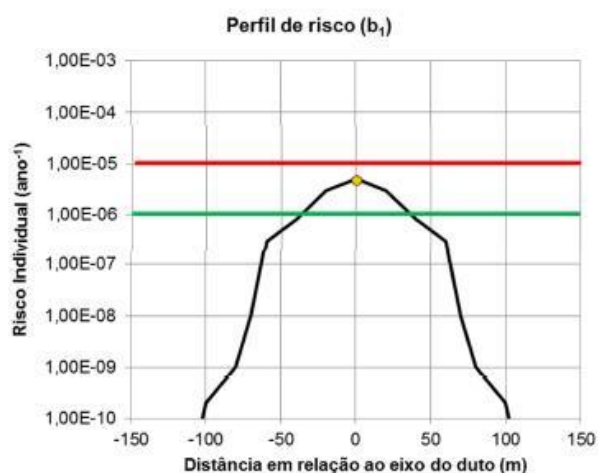
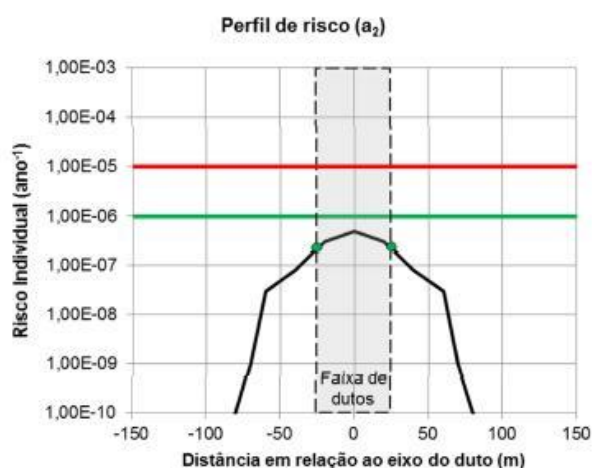
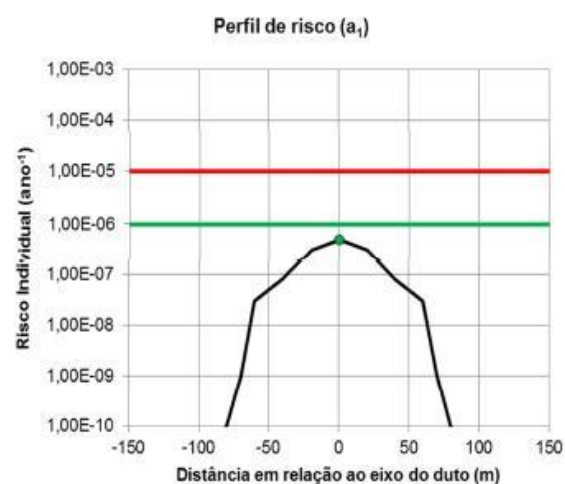
Os casos em que o contorno de isorrisco no eixo do duto ou nos limites da faixa de dutos seja um valor entre $1 \times 10^{-5} \text{ ano}^{-1}$ e $1 \times 10^{-6} \text{ ano}^{-1}$, portanto na região de risco a ser reduzido, requerem a implantação de medidas que resultem na redução do risco, de acordo com o recomendado no **item 8.7**, conforme exemplificado na **figura 19 (b₁ e b₂)**.

O contorno de isorrisco no eixo do duto ou nos limites da faixa de dutos maior que $1 \times 10^{-5} \text{ ano}^{-1}$ indica a inviabilidade do projeto, tal como proposto, conforme exemplificado na **figura 19 (c₁ e c₂)**. A adoção de medidas para a redução do risco, de acordo com o recomendado no **item 8.7**, deve ter como meta que o valor do risco no eixo do duto ou nos limites da faixa de dutos seja no máximo igual a $1 \times 10^{-5} \text{ ano}^{-1}$.

Os novos contornos, considerando as medidas de redução, devem ser apresentados para avaliação.

Atentar para as observações do **item 8.6.1.1** sobre a formação de poça deslocada da geratriz do duto.

Figura 19 - Representação do risco individual por meio de perfil de risco. A distância de 0m representa o eixo do duto. As figuras representadas por a₁, b₁ e c₁ referem-se aos casos em que não há faixa de dutos, enquanto que a₂, b₂ e c₂ representam os casos em que existe faixa de dutos. Nas figuras a₁ e a₂ está representado o risco situado na região tolerável (residual), nas figuras b₁ e b₂ está representado o risco situado na região de risco a ser reduzido e nas figuras c₁ e c₂ está representado o risco situado na região intolerável.



8.6.1.3 Aferição dos resultados

Com o objetivo de possibilitar a aferição, por parte da SMAC, da estimativa do risco individual, identificar um ponto x, y no contorno de isorrisco de $1 \times 10^{-6} \text{ ano}^{-1}$ (ou um ponto sobre o menor valor de RI plotado, caso não seja alcançado $1 \times 10^{-6} \text{ ano}^{-1}$) e detalhar todos os cenários que contribuem no cálculo do risco neste ponto. O detalhamento pressupõe a apresentação da

memória de cálculo dos cenários identificados, retroagindo até a estimativa da frequência e do efeito físico da hipótese accidental de origem.

8.6.2 Risco social

O risco, expresso na forma de risco social (RS), refere-se ao risco para um determinado número ou agrupamento de pessoas expostas aos efeitos físicos decorrentes de um ou mais cenários accidentais. É possível que vários trechos com aglomerado populacional sejam cruzados ou tangenciados pelo traçado do duto em análise. O risco social deve ser estimado para todos esses trechos.

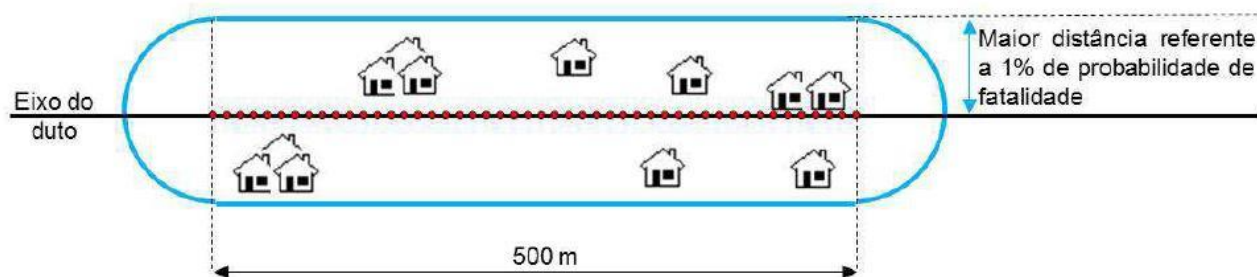
O risco social é expresso na forma de uma curva F-N. A construção desta curva pressupõe o conhecimento dos pares ordenados f (frequência) e N (número de vítimas) para cada cenário accidental em cada ponto de liberação em uma extensão total de duto de 500m. A curva é obtida a partir da plotagem da frequência acumulada dos cenários accidentais com N ou mais vítimas (F , eixo y) e o número de vítimas fatais de cada cenário (N , eixo x).

A curva F-N obtida deve ser comparada com o critério para avaliação do risco social. Para utilizar o mesmo critério dos empreendimentos pontuais, a extensão de 500m de duto foi considerada como sendo equivalente ao tamanho padrão dos empreendimentos pontuais no estado de Rio de Janeiro. O **anexo V** apresenta o detalhamento das considerações efetuadas para a determinação desta extensão.

8.6.2.1 Tamanho do traçado a ser considerado

Para a construção da curva F-N, considerar uma extensão de 500m de duto nos locais onde houver aglomerado populacional, conforme **figura 20**. Nesta figura são visualizados os pontos de liberação a cada 10m, sendo que as frequências dos cenários accidentais devem ser calculadas levando-se em consideração o distanciamento entre os pontos de liberação, conforme **item 8.5.2**.

Figura 20 – Consideração da extensão de 500m para o cálculo do risco social



Onde ocorrerem ramificações, como, por exemplo, na rede secundária de distribuição de gás natural, considerar composições da rede com extensão de 500m de dutos, independentemente das condições de projeto e operacionais, nos locais onde houver aglomerado populacional. Deve haver clareza que a escolha privilegiou a situação de maior vulnerabilidade.

8.6.2.2 Estimativa do número de vítimas

O número N de vítimas fatais de cada cenário accidental é determinado a partir do conhecimento da distribuição populacional na região de interesse e da probabilidade de fatalidade para essa população decorrente dos efeitos físicos desse cenário.

Para cada cenário accidental, estimar o número provável de vítimas fatais, levando em consideração os tópicos a seguir:

a) tipo de população de interesse, em consonância com o levantamento apresentado no **item 8.1.2.**

b) distribuição populacional para os períodos diurno (06h01min até 18h) e noturno (18h01min até 06h), considerando:

- Porcentagem de permanência da população de interesse no local;
- Porcentagem da população de interesse abrigada e não abrigada.

c) probabilidades de fatalidade associadas aos efeitos físicos das tipologias accidentais, em função das pessoas expostas e dos fatores de proteção adotados.

8.6.2.2.1 Sobrepressão

a) Para os cenários envolvendo sobrepressão, estimar o número de vítimas fatais conforme a **equação 18.**

$$N_i = 0,25Ne_1 + 0,75Ne_2 \quad (18)$$

Onde:

N_i = número de fatalidades resultante do cenário i;

Ne_1 = número de pessoas abrigadas na região 1 da **figura 14**, delimitada pelas curvas correspondentes às sobrepressões de 0,3bar e 0,1bar;

Ne_2 = número de pessoas abrigadas na região 2 da **figura 14**, delimitada pela curva correspondente à sobrepressão de 0,3bar e a fonte do vazamento.

8.6.2.2.2 Radiação térmica e toxicidade

Para os cenários envolvendo radiação térmica e toxicidade, estimar o número de vítimas fatais conforme a **equação 19**.

$$N_i = \sum_{x,y} Ne_{x,y} \cdot p_{f,x,y,i} \cdot f_p \quad (19)$$

Onde:

N_i = número de fatalidades resultante do cenário i

$Ne_{x,y}$ = número de pessoas presentes e expostas no ponto x,y, de acordo com o item 8.6.2.2.b

$p_{f,x,y,i}$ = probabilidade que o cenário i resulte em fatalidade para pessoas não abrigadas no ponto x,y, de acordo com os efeitos esperados. Para pessoas abrigadas e radiação térmica $< 35\text{kW.m}^{-2}$, considerar $p_{f,x,y,i} = 0$. Para radiação térmica $\geq 35\text{kW.m}^{-2}$, considerar $p_{f,x,y,i} = 1$, independentemente do fato de estarem abrigadas. Para incêndio de nuvem, adotar a $p_{f,x,y,i} = 1$ para pessoas dentro da área da nuvem, independentemente do fato de estarem abrigadas e $p_{f,x,y,i} = 0$ para pessoas fora da área da nuvem.

f_p = fator associado a um certo nível de proteção, variando entre 1 e 0, os quais representam ausência de proteção e proteção total, respectivamente. Para radiação térmica $< 35\text{kW.m}^{-2}$, a probabilidade de fatalidade para pessoas não abrigadas é afetada pela proteção oferecida pela vestimenta. Utilizar o fator $f_p = 0,2$ para a baixa exposição, onde cerca de 25% do corpo está exposto. Utilizar $f_p = 0,8$ para a alta exposição, onde cerca de 70% do corpo está exposto. Para radiação térmica $\geq 35\text{kW.m}^{-2}$, $f_p = 1$. Para toxicidade, pode ser aplicado para pessoas abrigadas, justificando o valor adotado.

Se forem utilizadas as estimativas simplificadas das probabilidades de fatalidade $p_{f,x,y,i}$ (**figuras 14 e 15**), estimar o número de vítimas de acordo com os itens 8.6.2.2.2.1 e 8.6.2.2.2.2.

8.6.2.2.2.1 Radiação térmica

Estimar o número de vítimas fatais para cada um dos cenários acidentais conforme **equação 20**.

$$N_i = f_p (0,25Ne_1 + 0,75Ne_2) + Ne_3 \quad (20)$$

Onde:

N_i = número de fatalidades resultante do cenário i;

Ne_1 = número de pessoas presentes e expostas na região 1 da **figura 13**, delimitada pelas curvas correspondentes às probabilidades de fatalidade de 50% e 1%;

Ne_2 = número de pessoas presentes e expostas na região 2 da **figura 13**, delimitada pela curva de radiação térmica de 35kW.m^{-2} e a curva de probabilidade de fatalidade de 50%;

Ne_3 = número de pessoas presentes e expostas na região 3 da **figura 13**, delimitada pela fonte do vazamento e a curva de radiação térmica de 35kW.m^{-2} ;

f_p = fator associado à vestimenta das pessoas não abrigadas, quando a radiação térmica é $< 35\text{kW.m}^{-2}$.

8.6.2.2.2 Toxicidade

Estimar o número de vítimas fatais para cada cenário acidental conforme **equação 21**.

$$N_i = 0,25Ne_1 + 0,75Ne_2 + Ne_3 \quad (21)$$

Onde:

N_i = número de fatalidades resultante do cenário i;

Ne_1 = número de pessoas presentes e expostas na região 1 da **figura 15**, delimitada pelas curvas correspondentes às probabilidades de fatalidade de 50% e 1%;

Ne_2 = número de pessoas presentes e expostas na região 2 da **figura 15**, delimitada pelas curvas correspondentes às probabilidades de fatalidade de 99% e 50%;

Ne_3 = número de pessoas presentes e expostas na região 3 da **figura 15**, delimitada pela fonte do vazamento e a curva de probabilidade de fatalidade de 99%.

Para pessoas abrigadas, pode ser aplicado um fator de redução no número de vítimas, justificando-o.

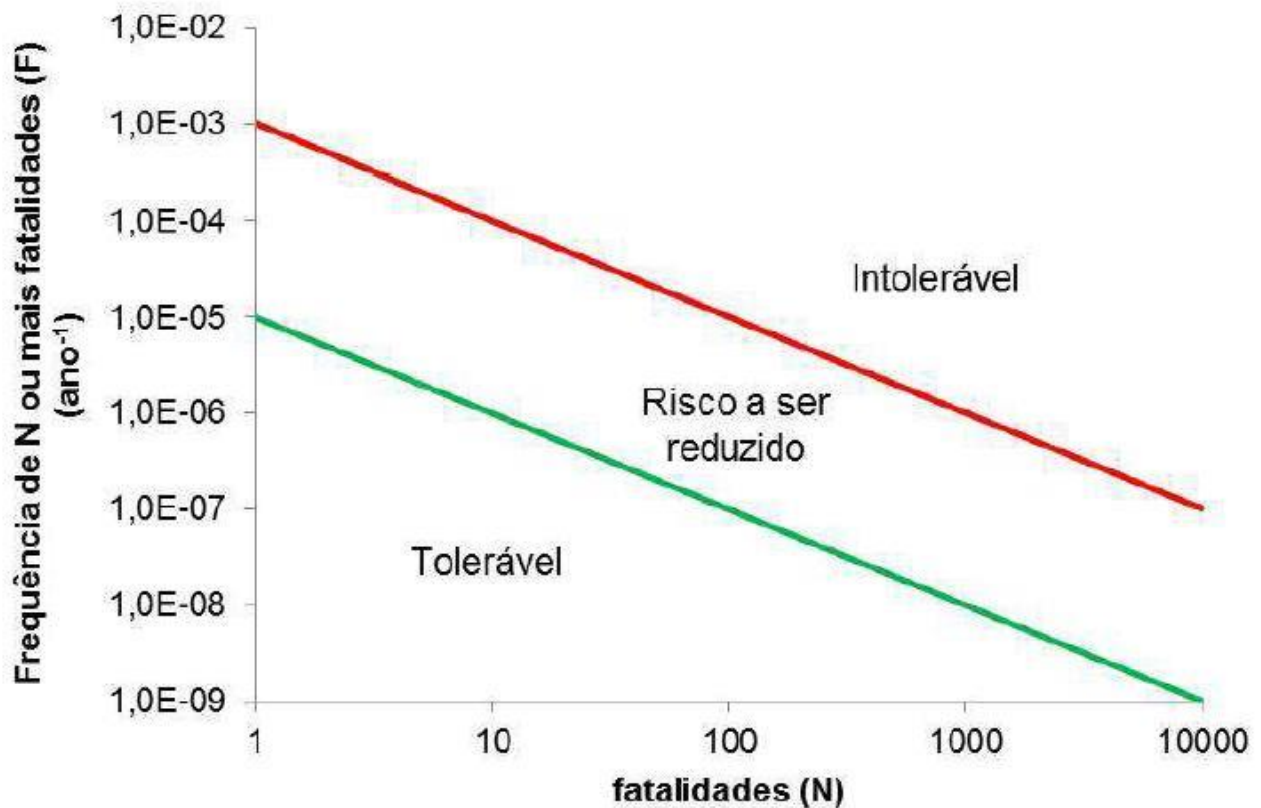
8.6.2.2.3 Apresentação dos resultados

Apresentar tabela, conforme a do **anexo U (b)**, identificando e detalhando para cada tipologia acidental o cenário de maior número de vítimas ($N_{(i)} = N_{max}$). O detalhamento pressupõe apresentar a memória de cálculo do cenário identificado, retroagindo até a estimativa do efeito físico da hipótese acidental de origem. Apresentar tabela com os pares da curva F-N.

8.6.2.3 Avaliação

A **figura 21** apresenta o critério para a avaliação do risco social. Plotar a curva F-N dos 500m considerados no traçado do duto contra o critério, de forma a possibilitar a avaliação da tolerabilidade do risco. O critério delimita três regiões de risco: tolerável, a ser reduzido e intolerável.

Figura 21 – Critério de tolerabilidade para risco social considerando-se o comprimento de 500m de extensão de duto



A curva do empreendimento para os 500m situada na região de risco tolerável aponta a presença de risco residual que deve ser gerenciado por meio de um Programa de Gerenciamento de Risco.

A curva situada total ou parcialmente na região de risco a ser reduzido requer a implantação de medidas que resultem na redução do risco, de acordo com o recomendado no **item 8.7**. Apresentar a nova curva para avaliação considerando tais medidas.

A curva situada total ou parcialmente na região de risco intolerável indica a inviabilidade do projeto, tal como proposto. A adoção de medidas para a redução do risco, de acordo com o recomendado no **item 8.7**, deve ter como meta situar a curva F-N integralmente na região de risco a ser reduzido ou, preferencialmente, na região de risco tolerável. Apresentar a nova curva para avaliação considerando tais medidas.

Cenário acidental com $N > 10.000$, independentemente da sua frequência, deve ser desenvolvido no estudo e incorporado à curva do empreendimento. A tolerabilidade do risco, nessa condição, será avaliada pela SMAC como situação excepcional.

8.6.2.4 Aferição dos resultados

Com o objetivo de possibilitar a aferição por parte da SMAC da estimativa do risco social, identificar o cenário com maior número de vítimas (N_{max}) e sua frequência. Também identificar os cenários que compõem os dois pontos subsequentes ao de N_{max} na composição da curva F-N. Apresentar os resultados em tabelas conforme modelo do **anexo U (a) e (b)** e indicar em foto aérea a localização desses cenários.

8.7 Redução do risco

No transcorrer do EAR, deve-se perguntar se é possível aplicar medidas que reduzam os efeitos físicos ou as frequências dos cenários acidentais, ou ainda eliminem alguns desses cenários. Essas medidas devem ser incorporadas ao projeto do empreendimento e ao EAR, demonstrando-se a redução dos efeitos físicos, das frequências e do risco. A esse processo, dá-se o nome de redução do risco, etapa apresentada em destaque na **figura 9**.

São exemplos de medidas a redundância ou o aumento da confiabilidade de componentes, mudança de traçado, a redução das condições operacionais (temperatura, pressão), entre outras.

Identificar os cenários acidentais que mais contribuem para o risco do empreendimento, de forma que a adoção das medidas interfira nesses cenários, levando à efetiva redução do risco.

Demonstrar a redução dos efeitos físicos, das frequências e do risco decorrente das medidas propostas após as avaliações de que tratam os **itens 8.6.1.2 e 8.6.2.3**, seguindo as etapas do fluxograma da **figura 9**.

8.8 Outras considerações

Nos casos em que o risco social for considerado atendido, mas o risco individual for maior que o risco máximo tolerável, a SMAC, após avaliação específica, poderá considerar o empreendimento aprovado, uma vez que o enfoque principal na avaliação do risco está voltado para agrupamentos de pessoas possivelmente impactadas por acidentes maiores, sendo o risco social o critério prioritário nesta avaliação.

Considerando que o risco estimado foi avaliado e considerado tolerável, ou se encontra na região de risco a ser reduzido, é necessário manter esse risco residual ao longo da vida útil do empreendimento em valores próximos ao estimado. Para tanto, deve-se formular e implantar procedimentos técnicos e administrativos de forma a manter a instalação operando dentro de padrões de segurança adequados.

O Programa de Gerenciamento de Risco (PGR) apresentado na **Parte IV** da norma é a ferramenta recomendada para alcançar esse objetivo.

9 Parte IV- Termo de referência para a elaboração de Programa de Gerenciamento de Risco

O objetivo do Programa de Gerenciamento de Risco (PGR) é prover uma sistemática voltada para o estabelecimento de requisitos contendo orientações gerais de gestão, com vistas à prevenção de acidentes.

O PGR deve refletir a realidade do empreendimento no tocante às suas características e condições operacionais e às ações pertinentes a cada um dos itens do PGR, tais como, procedimentos e sistemática para realização das tarefas. É um documento de gestão a ser utilizado pela própria empresa, onde todos os itens constantes do PGR devem ser claramente definidos e documentados, aplicando-se às atividades desenvolvidas no empreendimento, tanto por funcionários como pelas empresas terceirizadas (empreiteiras e demais prestadores de serviço). Seu conteúdo deve estar de acordo com o **item 9.1**.

Desenvolver o PGR de forma a abranger, passo a passo, todas as ações a serem seguidas pelos técnicos envolvidos com o empreendimento, de forma que este seja operado e mantido ao longo de sua vida útil dentro de padrões toleráveis de risco. Para tanto, as diretrizes apresentadas neste item não esgotam a necessidade de orientações adicionais, em decorrência da complexidade do empreendimento.

O PGR deve ter um responsável pela sua implantação e acompanhamento. Tendo em vista que os itens do Programa são, em geral, desenvolvidos por áreas distintas da empresa, convém que o responsável tenha capacidade de articulação e de convencimento, as quais, aliadas à ascendência hierárquica, permitem a eficácia do Programa no gerenciamento do risco residual.

A documentação de registro das atividades realizadas no PGR, como, por exemplo, resultados de auditorias, serviços de testes, manutenções e treinamentos, deve estar disponível para verificação, razão pela qual deve ser mantida em arquivo, de acordo com os requisitos legais aplicáveis.

O empreendedor deve estabelecer a periodicidade de revisão do PGR.

Com relação à orientação Evidências, a empresa deve anexar algumas evidências de atendimento ao Programa de Gerenciamento de Risco adotado.

9.1 Programa de Gerenciamento de Risco

O PGR deve contemplar os seguintes itens:

- Caracterizações do empreendimento e do entorno;
- Identificação de perigos;
- Revisão do Estudo de Análise de Risco ou da identificação de perigos;
- Procedimentos operacionais;
- Gerenciamento de modificações;
- Manutenção e garantia de integridade;
- Capacitação de recursos humanos;
- Investigação de incidentes e acidentes;
- Plano de Ação de Emergência (PAE);
- Auditoria do PGR.

9.1.1 Caracterizações do empreendimento e do entorno

Desenvolver este tópico conforme **item 7.1** para empreendimentos pontuais e **item 8.1** para dutos.

9.1.2 Identificação de perigos

Desenvolver este tópico conforme **item 7.2** para empreendimentos pontuais e **item 8.2** para dutos.

9.1.3 Revisão do Estudo de Análise de Risco ou da identificação de perigos

Para os empreendimentos onde houve necessidade de elaborar um Estudo de Análise de Risco (EAR), estabelecer revisão periódica do EAR, de modo a identificar novas situações de risco e as respectivas medidas de redução. Também realizar a revisão do EAR quando de eventuais modificações ao longo da vida útil do empreendimento ou aumento significativo da população de interesse.

Para os empreendimentos onde houve apenas a necessidade de elaborar um Programa de Gerenciamento de Risco (PGR), o empreendedor deve possuir um procedimento apresentando minimamente: quando realizar a identificação de perigos, os motivos da realização, as metodologias utilizadas, os nomes e funções do responsável e dos componentes das equipes, ações sugeridas para redução ou eliminação dos perigos encontrados, responsáveis e prazos para cumprimento dessas ações e o sistema de acompanhamento, bem como estabelecer o prazo para sua revisão periódica.

Cabe ressaltar que as revisões do EAR e da identificação de perigos podem significar apenas uma atualização de cada um destes documentos, mesmo que não haja mudanças, as quais devem ser devidamente justificadas.

9.1.4 Procedimentos operacionais

O empreendimento deve possuir um conjunto de procedimentos documentados, facilmente acessíveis, que descrevam, em detalhes e com clareza, como seus funcionários, terceirizados e contratados devem executar com segurança todas as tarefas pertinentes à instalação.

Prever em procedimento ações pertinentes às operações da instalação, atendendo ao disposto no **anexo W**.

Anexar como evidência lista dos procedimentos de operação e 02 (dois) procedimentos de interesse quanto aos aspectos de risco.

9.1.5 Gerenciamento de modificações

Estabelecer uma sistemática adequada de gerenciamento dos perigos decorrentes de eventuais modificações físicas e/ou administrativas (procedimentos, fluxogramas, entre outros) nas instalações envolvidas, sejam elas grandes ou pequenas, com a finalidade de identificar, avaliar e gerenciar tais perigos previamente. Para tanto, elaborar um procedimento atendendo ao disposto no **anexo W**, quando pertinente, e contemplando, ainda, os seguintes aspectos:

- Base técnica para a mudança;
- Análise de segurança e de meio ambiente acerca da mudança;
- Necessidade de alteração de procedimentos de segurança, de operação ou de manutenção e treinamentos;
- Sistemática de informação: quem deve ser informado sobre a mudança proposta e seus impactos;
- Documentação de apoio à mudança (fluxogramas, diagramas de instrumentação e tubulação, entre outros);
- Prazo da alteração: provisória ou definitiva;
- Autorizações internas e externas necessárias junto aos órgãos envolvidos;
- Registro de acompanhamento da modificação, conforme modelo do **anexo X**.

Anexar como evidência o procedimento utilizado para o gerenciamento de modificações e 02 (dois) exemplos de sua aplicação.

9.1.6 Manutenção e garantia de integridade

O empreendimento deve possuir um programa de manutenção e garantia da integridade dos componentes considerados críticos, tais como, vasos de pressão, tanques de armazenagem, linhas, sistemas de alívio, detectores, válvulas, bombas, sistemas de intertravamento e paradas (*shutdown*), sistema de combate a incêndios, malhas de aterramento e sistemas elétricos, com o objetivo de mantê-los em condições seguras de operação. O programa deve contemplar:

- Os procedimentos de manutenção dos componentes da instalação atendendo ao disposto no **anexo W**, quando pertinente, e às normas técnicas e códigos pertinentes;
- Os procedimentos de testes e inspeções dos componentes da instalação atendendo ao disposto no **anexo W**, de forma a garantir a integridade mecânica e funcional dos mesmos;
- O registro das inspeções, testes e serviços de manutenção incluindo data de realização, técnico responsável, identificação dos equipamentos e tipos de serviços realizados, resultados e faixas de aceitação, códigos e normas técnicas seguidas, correção de desvios, entre outros;
- O cronograma de realização das inspeções, testes e serviços de manutenção;
- A periodicidade de revisão dos procedimentos e das faixas de aceitação dos testes e inspeções.

O **anexo Y** apresenta modelo de planilha para a organização do programa.

Anexar como evidência lista dos procedimentos pertinentes às atividades de manutenção, testes e inspeções; os cronogramas atualizados de manutenção, inspeções e testes dos componentes considerados críticos; as evidências de aplicação do programa de manutenção, de inspeções e testes; os laudos conclusivos, acompanhados das respectivas anotações de responsabilidade técnica (ART), atestando o atendimento das instalações aos códigos e as normas técnicas aplicáveis e o cronograma de atendimento às recomendações dos respectivos laudos.

9.1.7 Capacitação de recursos humanos

O empreendimento deve possuir um programa de treinamento que coordene a capacitação dos funcionários, terceirizados e contratados envolvidos com as atividades realizadas na empresa, tais como, operação, manutenção, realização de testes e inspeções, emergência, modificações na instalação, entre outras, contemplando ainda o gerenciamento dos perigos pertinentes a cada uma destas atividades. O programa deve contemplar:

- Quem deve ser treinado;
- Etapa do treinamento (inicial, periódica e pós-modificações);
- Quais os treinamentos para cada função, tais como operacionais, de segurança, manutenção;
- Formas de treinamento (teórico e/ou prático);
- Periodicidade de realização de cada tipo de treinamento;
- Registro dos treinamentos.

Anexar como evidência o cronograma de treinamentos atualizado, certificados e controles individuais de treinamento.

9.1.8 Investigação de incidentes e acidentes

O empreendimento deve possuir um procedimento para investigação de incidentes e de acidentes envolvendo liberações de substâncias de interesse, atendendo o disposto no **anexo W**, contemplando ainda:

- A natureza do incidente ou do acidente;
- As causas raiz e demais fatores contribuintes;
- A identificação de impactos causados às instalações, ao meio ambiente e à população extramuros;
- Os relatórios das investigações, contendo ações corretivas, recomendações, responsáveis e prazos resultantes da investigação.

Anexar como evidência o procedimento e dois relatórios de aplicação, quando pertinente.

9.1.9 Plano de Ação de Emergência (PAE)

O empreendimento deve possuir um Plano de Ação de Emergência que proporcione ações rápidas e eficazes em caso de emergências.

O PAE deve se basear na identificação de perigos e/ou nos resultados obtidos no Estudo de Análise de Risco, quando realizado, e na legislação vigente, devendo contemplar, no mínimo, os seguintes elementos:

- Nome e endereço do empreendimento;
- Descrição das instalações envolvidas, conforme **item 9.1.1**;
- Representantes do empreendimento para contato em situação de emergência;
- Cenários acidentais considerados em conformidade com a etapa da identificação de perigos, **item 9.1.2**. Considerar, no mínimo, os cenários de vazamento de tóxicos e de inflamáveis com e sem ignição;
- Área de abrangência e limitações do plano em conformidade com o raio da maior abrangência da estimativa de efeitos físicos equivalente a 1% de probabilidade de fatalidade, quando se tratar de EAR, ou a distância maior entre 100m e distância de referência (d_r), quando se tratar de PGR;
- Estrutura organizacional com as atribuições e responsabilidades dos envolvidos. Por exemplo, quem é o coordenador, quem aciona os recursos de apoio externo e a brigada de incêndio, entre outros;
- Fluxograma de acionamento em conformidade com a estrutura organizacional apresentada, para os períodos diurno e noturno;
- Relação de todos os participantes do plano com os respectivos telefones de contato, formas de acionamento para todos os períodos, inclusive fora dos horários de expediente; relação dos recursos materiais efetivamente disponíveis com as respectivas quantidades e locais de disposição, tais como alarmes de incêndio, extintores, canhões de líquido gerador de espuma

(LGE), mangueiras, máscaras autônomas, roupas de proteção, ambulâncias, sistemas de comunicação e alternativos de energia elétrica, entre outros;

–Relação e meios de acionamento de todas as entidades públicas e privadas a serem mobilizadas para atuarem na resposta emergencial, tais como Defesa Civil, Corpo de Bombeiros, Órgãos Ambientais, hospitais, entre outros;

–Procedimentos estruturados de acordo com o **anexo W**, contemplando as ações de resposta às situações emergenciais compatíveis com os cenários acidentais identificados e em conformidade com a estrutura organizacional apresentada. Para tanto, considerar procedimentos de avaliação; de controle emergencial, tais como, de combate a incêndios, isolamento, evacuação, controle de vazamentos, entre outros; ações de recuperação e disposição adequada dos eventuais resíduos. Cabe ressaltar que as ações de combate iniciais devem ser realizadas por equipes da própria empresa;

–Formas de divulgação, implantação (internas e/ou externas) e integração com outras instituições;

–Cronograma de exercícios teóricos e práticos (simulados), de acordo com os diferentes cenários acidentais, em nível crescente de complexidade. Os exercícios teóricos devem prever a evacuação da população dentro da área de abrangência. Seus resultados devem servir de referência para que a empresa articule a estruturação do plano com as entidades envolvidas, contemplando itens como a comunicação do plano à população e o deslocamento desta nos cenários de interesse;

–Manutenção do plano, contemplando a reposição dos recursos materiais e a adequação do plano, após simulados ou situações de emergência;

–Periodicidade de revisão do plano;

Anexos: leiaute com os respectivos pontos de encontro, rotas de fuga e acionamento de alarmes.

Anexar como evidência relatório de avaliação do último simulado. Anexar evidências que o sistema de prevenção e combate a incêndios está de acordo com as normas vigentes.

9.1.10 Auditoria do PGR

O empreendimento deve possuir uma sistemática de auditoria específica de todos os itens que compõem o PGR, de forma a verificar a conformidade e a efetividade dos procedimentos previstos no programa. Para tanto, estabelecer um procedimento que oriente, passo a passo, como deverão ser realizadas tais auditorias.

Poderá ser utilizada a estrutura de gestão das normas da *International Organization for Standardization* (ISO), no entanto, o programa de auditorias deve contemplar todos os itens do PGR.

Esse procedimento deve atender ao previsto no **anexo W**, além de contemplar:

–Os responsáveis (internos e/ou externos) pela condução das auditorias;

–A periodicidade de realização de acordo com a periculosidade e complexidade das instalações e perigos decorrentes;

–Os relatórios das auditorias, contendo conformidades e não conformidades encontradas, ações corretivas, propostas de melhoria, responsáveis e prazos de atendimentos.

Anexar como evidência o procedimento utilizado para realizar as auditorias e o relatório final das últimas duas auditorias.

10 Referências

ALMAZAN JR., F. E. I. T. et al. **SuperChems for beginners** (for version 6.20 mp). Salem: ioMosaic, [ca.2009]. 651 p. (Manual do software).

AICHE. CCPS. **Guidelines for process equipment reliability data**: with data tables. New York, US. 1989. 303 p.

Guidelines for hazard evaluation procedures. 2nd. ed. New York, US. 1992. 461 p.

Plant guidelines for technical management of chemical process safety. Rev. ed. New York, US. 1995. 169 p.

Guidelines for chemical process quantitative risk analysis. 2nd. ed. New York, 2000. 756 p.
API. **API RP 581**: risk-based inspection technology. 2nd. ed. Washington, DC, 2008. 654 p.
Recommended Practice.

. **API RP 750**: management of process hazards. Washington, 1990.16 p. Recommended Practice with errata february 1990.

ABNT. **NBR 12712**: projeto de sistemas de transmissão e distribuição de gás combustível. Rio de Janeiro, 2002. 77 p.

NBR 15280-1: dutos terrestres - parte 1: projeto. Rio de Janeiro, 2009. 75 p.

BALL, D. J.; FLOYD, P. J. **Societal Risks**: a report prepared for the Health and Safety Executive. London: HSE, 1998. 79 p.

BOSCH, C. J. H.van der; WETERINGS, R. A. P. M. (Ed.). **Methods for the calculation of physical effects**: due to releases of hazardous materials (liquids and gases) – ‘Yellow Book’. 3rd ed. 2nd rev. print.

The Hague, NL: Ministerie van Verkeer en Waterstaat; TNO, 2005.(Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen, 2). CPR 14E. Disponível em: <http://www.publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/publicaties/PGS2.html>>. Acesso em:05 jul. 2011.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução ANP nº 6, de 3 de fevereiro de 2011. **Diário Oficial da União**: República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 7 fev. 2011. Disponível em: [http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2011/fevereiro/ranp%206%20-%202011.xml?f=templates\\$fn=document-frame.htm\\$3.0\\$q=\\$x](http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2011/fevereiro/ranp%206%20-%202011.xml?f=templates$fn=document-frame.htm$3.0$q=$x)>. Acesso em: 31 ago. 2012.

BRASIL, CONAMA. Resolução nº 1, de 23 janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. **Diário Oficial da União**: República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 17 fev. 1986. Seção 1, p. 2548-49. Alterada pelas Resoluções nº 11, de 1986, nº 05, de 1987, e nº 237, de 1997. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>>.

BSI. **PD 8010-3: 2009**: code of practice for pipelines - part 3: steel pipelines on land – guide to the application of pipeline risk assessment to proposed developments in the vicinity of major accident hazard pipelines containing flammables – London, 2008. Supplement to PD 8010-1:2004.

SMAC. **Manual de produtos químicos**. São Paulo.

Disponível em: <http://www.SMAC.sp.gov.br/gerenciamento-de-riscos/emergencias-quimicas/258-manual-de-produtos-quimicos>>. Acesso em: 19 abr. 2011.

CETESB. **P4.261**: manual de orientação para a elaboração de estudos de análise de riscos. São Paulo, 2003. 120 p.

CONCAWE. **CONCAWE Report nº 4/10**: performance of European cross-country oil pipelines. Statistical summary of reported spillages in 2008 and since 1971. Report nº 4/10. Brussels, 2010. Disponível em: <http://www.concawe.be/content/default.asp?PageID=569>>. Acesso em 14 abr. 2011.

DET NORSKE VERITAS (DNV). **Phast Risk Micro**: technical manual (version 6.54). London, 2009. Manual do software.

EGIG. **EGIG – report 1970-2007 gas pipeline incident**: 7th report of the European Gas Pipeline

Incident Data Group,. Groningen, 2008. 33 p. (Doc. n. EGIG 08.TV-B.0502; 08.R.0002). Disponível em: <<http://www.egig.eu>>. Acesso em: 28 ago. 2012.

GOOGLE MAPS/GOOGLE EARTH. Disponível em: <<http://www.maps.google.com>>. Acesso em: 07 fev. 2013.

HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE (Great Britain). **Canvey: a second report: a review of potential hazards from operations in the Canvey Island/Thurrock area three years after publication of the Canvey Report.** London, 1981.

Casella Scientific Consultants (Liverpool). **Report on a second study of pipeline accidents using the Health and Safety Executive's risk assessment programs MISHAP and PIPERS.** London, 2002. (HSE research report 036). Disponível em: <http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr036.pdf>>. Acesso em 01 abr. 2011.

IBGE. **Guia do censo 2010 para Jornalistas.** Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/pdf/Guia_do_censo2010.pdf>. Acesso em: 09 set. 2011.

INSTITUTION OF GAS ENGINEERS AND MANAGERS. **Application of pipeline risk assessment to proposed developments in the vicinity of high pressure natural gas pipelines.** Leicestershire, UK, 2008. (IGEM/TD/2 Communication, 1737).

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO (IGC): **Mapa do Estado – Regiões de governo.** Disponível em: < <http://www.igc.sp.gov.br/centraldownloads/index.html>>. Acesso em 07 fev. 2013.

JONES, D. A. (Ed.). **Nomenclature for hazard and risk assessment in the process industries.** 2nd ed. Rugby, UK: IChemE, 1992. 43 p. Reprint 2003.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Applied statistics and probability for engineers.** 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 2003. 706 p.

RIVM. **Reference manual bevi risk assessments.** Version 3.2. Bilthoven, 2009. 189 p. Translation of the: Handleiding Risicoberekeningen Bevi. Versie 3.2. Disponível em: <<http://www.rivm.nl/dsresource?objectid=rivmp:22450&type=org&disposition=inline>>. Acesso em: 31 ago. 2012.

TECHNICA INTERNATIONAL LTD. **WHAZAN User Guide.** London, 1986. (manual do software).

TNO Environment, Energy and Process Innovation. **Effects, Damage, Effects *plus* and Effects GIS**. Version 5.5. Apeldoorn, 2003. 273 p. (manual do software).

TSAO, C.K.; PERRY, W.W. **Modifications to the vulnerability model**: a simulation system for assessing damage resulting from marine spills (VM4). United States: Coast Guard, 1979. (ADA 075 231; NTIS Report n. CG-D-38-79).

USEPA. **Meteorological monitoring guidance for regulatory modeling applications**. North Carolina, 2000. (EPA-454/R-99-005). 171 p. Disponível em: <<http://www.epa.gov/scram001/metguidance.htm>>. Acesso em: 31 ago. 2012

Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems: meteorological measurements. North Carolina, 2008. (EPA-454/B-08-002). Title in site: **Meteorological Measurements Quality Assurance Handbook**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/scram001/metguidance.htm>>. Acesso em: 22 jan. 2013.

.Meteorological measurements quality assurance handbook: (EPA/600/R-94-038d). USA, 2000b. Disponível em: <<http://www.epa.gov/scram001/metguidance.htm>>. Acesso em: 28 set. 2011.

.Risk Management Plan (RMP) rule. Washington, [2012?]. Disponível em: < <http://www.epa.gov/swercepp/web/content/rmp/index.htm>>. Acesso em: 10 set. 2012

UNITED STATES. OSHA. **Process Safety Management (PSM)**. Washington, DC, [2011]. Disponível em: < <http://www.osha.gov/SLTC/processsafetymanagement>>. Acesso em: 21 jan. 2013

Anexo A (normativo)
Substâncias tóxicas de interesse

Nome da Substância	Chemical Abstracts Service (CAS)	Estado físico	Classificação	Tabela a ser utilizada	Pág.
ácido nítrico ^(a)	7697-37-2	líquido	4	acroleína	79
acrilonitrila	107-13-1	líquido	3	acrilonitrila	79
acroleína	107-02-8	líquido	4	acroleína	79
álcool alílico	107-18-6	líquido	3	acrilonitrila	79
amônia	7664-41-7	gás	3	amônia	80
arsina	7784-42-1	gás	4	cloro	84
brometo de alila	106-95-6	líquido	3	acrilonitrila	79
brometo de hidrogênio	10035-10-6	gás	3	amônia	80
brometo de metila	74-83-9	gás	3	brometo de metila	81
bromo	7726-95-6	líquido	4	acroleína	79
sec-butilamina	13952-84-6	líquido	3	acrilonitrila	79
chumbo tetrametila	75-74-1	líquido	3	acrilonitrila	79
cianeto de hidrogênio	74-90-8	gás	4	cianeto de hidrogênio	82
cianogênio	460-19-5	gás	4	cloro	84
cloreto de boro	10294-34-5	gás	3	amônia	80
cloreto de cianogênio	506-77-4	gás	4	cloro	84
cloreto de cloroacetila	79-04-9	líquido	3	acrilonitrila	79
cloreto de hidrogênio	7647-01-0	gás	3	cloreto de hidrogênio	83
cloreto de tionila	7719-09-7	líquido	3	acrilonitrila	79
cloro	7782-50-5	gás	4	cloro	84
cloroacetaldeído	107-20-0	líquido	3	acrilonitrila	79
bis-(clorometil)éter	542-88-1	líquido	4	acroleína	79
clorometilmetiléter	107-30-2	líquido	4	acroleína	79
cloropicrina	76-06-2	líquido	4	acroleína	79
crotonaldeído	123-73-9	líquido	3	acrilonitrila	79
diborano	19287-45-7	gás	4	cloro	84
dibromoetileno	106-93-4	líquido	3	acrilonitrila	79
difluoreto de oxigênio	7783-41-7	gás	4	cloro	84
dimetildiclorosilano	75-78-5	líquido	3	acrilonitrila	79
1,1-dimetilhidrazina	57-14-7	líquido	3	acrilonitrila	79
dióxido de cloro	10049-04-4	gás	4	cloro	84
dióxido de enxofre	7446-09-5	gás	3	dióxido de enxofre	85
dióxido de nitrogênio	10102-44-0	gás	4	dióxido de nitrogênio	86
epicloridrina	106-89-8	líquido	3	acrilonitrila	79
etilenoimina	151-56-4	líquido	4	acroleína	79
fluoreto de carbonila	353-50-4	gás	4	cloro	84
fluoreto de cloro	7790-91-2	gás	4	cloro	84
fluoreto de hidrogênio	7664-39-3	gás	3	fluoreto de hidrogênio	87
fluoreto de perclorila	7616-94-6	gás	3	amônia	80
fosfina	7803-51-2	gás	4	cloro	84
fosgênio	75-44-5	gás	4	fosgênio	88
hidrazina	302-01-2	líquido	3	acrilonitrila	79
hidroperóxido de terc-butila	75-91-2	líquido	3	acrilonitrila	79
isobutilamina	78-81-9	líquido	3	acrilonitrila	79
metacrilonitrila	126-98-7	líquido	3	acrilonitrila	79
metiltriclorosilano	75-79-6	líquido	3	acrilonitrila	79
metilhidrazina	60-34-4	líquido	4	acroleína	79

Anexo A (continuação)
Substâncias tóxicas de interesse

Nome da Substância	Chemical Abstracts Service (CAS)	Estado físico	Classificação	Tabela a ser utilizada	Pág.
metilvinilcetona	78-94-4	líquido	4	acroleína	79
niquelcarbonila	13463-39-3	líquido	4	acroleína	79
nitrito de etila	109-95-5	gás	3	amônia	80
oxicloreto de fósforo	10025-87-3	líquido	4	acroleína	79
óxido de etileno	75-21-8	gás	3	óxido de etileno	89
óxido nítrico	10102-43-9	gás	3	amônia	80
ozônio	10028-15-6	gás	4	cloro	84
pentaborano	19624-22-7	líquido	4	acroleína	79
pentacarbonila de ferro	13463-40-6	líquido	4	acroleína	79
propionitrila	107-12-0	líquido	4	acroleína	79
sulfeto de hidrogênio	7783-06-4	gás	3	sulfeto de hidrogênio	90
tetracloreto de titânio	7550-45-0	líquido	4	acroleína	79
tricloreto de arsênio	7784-34-1	líquido	3	acrilonitrila	79
tricloreto de boro	10294-34-5	gás	3	amônia	80
tricloreto de fósforo	7719-12-2	líquido	4	acroleína	79
trifluorcloroetileno	79-38-9	gás	3	amônia	80
trimetilclorosilano	75-77-4	líquido	3	acrilonitrila	79

(^a) A classificação se aplica às soluções de ácido nítrico com pressão de vapor igual ou superior a 10mmHg a 25°C (que equivale a concentração de aproximadamente 75% m/m). Para concentrações abaixo da mencionada, solicitar PGR.

.../ Anexo B

Anexo B (normativo)
Substâncias inflamáveis de interesse

Nome da Substância	Chemical Abstracts Service (CAS)	Estado físico	Classificação	Tabela a ser utilizada	Pág.
acetaldeído	75-07-0	líquido	4	n-pentano	105
acetato de etila	141-78-6	líquido	3	benzeno	91
acetato de metila	79-20-9	líquido	3	n-pentano	105
acetato de vinila	108-05-4	líquido	3	acetato de vinila	91
acetileno	74-86-2	gás	4	propano	106
acetona	67-64-1	líquido	3	acetona	91
acetonitrila	75-05-8	líquido	3	benzeno	91
acrilato de etila	140-88-5	líquido	3	benzeno	91
acrilato de metila	96-33-3	líquido	3	benzeno	91
benzeno	71-43-2	líquido	3	benzeno	91
1,3-butadieno	106-99-0	gás	4	1,3-butadieno	92
n-butano	106-97-8	gás	4	n-butano	93
n-butanol	71-36-3	líquido	3	apresentar PGR	
buteno	106-98-9	gás	4	buteno	94
terc-butilamina	75-64-9	líquido	3	n-pentano	105
ciclohexano	110-82-7	líquido	3	benzeno	91
ciclopentano	287-92-3	líquido	3	n-pentano	105
ciclopropano	75-19-4	gás	4	propano	106
cloreto de acetila	75-36-5	líquido	3	n-pentano	105
cloreto de alila	107-05-1	líquido	3	n-pentano	105
cloreto de etila	75-00-3	gás	4	propano	106
cloreto de metila	74-87-3	gás	4	propano	106
cloreto de vinila	75-01-4	gás	4	cloreto de vinila	95
cloreto de vinilideno	75-35-4	líquido	3	n-pentano	105
dicloroetileno	107-06-2	líquido	3	benzeno	91
dietilamina	109-89-7	líquido	3	n-pentano	105
dimetilamina	124-40-3	gás	4	dimetilamina	96
dissulfeto de carbono	75-15-0	líquido	3	dissulfeto de carbono	97
estireno	100-42-5	líquido	3	apresentar PGR	
etano	74-84-0	gás	4	etano	97
etanol	64-17-5	líquido	3	etanol	98
éter dietílico	60-29-7	líquido	3	n-pentano	105
éter dimetílico	115-10-6	gás	4	propano	106
éter isopropílico	108-20-3	líquido	3	n-pentano	105
etilamina	75-04-7	gás	4	propano	106
etilbenzeno	100-41-4	líquido	3	benzeno	91
etileno	74-85-1	gás	4	etileno	98
etilenodiamina	107-15-3	líquido	3	benzeno	91
etilmercaptana	75-08-1	líquido	4	n-pentano	105
formiato de etila	109-94-4	líquido	3	n-pentano	105
gasolina automotiva	86290-81-5	líquido	3	n-hexano	100
GLP	68476-85-7	gás	4	GLP	99
n-heptano	142-82-5	líquido	3	n-heptano	100
n-hexano	110-54-3	líquido	3	n-hexano	100
hidrogênio	1333-74-0	gás	4	hidrogênio	101
isobutanol	78-83-1	líquido	3	isobutanol	102
isopreno	78-79-5	líquido	4	n-pentano	105
isopropanol	67-63-0	líquido	3	isopropanol	102

Anexo B (continuação)
Substâncias inflamáveis de interesse

Nome da Substância	Chemical Abstracts Service (CAS)	Estado físico	Classificação	Tabela a ser utilizada	Pág.
isopropilamina	75-31-0	líquido	4	n-pentano	105
metano	74-82-8	gás	4	metano	103
metanol	67-56-1	líquido	3	metanol	103
metilamina	74-89-5	gás	4	metilamina	104
nafta	8030-30-6	líquido	4	n-pentano	105
nitrometano	75-52-5	líquido	3	n-pentano	105
n-octano	111-65-9	líquido	3	n-octano	104
óxido de propileno	75-56-9	líquido	4	óxido de propileno	105
n-pentano	109-66-0	líquido	4	n-pentano	105
piridina	110-86-1	líquido	3	benzeno	91
propano	74-98-6	gás	4	propano	106
propeno	115-07-1	gás	4	propeno	107
propionaldeído	123-38-6	líquido	3	n-pentano	105
sulfeto de dimetila	75-18-3	líquido	3	n-pentano	105
tetrahidreto de silicone	7803-62-5	gás	4	propano	106
tolueno	108-88-3	líquido	3	tolueno	107
triclorosilano	10025-78-2	líquido	3	n-pentano	105
triethylamina	121-44-8	líquido	3	triethylamina	108
trimetilamina	75-50-3	gás	4	trimetilamina	108
o-xileno	95-47-6	líquido	3	m-xileno	109
m-xileno	108-38-3	líquido	3	m-xileno	109
p-xileno	106-42-3	líquido	3	m-xileno	109

.../Anexo C

Anexo C (informativo)

Pressupostos para a elaboração das tabelas dos anexos D e E

Determinação das quantidades e distâncias de referência (d_r)

1 Hipóteses acidentais

- Líquidos tóxicos ou inflamáveis: vazamento de 100% da capacidade nominal do recipiente e o preenchimento total da bacia de contenção, com piso de concreto e dique de 2m de altura.
- Gases tóxicos ou inflamáveis: vazamento instantâneo de 20% da capacidade nominal do recipiente, em massa.

2 Condições de processo

- Líquidos tóxicos ou inflamáveis: Pressão 1bar e Temperatura 25°C;
- Gases tóxicos ou inflamáveis armazenados liquefeitos: Pressão de saturação a 25°C;
- Exceções:
 - I) Etileno: Pressão de saturação a 9°C;
 - II) Hidrogênio e metano: Pressão de 169bar a 25°C; e
 - III) Cianeto de hidrogênio: Pressão de 1,1bar a -2°C.

3 Condições meteorológicas

- Velocidade do vento: 2m.s^{-1} ;
- Categoria de estabilidade atmosférica de Pasquill: D;
- Temperatura ambiente: 25°C;
- Temperatura do solo: 30°C;
- Umidade relativa do ar: 80%.

4 Códigos ou softwares de cálculos

- PHAST – Process Analysis Tool Software, versão 6.54, elaborado por Det Norske Veritas (DNV);
- EFFECTS PLUS V.5.5, elaborado por TNO – Environment, Energy and Process Innovation;
- SuperChems, versão 6.2, publicado por IOMOSAIC Corporation. (ALMAZAN JR. et al., [ca. 2009]).

5 Sequências de cálculo

- Líquidos tóxicos ou inflamáveis
 - Modelo de evaporação de poça formada a partir do vazamento de substância classificada existente num recipiente, na bacia de contenção, com piso de concreto e dique com altura de 2m;

- Modelo de dispersão de nuvem até o Limite Inferior de Inflamabilidade (LII) para substâncias inflamáveis ou até a dose tóxica correspondente a 1% de probabilidade de fatalidade para substâncias tóxicas;
- Modelo de explosão TNT equivalente, utilizando a massa inflamável entre os limites de inflamabilidade (LII e LSI) e a distância para o nível de sobrepressão de interesse (0,1bar) plotada a partir do centro geométrico da nuvem. O nível de sobrepressão de interesse foi referenciado ao local do vazamento.
- Gases tóxicos ou inflamáveis
- Modelo de ruptura catastrófica com o vazamento de 20% da capacidade nominal do recipiente, em massa;
- Modelo de dispersão de nuvem até o Limite Inferior de Inflamabilidade (LII) para substâncias inflamáveis ou até a dose tóxica correspondente a 1% de probabilidade de fatalidade para substâncias tóxicas;

Anexo C (continuação)

Pressupostos para a Elaboração das Tabelas dos Anexos D e E

- Modelo de explosão TNT equivalente, utilizando a massa inflamável entre os limites de inflamabilidade (LII e LSI) e distância para o nível de sobrepressão de interesse plotada a partir do centro geométrico da nuvem. O nível de sobrepressão de interesse foi referenciado ao local do vazamento.

6 Valores de referência

- Gases e líquidos inflamáveis: sobrepressão de 0,1bar;
- Gases e líquidos tóxicos: dose tóxica correspondente à probabilidade de fatalidade de 1%, sendo este valor obtido a partir da equação 2 (*Probit*).

7 Parâmetros

Foram utilizados os parâmetros internos (*default*) dos modelos mencionados em 4, acima, e foram utilizadas as constantes *a*, *b* e *n* apresentadas no **anexo P** para a equação 2 (*Probit*).

.../Anexo D

Anexo D (normativo)

Quantidades das substâncias tóxicas e as respectivas distâncias de referência (d_r)

acrilonitrila ($d = 807,5 \text{ kg.m}^{-3}$ a 25°C)	
Volume (m^3)	Distância (m)
5	18
10	25
20	31
30	38
40	43
50	46
60	49
70	52
80	55
90	58
100	59
200	77
300	90
400	98
500	109
600	118
700	126
800	134
900	139
1000	146
1500	174
2000	199
2500	220
3000	238
3500	257
4000	274
4500	288
5000	300
5500	317
6000	330
6500	335
7000	347
7500	357

8000	367
8500	381
9000	393
9500	394
10000	413
20000	560
30000	674
40000	765
50000	855
60000	921
70000	993
80000	1059
90000	1113
100000	1173

acroleína ($d = 843 \text{ kg.m}^{-3}$ a 25°C)	
Volume (m^3)	Distância (m)
5	109
10	152
20	213
30	255
40	290
50	328
60	352
70	386
80	402
90	430
100	457
200	623
300	762
400	867
500	962
600	1057
700	1129
800	1214
900	1288
1000	1358
1500	1656
2000	1921
2500	2141
3000	2332
3500	2528
4000	2717
4500	2896
5000	3064
5500	3228
6000	3348
6500	3501
7000	3651
7500	3773

8000	3923
8500	4060
9000	4194
9500	4282
10000	4429
20000	6431
30000	8077
40000	9531
50000	10915
60000	12188
70000	13215
80000	14440
90000	15478
100000	16557

Anexo D (continuação)

Quantidades das substâncias tóxicas e as respectivas distâncias de referência (d_r)

amônia	
Massa (kg)	Distância (m)
10	0
50	0
100	0
150	0
200	0
250	0
300	0
350	11
400	12
450	14
500	15
550	16
600	17
650	18
700	19
750	21
800	22
850	23
900	24
950	25
1000	27
1125	29
1250	32
1375	34
1500	37
1625	39
1750	42
1875	44
2000	47
2500	56
3000	64
3500	71
4000	77
4500	83
5000	89
5500	95
6000	100
6500	105
7000	109
7500	114

amônia	
Massa (kg)	Distância (m)
8000	119
8500	124
9000	128
9500	132
10000	136
11000	143
12000	150
13000	157
14000	164
15000	171
16000	177
17000	184
18000	190
19000	196
20000	201
30000	253
40000	297
50000	337
60000	374
70000	408
80000	438
90000	468
100000	495
150000	614
200000	706
250000	783
300000	848
350000	905
400000	955
450000	1001
500000	1041

Anexo D (continuação)

Quantidades das substâncias tóxicas e as respectivas distâncias de referência (d_r)

brometo de metila	
Massa (kg)	Distância (m)
10	1
50	11
100	19
150	22
200	26
250	29
300	32
350	35
400	37
450	38
500	40
550	42
600	43
650	45
700	46
750	47
800	49
850	51
900	53
950	55
1000	55
1125	58
1250	60
1375	63
1500	65
1625	67
1750	69
1875	71
2000	73
2500	80
3000	86
3500	92
4000	96
4500	102
5000	108
5500	113
6000	118
6500	121
7000	124
7500	130

brometo de metila	
Massa (kg)	Distância (m)
8000	134
8500	138
9000	140
9500	146
10000	149
11000	155
12000	163
13000	167
14000	174
15000	181
16000	187
17000	192
18000	197
19000	202
20000	207
30000	238
40000	255
50000	293
60000	315
70000	377
80000	373
90000	390
100000	438
150000	516
200000	600
250000	670
300000	740
350000	798
400000	835
450000	874
500000	909

Anexo D (continuação)

Quantidades das substâncias tóxicas e as respectivas distâncias de referência (d_r)

cianeto de hidrogênio	
Massa (kg)	Distância (m)
10	55
50	102
100	134
150	162
200	179
250	194
300	217
350	226
400	242
450	256
500	269
550	283
600	295
650	300
700	315
750	330
800	330
850	343
900	344
950	345
1000	367
1125	367
1250	380
1375	406
1500	440
1625	467
1750	480
1875	494
2000	504
2500	532
3000	605
3500	640
4000	680
4500	726
5000	773
5500	798
6000	837
6500	869
7000	896
7500	919

cianeto de hidrogênio	
Massa (kg)	Distância (m)
8000	911
8500	952
9000	999
9500	1039
10000	1067
11000	1163
12000	1152
13000	1159
14000	1216
15000	1290
16000	1335
17000	1394
18000	1273
19000	1439
20000	1393
30000	1619
40000	2048
50000	2270
60000	2542
70000	2835
80000	2817
90000	2991
100000	3249
150000	4019
200000	4593
250000	5136
300000	5356
350000	6743
400000	7011
450000	6848
500000	6998

Anexo D (continuação)

Quantidades das substâncias tóxicas e as respectivas distâncias de referência (d_r)

cloreto de hidrogênio	
Massa (kg)	Distância (m)
10	4
50	11
100	16
150	16
200	21
250	26
300	29
350	32
400	34
450	37
500	38
550	39
600	41
650	44
700	45
750	47
800	48
850	49
900	50
950	52
1000	54
1125	55
1250	56
1375	57
1500	58
1625	62
1750	66
1875	68
2000	74
2500	83
3000	91
3500	93
4000	103
4500	107
5000	111
5500	122
6000	126
6500	129
7000	133
7500	137

cloreto de hidrogênio	
Massa (kg)	Distância (m)
8000	152
8500	156
9000	160
9500	163
10000	166
11000	176
12000	178
13000	202
14000	209
15000	220
16000	225
17000	230
18000	230
19000	235
20000	238
30000	300
40000	347
50000	405
60000	432
70000	465
80000	497
90000	515
100000	540
150000	651
200000	737
250000	967
300000	974
350000	982
400000	989
450000	1048
500000	1094

Anexo D (continuação)

Quantidades das substâncias tóxicas e as respectivas distâncias de referência (d_r)

cloro	
Massa (kg)	Distância (m)
10	23
50	45
100	59
150	69
200	77
250	84
300	90
350	95
400	101
450	106
500	110
550	114
600	119
650	122
700	126
750	129
800	133
850	136
900	140
950	142
1000	145
1125	153
1250	158
1375	166
1500	172
1625	177
1750	184
1875	189
2000	194
2500	214
3000	230
3500	248
4000	263
4500	275
5000	289
5500	299
6000	312
6500	325
7000	334
7500	346

cloro	
Massa (kg)	Distância (m)
8000	354
8500	362
9000	368
9500	379
10000	389
11000	404
12000	418
13000	434
14000	449
15000	464
16000	476
17000	485
18000	499
19000	513
20000	525
30000	619
40000	696
50000	767
60000	830
70000	888
80000	942
90000	972
100000	1012
150000	1211
200000	1386
250000	1519
300000	1663
350000	1766
400000	1869
450000	1973
500000	2080

Anexo D (continuação)

Quantidades das substâncias tóxicas e as respectivas distâncias de referência (d_r)

dióxido de enxofre	
Massa (kg)	Distância (m)
10	3
50	6
100	11
150	16
200	20
250	24
300	27
350	29
400	32
450	34
500	37
550	38
600	40
650	42
700	44
750	45
800	47
850	48
900	49
950	51
1000	52
1125	54
1250	58
1375	60
1500	63
1625	65
1750	67
1875	70
2000	72
2500	79
3000	85
3500	92
4000	97
4500	103
5000	108
5500	112
6000	116
6500	122
7000	125
7500	129

dióxido de enxofre	
Massa (kg)	Distância (m)
8000	132
8500	136
9000	140
9500	142
10000	147
11000	153
12000	159
13000	164
14000	170
15000	174
16000	180
17000	184
18000	190
19000	195
20000	199
30000	237
40000	268
50000	296
60000	319
70000	340
80000	360
90000	378
100000	395
150000	470
200000	530
250000	585
300000	634
350000	675
400000	710
450000	749
500000	781

Anexo D (continuação)

Quantidades das substâncias tóxicas e as respectivas distâncias de referência (d_r)

dióxido de nitrogênio	
Massa (kg)	Distância (m)
10	26
50	41
100	53
150	64
200	70
250	78
300	84
350	89
400	92
450	98
500	102
550	107
600	111
650	114
700	119
750	123
800	127
850	130
900	132
950	136
1000	141
1125	149
1250	157
1375	162
1500	169
1625	179
1750	185
1875	193
2000	197
2500	223
3000	241
3500	256
4000	274
4500	290
5000	304
5500	321
6000	338
6500	354
7000	367
7500	380

dióxido de nitrogênio	
Massa (kg)	Distância (m)
8000	392
8500	401
9000	408
9500	418
10000	441
11000	460
12000	477
13000	493
14000	506
15000	517
16000	540
17000	571
18000	597
19000	608
20000	624
30000	780
40000	902
50000	1019
60000	1094
70000	1192
80000	1271
90000	1367
100000	1446
150000	1767
200000	2013
250000	2254
300000	2528
350000	2657
400000	2913
450000	3095
500000	3262

Anexo D (continuação)

Quantidades das substâncias tóxicas e as respectivas distâncias de referência (d_r)

fluoreto de hidrogênio	
Massa (kg)	Distância (m)
10	1
50	24
100	35
150	43
200	49
250	54
300	58
350	62
400	66
450	69
500	72
550	75
600	78
650	81
700	83
750	86
800	88
850	90
900	93
950	95
1000	97
1125	102
1250	107
1375	111
1500	115
1625	119
1750	123
1875	126
2000	130
2500	142
3000	154
3500	165
4000	174
4500	184
5000	192
5500	201
6000	209
6500	214
7000	225
7500	230

fluoreto de hidrogênio	
Massa (kg)	Distância (m)
8000	236
8500	245
9000	249
9500	256
10000	261
11000	273
12000	284
13000	295
14000	305
15000	314
16000	322
17000	333
18000	340
19000	349
20000	354
30000	426
40000	482
50000	530
60000	580
70000	616
80000	657
90000	687
100000	722
150000	862
200000	973
250000	1085
300000	1176
350000	1258
400000	1331
450000	1392
500000	1465

Anexo D (continuação)

Quantidades das substâncias tóxicas e as respectivas distâncias de referência (d_r)

fosgênio	
Massa (kg)	Distância (m)
10	30
50	66
100	89
150	108
200	124
250	138
300	152
350	162
400	176
450	189
500	196
550	205
600	213
650	221
700	232
750	240
800	245
850	257
900	261
950	269
1000	276
1125	290
1250	306
1375	321
1500	336
1625	353
1750	359
1875	369
2000	382
2500	426
3000	465
3500	504
4000	540
4500	561
5000	593
5500	623
6000	654
6500	682
7000	705
7500	720

fosgênio	
Massa (kg)	Distância (m)
8000	746
8500	762
9000	792
9500	808
10000	828
11000	866
12000	900
13000	942
14000	983
15000	1015
16000	1041
17000	1067
18000	1111
19000	1132
20000	1169
30000	1433
40000	1666
50000	1780
60000	1855
70000	2222
80000	2973
90000	3099
100000	3195
150000	3888
200000	4402
250000	4803
300000	5226
350000	5502
400000	5824
450000	6144
500000	6389

Anexo D (continuação)

Quantidades das substâncias tóxicas e as respectivas distâncias de referência (d_r)

óxido de etileno	
Massa (kg)	Distância (m)
10	< 1
50	1
100	14
150	18
200	21
250	23
300	25
350	28
400	29
450	31
500	33
550	35
600	37
650	38
700	39
750	40
800	42
850	43
900	44
950	45
1000	46
1125	49
1250	51
1375	53
1500	55
1625	57
1750	60
1875	61
2000	63
2500	72
3000	77
3500	83
4000	87
4500	91
5000	96
5500	100
6000	105
6500	109
7000	113
7500	116

óxido de etileno	
Massa (kg)	Distância (m)
8000	120
8500	122
9000	126
9500	129
10000	132
11000	138
12000	145
13000	151
14000	154
15000	161
16000	165
17000	170
18000	177
19000	181
20000	187
30000	225
40000	263
50000	289
60000	316
70000	339
80000	361
90000	385
100000	404
150000	493
200000	548
250000	635
300000	697
350000	755
400000	798
450000	834
500000	890

Anexo D (continuação)

Quantidades das substâncias tóxicas e as respectivas distâncias de referência (d_r)

sulfeto de hidrogênio	
Massa (kg)	Distância (m)
10	33
50	62
100	80
150	92
200	104
250	112
300	121
350	128
400	135
450	141
500	148
550	153
600	158
650	163
700	169
750	173
800	178
850	180
900	187
950	192
1000	193
1125	204
1250	213
1375	223
1500	232
1625	237
1750	246
1875	254
2000	260
2500	286
3000	309
3500	328
4000	348
4500	365
5000	383
5500	394
6000	405
6500	423
7000	438
7500	452

sulfeto de hidrogênio	
Massa (kg)	Distância (m)
8000	459
8500	471
9000	485
9500	494
10000	498
11000	524
12000	542
13000	556
14000	580
15000	597
16000	609
17000	620
18000	639
19000	655
20000	670
30000	777
40000	862
50000	961
60000	1031
70000	1085
80000	1167
90000	1230
100000	1279
150000	1500
200000	1688
250000	1840
300000	1999
350000	2114
400000	2203
450000	2295
500000	2443

Anexo E (normativo)

Quantidades das substâncias inflamáveis e as respectivas distâncias de referência (d_r)

acetato de vinila (d = 932,3 kg.m ⁻³ a 25°C)	
Volume (m ³)	Distância (m)
5	2
10	3
20	5
30	5
40	6
50	7
60	7
70	8
80	9
90	9
100	10
200	13
300	16
400	18
500	21
600	22
700	24
800	25
900	27
1000	29
1500	35
2000	40
2500	44
3000	48
3500	52
4000	55
4500	59
5000	62
5500	64
6000	68
6500	70
7000	73
7500	75
8000	78
8500	80
9000	82
9500	84
10000	87
20000	122
30000	149
40000	172
50000	192
60000	211
70000	228
80000	243
90000	258
100000	273

acetona (d = 792,3 kg.m ⁻³ a 25°C)	
Volume (m ³)	Distância (m)
5	4
10	5
20	7
30	8
40	10
50	10
60	12
70	12
80	13
90	14
100	14
200	20
300	24
400	27
500	30
600	33
700	36
800	38
900	40
1000	42
1500	51
2000	58
2500	64
3000	71
3500	76
4000	81
4500	85
5000	90
5500	94
6000	98
6500	102
7000	106
7500	109
8000	112
8500	116
9000	119
9500	122
10000	125
20000	174
30000	212
40000	243
50000	271
60000	295
70000	320
80000	341
90000	361
100000	381

benzeno (d = 879 kg.m ⁻³ a 25°C)	
Volume (m ³)	Distância (m)
5	3
10	4
20	6
30	7
40	9
50	9
60	11
70	11
80	12
90	13
100	13
200	17
300	21
400	24
500	27
600	29
700	31
800	33
900	35
1000	37
1500	44
2000	51
2500	56
3000	61
3500	66
4000	70
4500	74
5000	78
5500	82
6000	85
6500	88
7000	91
7500	94
8000	97
8500	100
9000	103
9500	105
10000	108
20000	150
30000	181
40000	208
50000	232
60000	252
70000	273
80000	291
90000	307
100000	323

Anexo E (continuação)

Quantidades das substâncias inflamáveis e as respectivas distâncias de referência (d_r)

1,3 butadieno	
Massa (kg)	Distância (m)
10	12
50	21
100	26
150	30
200	33
250	35
300	38
350	40
400	42
450	43
500	45
550	46
600	48
650	49
700	50
750	51
800	53
850	54
900	55
950	55
1000	56
1125	59
1250	61
1375	63
1500	65
1625	67
1750	68
1875	70
2000	72
2500	77
3000	82
3500	87
4000	91
4500	94
5000	98
5500	101
6000	104
6500	107
7000	109
7500	112

1,3 butadieno	
Massa (kg)	Distância (m)
8000	114
8500	117
9000	119
9500	121
10000	124
11000	128
12000	131
13000	135
14000	139
15000	142
16000	145
17000	148
18000	150
19000	154
20000	156
30000	179
40000	197
50000	213
60000	227
70000	239
80000	250
90000	260
100000	269
150000	309
200000	341
250000	368
300000	391
350000	413
400000	432
450000	449
500000	465

Anexo E (continuação)

Quantidades das substâncias inflamáveis e as respectivas distâncias de referência (d_r)

butano	
Massa (kg)	Distância (m)
10	12
50	22
100	27
150	31
200	34
250	37
300	39
350	41
400	43
450	45
500	47
550	48
600	50
650	51
700	52
750	53
800	55
850	56
900	57
950	58
1000	59
1125	61
1250	63
1375	65
1500	67
1625	69
1750	71
1875	73
2000	74
2500	80
3000	85
3500	90
4000	94
4500	98
5000	101
5500	105
6000	108
6500	111
7000	113
7500	116

butano	
Massa (kg)	Distância (m)
8000	119
8500	121
9000	123
9500	126
10000	128
11000	132
12000	136
13000	140
14000	144
15000	147
16000	150
17000	153
18000	156
19000	159
20000	162
30000	187
40000	206
50000	222
60000	236
70000	249
80000	261
90000	271
100000	281
150000	323
200000	357
250000	385
300000	410
350000	432
400000	452
450000	471
500000	488

Anexo E (continuação)

Quantidades das substâncias inflamáveis e as respectivas distâncias de referência (d_r)

buteno	
Massa (kg)	Distância (m)
10	12
50	21
100	26
150	30
200	33
250	36
300	38
350	40
400	42
450	44
500	46
550	47
600	48
650	49
700	50
750	51
800	52
850	54
900	54
950	55
1000	56
1125	59
1250	61
1375	63
1500	64
1625	66
1750	68
1875	70
2000	71
2500	77
3000	82
3500	86
4000	90
4500	94
5000	97
5500	100
6000	103
6500	106
7000	109
7500	111

buteno	
Massa (kg)	Distância (m)
8000	114
8500	116
9000	118
9500	121
10000	123
11000	127
12000	130
13000	134
14000	137
15000	141
16000	144
17000	147
18000	150
19000	152
20000	155
30000	178
40000	196
50000	211
60000	225
70000	237
80000	248
90000	258
100000	268
150000	307
200000	339
250000	365
300000	389
350000	410
400000	429
450000	447
500000	463

Anexo E (continuação)

Quantidades das substâncias inflamáveis e as respectivas distâncias de referência (d.)

cloreto de vinila	
Massa (kg)	Distância (m)
10	9
50	16
100	21
150	23
200	26
250	28
300	29
350	31
400	33
450	34
500	35
550	36
600	37
650	38
700	39
750	40
800	41
850	42
900	43
950	44
1000	44
1125	47
1250	48
1375	49
1500	52
1625	53
1750	53
1875	54
2000	56
2500	60
3000	64
3500	68
4000	70
4500	74
5000	76
5500	78
6000	81
6500	83
7000	85
7500	87

cloreto de vinila	
Massa (kg)	Distância (m)
8000	89
8500	91
9000	93
9500	94
10000	96
11000	99
12000	102
13000	105
14000	108
15000	110
16000	113
17000	115
18000	117
19000	119
20000	121
30000	139
40000	153
50000	165
60000	176
70000	185
80000	193
90000	201
100000	208
150000	239
200000	263
250000	283
300000	301
350000	317
400000	332
450000	345
500000	358

Anexo E (continuação)

Quantidades das substâncias inflamáveis e as respectivas distâncias de referência (d_r)

dimetilamina	
Massa (kg)	Distância (m)
10	11
50	20
100	25
150	29
200	31
250	34
300	36
350	38
400	40
450	41
500	43
550	44
600	46
650	47
700	48
750	49
800	50
850	51
900	52
950	53
1000	54
1125	57
1250	59
1375	61
1500	62
1625	64
1750	66
1875	67
2000	69
2500	74
3000	79
3500	83
4000	87
4500	90
5000	93
5500	96
6000	99
6500	102
7000	105
7500	107

dimetilamina	
Massa (kg)	Distância (m)
8000	109
8500	112
9000	114
9500	116
10000	118
11000	122
12000	125
13000	129
14000	132
15000	135
16000	138
17000	141
18000	144
19000	146
20000	149
30000	171
40000	188
50000	203
60000	216
70000	227
80000	238
90000	248
100000	257
150000	294
200000	324
250000	350
300000	372
350000	392
400000	410
450000	427
500000	442

Anexo E (continuação)

Quantidades das substâncias inflamáveis e as respectivas distâncias de referência (d_r)

dissulfeto de carbono ($d = 1263,4 \text{ kg.m}^3$ a 25°C)	
Volume (m^3)	Distância (m)
5	6
10	8
20	11
30	13
40	16
50	17
60	18
70	20
80	21
90	22
100	23
200	32
300	39
400	44
500	49
600	54
700	58
800	62
900	65
1000	69
1500	83
2000	95
2500	106
3000	115
3500	124
4000	132
4500	141
5000	148
5500	154
6000	161
6500	167
7000	173
7500	179
8000	185
8500	190
9000	196
9500	201
10000	206
20000	289
30000	353
40000	406
50000	454
60000	496
70000	535
80000	572
90000	607
100000	640

etano	
Massa (kg)	Distância (m)
10	8
50	19
100	25
150	26
200	31
250	32
300	36
350	37
400	37
450	41
500	43
550	43
600	43
650	46
700	48
750	49
800	49
850	49
900	51
950	52
1000	53
1125	54
1250	58
1375	59
1500	60
1625	62
1750	65
1875	65
2000	66
2500	71
3000	76
3500	80
4000	85
4500	87
5000	92
5500	93
6000	97
6500	99
7000	103
7500	104

etano	
Massa (kg)	Distância (m)
8000	108
8500	109
9000	111
9500	114
10000	115
11000	120
12000	123
13000	126
14000	130
15000	132
16000	135
17000	138
18000	141
19000	143
20000	145
30000	166
40000	183
50000	198
60000	210
70000	221
80000	231
90000	241
100000	250
150000	286
200000	317
250000	341
300000	362
350000	383
400000	399
450000	414
500000	430

Anexo E (continuação)

Quantidades das substâncias inflamáveis e as respectivas distâncias de referência (d_r)

etanol (d = 790,3 kg.m ⁻³ a 25°C)		etileno		etileno	
Volume (m ³)	Distância (m)	Massa (kg)	Distância (m)	Massa (kg)	Distância (m)
5	0	10	11	8000	118
10	0	50	22	8500	121
20	2	100	27	9000	123
30	3	150	31	9500	126
40	3	200	34	10000	128
50	3	250	37	11000	132
60	4	300	40	12000	136
70	4	350	41	13000	140
80	5	400	44	14000	143
90	5	450	46	15000	146
100	5	500	48	16000	149
200	7	550	49	17000	153
300	8	600	50	18000	157
400	9	650	51	19000	160
500	10	700	53	20000	162
600	11	750	54	30000	186
700	12	800	55	40000	205
800	13	850	56	50000	221
900	14	900	57	60000	235
1000	14	950	58	70000	247
1500	17	1000	59	80000	258
2000	20	1125	61	90000	269
2500	22	1250	64	100000	279
3000	25	1375	66	150000	319
3500	26	1500	68	200000	351
4000	28	1625	70	250000	374
4500	29	1750	71	300000	398
5000	31	1875	73	350000	419
5500	33	2000	75	400000	438
6000	34	2500	81	450000	460
6500	35	3000	85	500000	477
7000	37	3500	89		
7500	38	4000	93		
8000	39	4500	97		
8500	40	5000	101		
9000	41	5500	105		
9500	43	6000	108		
10000	43	6500	110		
20000	60	7000	114		
30000	73	7500	117		
40000	84				
50000	94				
60000	102				
70000	110				
80000	118				
90000	125				
100000	131				

Anexo E (continuação)

Quantidades das substâncias inflamáveis e as respectivas distâncias de referência (d_r)

GLP	
Massa (kg)	Distância (m)
10	12
50	20
100	26
150	29
200	32
250	35
300	36
350	39
400	41
450	42
500	44
550	45
600	47
650	48
700	49
750	50
800	51
850	53
900	53
950	54
1000	55
1125	58
1250	60
1375	62
1500	64
1625	65
1750	67
1875	69
2000	70
2500	75
3000	80
3500	84
4000	88
4500	92
5000	95
5500	98
6000	101
6500	104
7000	107
7500	109

GLP	
Massa (kg)	Distância (m)
8000	112
8500	113
9000	116
9500	118
10000	120
11000	124
12000	127
13000	131
14000	135
15000	138
16000	141
17000	144
18000	146
19000	149
20000	152
30000	174
40000	192
50000	207
60000	220
70000	232
80000	243
90000	252
100000	262
150000	300
200000	331
250000	357
300000	380
350000	400
400000	419
450000	436
500000	452

Anexo E (continuação)

Quantidades das substâncias inflamáveis e as respectivas distâncias de referência (d_r)

n - heptano ($d = 681,5 \text{ kg.m}^{-3}$ a 25°C)	
Volume (m^3)	Distância (m)
5	3
10	4
20	4
30	6
40	6
50	7
60	8
70	8
80	8
90	9
100	9
200	13
300	15
400	17
500	19
600	21
700	23
800	24
900	25
1000	26
1500	32
2000	36
2500	41
3000	44
3500	48
4000	51
4500	54
5000	57
5500	59
6000	61
6500	64
7000	67
7500	69
8000	71
8500	73
9000	75
9500	77
10000	79
20000	109
30000	133
40000	152
50000	169
60000	185
70000	199
80000	213
90000	225
100000	237

n - hexano ($d = 656,0 \text{ kg.m}^{-3}$ a 25°C)	
Volume (m^3)	Distância (m)
5	4
10	6
20	9
30	10
40	11
50	13
60	13
70	15
80	15
90	16
100	17
200	23
300	27
400	31
500	35
600	38
700	41
800	43
900	46
1000	48
1500	58
2000	67
2500	74
3000	81
3500	87
4000	92
4500	98
5000	102
5500	107
6000	111
6500	116
7000	120
7500	124
8000	128
8500	131
9000	135
9500	138
10000	142
20000	196
30000	238
40000	273
50000	303
60000	331
70000	358
80000	381
90000	403
100000	424

Anexo E (continuação)

Quantidades das substâncias inflamáveis e as respectivas distâncias de referência (d_r)

hidrogênio	
Massa (kg)	Distância (m)
10	18
50	30
100	38
150	43
200	48
250	51
300	54
350	57
400	60
450	62
500	65
550	67
600	69
650	71
700	72
750	74
800	76
850	77
900	79
950	80
1000	81
1125	85
1250	88
1375	91
1500	93
1625	96
1750	98
1875	100
2000	103
2500	111
3000	117
3500	123
4000	129
4500	134
5000	139
5500	144
6000	148
6500	152
7000	156
7500	159

hidrogênio	
Massa (kg)	Distância (m)
8000	163
8500	166
9000	169
9500	172
10000	175
11000	181
12000	186
13000	191
14000	196
15000	201
16000	205
17000	209
18000	214
19000	217
20000	221
30000	253
40000	279
50000	300
60000	318
70000	335
80000	351
90000	364
100000	378
150000	433
200000	476
250000	513
300000	545
350000	574
400000	600
450000	625
500000	647

Anexo E (continuação)

Quantidades das substâncias inflamáveis e as respectivas distâncias de referência (d.)

isobutanol (d = 801,9 kg.m ⁻³ a 25°C)	
Volume (m ³)	Distância (m)
5	0
10	0
20	0
30	0
40	0
50	0
60	0
70	0
80	0
90	0
100	0
200	0
300	0
400	0
500	0
600	0
700	3
800	3
900	3
1000	3
1500	4
2000	4
2500	5
3000	5
3500	6
4000	6
4500	6
5000	7
5500	7
6000	8
6500	8
7000	8
7500	8
8000	9
8500	9
9000	9
9500	10
10000	10
20000	14
30000	16
40000	19
50000	21
60000	22
70000	24
80000	26
90000	27
100000	28

isopropanol (d = 787 kg.m ⁻³ a 25°C)	
Volume (m ³)	Distância (m)
5	2
10	2
20	3
30	4
40	4
50	4
60	5
70	6
80	6
90	6
100	6
200	9
300	11
400	12
500	14
600	15
700	16
800	17
900	18
1000	19
1500	23
2000	26
2500	29
3000	31
3500	34
4000	36
4500	38
5000	40
5500	42
6000	44
6500	45
7000	47
7500	49
8000	50
8500	52
9000	53
9500	55
10000	56
20000	78
30000	94
40000	103
50000	117
60000	130
70000	137
80000	149
90000	155
100000	165

Anexo E (continuação)

Quantidades das substâncias inflamáveis e as respectivas distâncias de referência (d_r)

metano	
Massa (kg)	Distância (m)
10	8
50	18
100	23
150	28
200	29
250	34
300	34
350	34
400	39
450	39
500	39
550	42
600	44
650	44
700	44
750	44
800	49
850	49
900	49
950	49
1000	49
1125	54
1250	55
1375	58
1500	60
1625	60
1750	64
1875	64
2000	65
2500	70
3000	75
3500	80
4000	82
4500	85
5000	89
5500	92
6000	94
6500	98
7000	100
7500	103

metano	
Massa (kg)	Distância (m)
8000	105
8500	106
9000	110
9500	110
10000	113
11000	116
12000	121
13000	123
14000	126
15000	130
16000	132
17000	135
18000	138
19000	140
20000	144
30000	165
40000	181
50000	195
60000	206
70000	217
80000	227
90000	236
100000	245
150000	281
200000	308
250000	332
300000	354
350000	372
400000	390
450000	405
500000	420

metanol (d = 794,4 kg.m ⁻³ a 25°C)	
Volume (m ³)	Distância (m)
5	2
10	2
20	3
30	4
40	4
50	5
60	6
70	6
80	6
90	6
100	7
200	10
300	11
400	13
500	14
600	15
700	16
800	18
900	18
1000	19
1500	23
2000	27
2500	29
3000	32
3500	34
4000	36
4500	38
5000	40
5500	42
6000	43
6500	45
7000	47
7500	48
8000	50
8500	51
9000	52
9500	54
10000	55
20000	75
30000	91
40000	103
50000	115
60000	125
70000	134
80000	142
90000	150
100000	158

Anexo E (continuação)

Quantidades das substâncias inflamáveis e as respectivas distâncias de referência (d_r)

metilamina	
Massa (kg)	Distância (m)
10	8
50	14
100	18
150	20
200	22
250	24
300	26
350	27
400	28
450	29
500	30
550	31
600	32
650	33
700	34
750	35
800	35
850	36
900	37
950	38
1000	38
1125	40
1250	41
1375	43
1500	44
1625	45
1750	46
1875	47
2000	48
2500	52
3000	55
3500	58
4000	61
4500	63
5000	65
5500	67
6000	69
6500	71
7000	73
7500	75

metilamina	
Massa (kg)	Distância (m)
8000	76
8500	78
9000	80
9500	81
10000	82
11000	85
12000	88
13000	90
14000	92
15000	94
16000	96
17000	98
18000	100
19000	102
20000	104
30000	119
40000	131
50000	141
60000	150
70000	158
80000	165
90000	171
100000	177
150000	203
200000	224
250000	241
300000	256
350000	269
400000	282
450000	293
500000	303

n - octano (d = 703,1 kg.m ⁻³ a 25°C)	
Volume (m ³)	Distância (m)
5	0
10	2
20	2
30	2
40	3
50	4
60	4
70	4
80	4
90	4
100	4
200	6
300	8
400	9
500	10
600	11
700	11
800	12
900	16
1000	13
1500	16
2000	19
2500	21
3000	23
3500	24
4000	25
4500	27
5000	29
5500	30
6000	31
6500	33
7000	33
7500	35
8000	36
8500	37
9000	38
9500	39
10000	40
20000	55
30000	67
40000	77
50000	86
60000	94
70000	101
80000	108
90000	114
100000	120

Anexo E (continuação)

Quantidades das substâncias inflamáveis e as respectivas distâncias de referência (d_r)

óxido de propileno (d = 829,6 kg.m ⁻³ a 25°C)	
Volume (m ³)	Distância (m)
5	8
10	11
20	15
30	18
40	21
50	23
60	25
70	27
80	29
90	30
100	32
200	44
300	53
400	61
500	68
600	74
700	79
800	85
900	89
1000	94
1500	113
2000	131
2500	146
3000	159
3500	179
4000	189
4500	199
5000	207
5500	214
6000	223
6500	232
7000	240
7500	249
8000	256
8500	264
9000	272
9500	279
10000	286
20000	403
30000	492
40000	567
50000	634
60000	694
70000	751
80000	803
90000	853
100000	897

n - pentano (d = 626 kg.m ⁻³ a 25°C)	
Volume (m ³)	Distância (m)
5	9
10	12
20	16
30	19
40	22
50	25
60	27
70	29
80	30
90	32
100	33
200	46
300	56
400	64
500	71
600	78
700	83
800	89
900	94
1000	98
1500	119
2000	136
2500	152
3000	166
3500	178
4000	189
4500	201
5000	211
5500	221
6000	229
6500	238
7000	247
7500	255
8000	263
8500	271
9000	279
9500	286
10000	293
20000	409
30000	497
40000	573
50000	637
60000	699
70000	753
80000	805
90000	853
100000	899

Anexo E (continuação)

Quantidades das substâncias inflamáveis e as respectivas distâncias de referência (d.)

propano	
Massa (kg)	Distância (m)
10	8
50	19
100	25
150	29
200	31
250	34
300	36
350	37
400	40
450	41
500	42
550	44
600	46
650	47
700	47
750	49
800	51
850	52
900	52
950	53
1000	54
1125	57
1250	58
1375	60
1500	63
1625	64
1750	65
1875	68
2000	68
2500	73
3000	78
3500	82
4000	86
4500	90
5000	93
5500	96
6000	98
6500	101
7000	104
7500	106

propano	
Massa (kg)	Distância (m)
8000	108
8500	111
9000	113
9500	115
10000	117
11000	121
12000	125
13000	128
14000	133
15000	135
16000	139
17000	141
18000	144
19000	147
20000	149
30000	171
40000	188
50000	203
60000	216
70000	228
80000	238
90000	247
100000	257
150000	295
200000	324
250000	349
300000	372
350000	391
400000	410
450000	426
500000	442

Anexo E (continuação)

Quantidades das substâncias inflamáveis e as respectivas distâncias de referência (d_r)

propeno	
Massa (kg)	Distância (m)
10	8
50	20
100	26
150	29
200	32
250	34
300	37
350	38
400	40
450	42
500	43
550	45
600	46
650	47
700	48
750	49
800	51
850	52
900	53
950	53
1000	54
1125	57
1250	59
1375	61
1500	63
1625	65
1750	66
1875	68
2000	70
2500	74
3000	79
3500	83
4000	87
4500	90
5000	94
5500	97
6000	100
6500	102
7000	105
7500	107

propeno	
Massa (kg)	Distância (m)
8000	110
8500	112
9000	114
9500	117
10000	118
11000	122
12000	126
13000	129
14000	133
15000	136
16000	139
17000	141
18000	144
19000	147
20000	149
30000	171
40000	189
50000	203
60000	216
70000	228
80000	238
90000	248
100000	257
150000	294
200000	324
250000	349
300000	372
350000	392
400000	410
450000	426
500000	441

tolueno (d = 868,5 kg.m ⁻³ a 25°C)	
Volume (m ³)	Distância (m)
5	2
10	2
20	3
30	4
40	4
50	4
60	5
70	5
80	6
90	6
100	6
200	9
300	10
400	12
500	13
600	14
700	15
800	17
900	17
1000	18
1500	22
2000	25
2500	28
3000	30
3500	33
4000	35
4500	37
5000	39
5500	41
6000	43
6500	44
7000	46
7500	48
8000	49
8500	50
9000	52
9500	53
10000	54
20000	76
30000	92
40000	106
50000	118
60000	129
70000	139
80000	148
90000	157
100000	165

Anexo E (continuação)

Quantidades das substâncias inflamáveis e as respectivas distâncias de referência (d_r)

trimetilamina (d = 729 kg.m ⁻³ a 25°C)	
Volume (m ³)	Distância (m)
5	2
10	4
20	5
30	6
40	7
50	8
60	8
70	9
80	10
90	10
100	11
200	15
300	17
400	20
500	22
600	24
700	26
800	28
900	29
1000	30
1500	37
2000	42
2500	47
3000	51
3500	55
4000	59
4500	62
5000	66
5500	68
6000	72
6500	74
7000	77
7500	80
8000	82
8500	84
9000	87
9500	89
10000	91
20000	127
30000	154
40000	177
50000	198
60000	216
70000	233
80000	249
90000	264
100000	277

trimetilamina	
Massa (kg)	Distância (m)
10	9
50	15
100	19
150	22
200	24
250	26
300	28
350	29
400	30
450	31
500	33
550	34
600	35
650	36
700	36
750	37
800	38
850	39
900	40
950	40
1000	41
1125	43
1250	44
1375	46
1500	47
1625	48
1750	50
1875	51
2000	52
2500	56
3000	59
3500	62
4000	65
4500	68
5000	70
5500	73
6000	75
6500	77
7000	79
7500	80

trimetilamina	
Massa (kg)	Distância (m)
8000	82
8500	84
9000	85
9500	87
10000	89
11000	91
12000	94
13000	97
14000	99
15000	101
16000	104
17000	106
18000	108
19000	110
20000	112
30000	128
40000	141
50000	151
60000	161
70000	169
80000	177
90000	184
100000	191
150000	218
200000	240
250000	259
300000	275
350000	290
400000	303
450000	315
500000	326

Anexo E (continuação)

Quantidades das substâncias inflamáveis e as respectivas distâncias de referência (d_r)

m-xileno (d = 864 kg.m ⁻³ a 25°C)	
Volume (m ³)	Distância (m)
5	0
10	0
20	0
30	0
40	0
50	0
60	0
70	0
80	0
90	0
100	0
200	2
300	3
400	3
500	3
600	3
700	4
800	4
900	5
1000	5
1500	6
2000	7
2500	8
3000	8
3500	9
4000	10
4500	10
5000	11
5500	12
6000	12
6500	12
7000	13
7500	14
8000	14
8500	14
9000	14
9500	15
10000	15
20000	21
30000	26
40000	30
50000	33
60000	37
70000	39
80000	41
90000	47
100000	49

.../Anexo F

Anexo F (normativo)
Modelo de Declaração de Responsabilidade

Declaração de responsabilidade

Responsável Legal pelo empreendimento _____, em conjunto com **Responsável Técnico pelo estudo**, declaram, sob as penas da lei e de responsabilização administrativa, civil e penal¹, que todas as informações prestadas à Secretaria de Meio Ambiente da Cidade (SMAC), nos estudos ora apresentados (***descreminar***), são verdadeiras e contemplam integralmente as exigências estabelecidas pela SMAC e se encontram em consonância com o que determina o Manual SMAC XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX - método para decisão e termos de referência.

Declaram, outrossim, estar cientes de que os documentos e laudos que subsidiam as informações prestadas à SMAC poderão ser requisitados a qualquer momento, durante ou após a implementação do procedimento previsto no documento apresentado, para fins de auditoria.

Data.

Responsável Técnico

Nome

RG

¹O artigo 69-A da Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 (Lei de Crimes Ambientais) estabelece: “Elaborar ou apresentar, no licenciamento, concessão florestal ou qualquer outro procedimento administrativo, estudo, laudo ou relatório ambiental total ou parcialmente falso ou enganoso, inclusive por omissão:

Pena - reclusão, de 3 (três) a 6 (seis) anos, e multa.

§ 1º Se o crime é culposo: Pena - detenção, de 1 (um) a 3 (três) anos.

§ 2º A pena é aumentada de 1/3 (um terço) a 2/3 (dois terços), se há dano significativo ao meio ambiente, em decorrência do uso da informação falsa, incompleta ou enganosa”.

Anexo G (normativo)

Dados dos Setores Censitários

G.1 Dados necessários para análise

- Mapa demográfico sobre Base Cartográfica com dados censitários locais atualizados;
- Imagem aérea do ano do dado censitário em escala 1:10.000. Caso não haja disponibilidade de imagem aérea nessa escala, utilizar a escala 1:25.000 ou maior;
- Série histórica censitária (ao menos duas com intervalo de 5 anos para observação de tendências).

G.2 Método demográfico para áreas residenciais

- Apresentar mapas com ajuste dos setores censitários às imagens aéreas, sendo que, para cada informação de Censo utilizada, deverá ser apresentado um mapa demográfico;
- Identificar os setores censitários envolvidos frente à magnitude do maior cenário accidental;
- Tipificar os setores censitários quanto ao uso e ocupação do solo;
- Atualizar a tipificação dos setores censitários em função da imagem aérea atual e verificação de campo;
- Estimar a população para as regiões censitárias de interesse para o ano da projeção requerida (projeções são necessárias devido ao número reduzido de Censos);
- Áreas desocupadas ou com ocupação muito distinta da característica de ocupação do setor analisado devem ser seccionadas e tratadas independentemente, fazendo uma projeção da população para os novos setores (processo corretivo da densidade de um setor censitário muito grande, porém com população não uniformemente distribuída);
- Seccionar os setores censitários tendo em vista o limite da maior repercussão accidental, para ajuste da população envolvida no maior acidente.

G.3 Método demográfico para áreas especiais

- Identificar indústrias, centros comerciais, hospitais, escolas, estações rodoviárias e ferroviárias, vias estruturantes, entre outros pontos de concentração humana, por meio de imagem e de trabalho de campo;
- Nomear as fontes dos dados populacionais para as áreas especiais;
- Especificar o método para determinação da população de cada área especial.

Nota: Dados censitários estão disponíveis para consulta pública no sítio do IBGE. Poderão ser utilizadas para o estudo quaisquer imagens aéreas, dependendo de sua qualidade e atualização. Contudo a verificação dos dados em campo é fundamental.

.../ Anexo H

Anexo H (informativo)

Técnicas de identificação de perigos

A seguir são apresentadas de forma breve as técnicas Análise Preliminar de Perigos (APP), Análise de Perigos e Operabilidade (HazOp) e *What if*.

H.1 Análise Preliminar de Perigos (APP)

Do inglês *Preliminary Hazard Analysis (PHA)*, é uma técnica que teve origem no programa de segurança militar do Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América, tendo por objetivo identificar os perigos presentes numa instalação que podem ser ocasionados por eventos indesejáveis. Esta técnica pode ser utilizada em instalações na fase inicial de desenvolvimento, nas etapas de projeto ou mesmo naquelas já em operação, permitindo, nesse caso, a realização de uma revisão dos aspectos de segurança existentes.

A APP deve focalizar todos os eventos perigosos cujas falhas tenham origem na instalação em análise, contemplando tanto as falhas intrínsecas de equipamentos, de instrumentos e de materiais, como erros humanos. Na APP devem ser identificados os perigos, as causas e as consequências, as categorias de severidade correspondentes (**quadro 28**), bem como as observações e recomendações pertinentes aos perigos identificados, sendo que os resultados devem ser apresentados em planilha padronizada, como a indicada no **quadro 29**.

Quadro 28 – APP – Categorias de severidade

Categoria de severidade	Efeitos
I – Desprezível	Nenhum dano ou dano não mensurável.
II – Marginal	Danos irrelevantes ao meio ambiente e à comunidade externa.
III – Crítica	Possíveis danos ao meio ambiente devido a liberações de substâncias químicas tóxicas ou inflamáveis, alcançando áreas externas à instalação. Pode provocar lesões de gravidade moderada na população externa ou impactos ambientais com reduzido tempo de recuperação.
IV - Catastrófica	Impactos ambientais devido a liberações de substâncias químicas, tóxicas ou inflamáveis, atingindo áreas externas às instalações. Provoca mortes ou lesões graves na população externa ou impactos ao meio ambiente com tempo de recuperação elevado.

Quadro 29 – Modelo de planilha para APP

Perigo	Causa	Efeito	Categoria de severidade	Observações e recomendações

H.2 Análise de Perigos e Operabilidade (HazOp)

É uma técnica para identificação de perigos projetada para estudar possíveis desvios (anomalias) de projeto ou na operação de uma instalação. O HazOp consiste na realização de uma revisão da instalação, a fim de identificar os perigos potenciais e/ou problemas de operabilidade, por meio de uma série de reuniões, durante as quais uma equipe multidisciplinar discute metodicamente o projeto da instalação. O líder da equipe orienta o grupo por meio de um conjunto de palavras-

guias que focalizam os desvios dos parâmetros estabelecidos para o processo ou operação em análise.

Essa análise requer a divisão da planta em pontos de estudo (nós) entre os quais existem componentes como bombas, vasos e trocadores de calor, entre outros.

A equipe deve começar o estudo pelo início do processo, prosseguindo a análise no sentido do seu fluxo natural, aplicando as palavras-guias em cada nó de estudo, possibilitando assim a identificação dos possíveis desvios nesses pontos. Em seguida, deve identificar as causas de cada desvio e, caso surja uma consequência de interesse, avaliar os sistemas de proteção para determinar se estes são suficientes. O procedimento é repetido até que cada seção do processo e equipamento de interesse tenha sido analisada. Alguns exemplos de palavras-guias, parâmetros de processo e desvios estão apresentados nos **quadros 30 e 31**.

Quadro 30 – Palavras-guias e seus significados

Palavra-guia	Significado
Não	Negação da intenção de projeto
Menor	Diminuição quantitativa
Maior	Aumento quantitativo
Parte de	Diminuição qualitativa
Bem como	Aumento qualitativo
Reverso	Oposto lógico da intenção de projeto
Outro que	Substituição completa

Quadro 31 – Parâmetros, palavras-guias e desvios

Parâmetro	Palavra-guia	Desvio
Fluxo	Não	Sem fluxo
	Menor	Menos fluxo
	Maior	Mais fluxo
	Reverso	Fluxo reverso
Pressão	Menor	Pressão baixa
	Maior	Pressão alta
Temperatura	Menor	Baixa temperatura
	Maior	Alta temperatura
Nível	Menor	Nível baixo
	Maior	Nível alto

Os principais resultados obtidos do HazOp são:

- Identificação de desvios que conduzem a eventos indesejáveis;
- Identificação das causas que podem ocasionar desvios do processo;
- Avaliação das possíveis consequências geradas por desvios operacionais;
- Recomendações para a prevenção de eventos perigosos ou redução de possíveis consequências.

O **quadro 32** apresenta um modelo de planilha utilizada para o desenvolvimento do HazOp.

Quadro 32 – Modelo de planilha para HazOp

Palavra-Guia	Parâmetro	Desvio	Causas	Efeitos	Observações e recomendações

H.3 *What if* (E se?)

O objetivo é identificar possíveis sequências acidentais e identificar perigos, consequências e, eventualmente, sugestões para a redução do risco. Pode ser usada para plantas existentes, durante o estágio de desenvolvimento do processo, no estágio de pré *start-up* e no exame de propostas de mudanças nessas plantas.

A técnica *What if* (E se ?) inclui as seguintes etapas:

- Definição dos limites do estudo;
- Obtenção das informações necessárias;
- Definição da equipe;
- Condução das revisões;
- Anotação dos resultados.

O conceito da análise E se? é conduzir uma minuciosa e sistemática avaliação do processo ou operação com perguntas que começam com E se ? Essa avaliação pode incluir construções, sistemas de energia, matérias-primas, produtos, estocagem, manuseio de material, localização no meio ambiente, procedimentos operacionais, métodos de trabalho, métodos de gerenciamento, segurança da planta, entre outros. Listam-se as possíveis hipóteses acidentais, suas consequências e eventuais recomendações para redução do risco.

As perguntas basicamente sugerem um evento iniciador e eventualmente uma das falhas que possa ocorrer da sequência de um evento indesejável. Por exemplo, uma pergunta pode ser: e se a matéria-prima estiver na concentração errada?

O grupo então tentará determinar como o processo poderá responder, por exemplo: se a concentração de ácido dobrar, a reação não poderá ser controlada e resultará numa rápida liberação de calor. O grupo poderá então recomendar, por exemplo, a instalação de um sistema de bloqueio de emergência ou a analisar previamente a concentração da matéria-prima.

As perguntas e respostas, incluindo os perigos, consequências e recomendações são todas registradas em planilha. As informações necessárias para a técnica E se? são:

I. Fluxograma de Processo

1. Condições de Operação

- a) material de processo usado, incluindo propriedades físicas
- b) processo químico e termodinâmico

2. Descrição dos equipamentos

II. Planta de Localização

III. Desenhos de Processo e Instrumentação

1. Controles

- a) Dispositivos de monitoramento contínuo
- b) Alarmes e suas funções

2. Instrumentação

- a) gráficos
- b) medidores
- c) monitores

IV. Operação

1. Responsabilidade e deveres do operador

2. Sistemas de comunicação

3. Procedimentos

- a) manutenção preventiva
- b) licença de trabalhos a quente
- c) entrada em tanques
- d) demissões/admissões
- e) emergência

O **quadro 33** apresenta um exemplo de planilha utilizada para o desenvolvimento da técnica.

Quadro 33 – Exemplo de planilha para E se?

E se?	Consequência/perigo	Recomendação	Responsável	Prazo para conclusão
A matéria-prima estiver na concentração errada?	Se a concentração de ácido dobrar a reação não poderá ser controlada e resultará em uma rápida liberação de calor.	a) instalar um sistema de bloqueio de emergência; b) analisar previamente a concentração da matéria-prima.		

.../Anexo I

Anexo I (informativo)

Modelo de planilha de identificação de perigos para empreendimentos pontuais

Sistema: Carregamento de GLP
Elaboração: John, Paul e Michael

Data: 30.03.2011

Folha: 3/10

Documento ref.	Perigo	Causa	Consequência	Danos externos?	Proteções existentes	Recomendações	Hipótese acidental
Fluxograma 10-30	Vazamento de GLP líquido devido à ruptura total (100% do diâmetro) do mangote de duas polegadas desde o caminhão-tanque até o reservatório com falha no sistema de proteção.	Ruptura do mangote; Falha no engate rápido.	Jato de fogo; Incêndio de nuvem; Explosão de nuvem.	S	Muro ao redor da área de carregamento; Detector de gás inflamável intertravado com a válvula VB 26.	Substituição do mangote por braços de carregamento.	H11
	Vazamento de GLP líquido devido à ruptura parcial ^(a) do mangote de duas polegadas desde o caminhão-tanque até o reservatório com falha no sistema de proteção.	Ruptura parcial do mangote.	Jato de fogo; Incêndio de nuvem; Explosão de nuvem.	S			H12
	Vazamento de GLP líquido devido à ruptura total (100% do diâmetro) do mangote de duas polegadas desde o caminhão-tanque até o reservatório sem falha no sistema de proteção.	Ruptura do mangote; Falha no engate rápido.	Jato de fogo; Incêndio de nuvem; Explosão de nuvem.	N			-
	Vazamento de GLP líquido devido à ruptura parcial ^(a) do mangote de duas polegadas desde o caminhão-tanque até o reservatório sem falha no sistema de proteção.	Ruptura parcial do mangote.	Jato de fogo; Incêndio de nuvem; Explosão de nuvem.	N			-

^(a) Ruptura parcial de linha, por exemplo, 10% do diâmetro, limitada a 50mm, conforme RIVM (2009) ou tamanhos segundo API (2008)

.../Anexo J

Anexo J (informativo)

Modelo de planilha de identificação de perigos para dutos

Sistema: Instalação do sistema de distribuição de gás natural São Paulo
Elaboração: Fulano, Cícrono e Beltrano

Data: 30.03.2011

Folha: 5/12

Documento ref.	Perigo	Ponto notável	Causa	Consequência	Proteções existentes	Recomendações	Hipótese acidental
Fotos aéreas de 01/25 a 08/25 (anexo I) e Desenho AB-123 (anexo II)	Grande vazamento de gás natural, 100% do diâmetro do duto de aço carbono de 18" e 35 bar de pressão, desde o <i>city gate</i> até o km 35 (dados da estação meteorológica x)	- Aglomerado populacional nos km 12, 17 e 20; - Córrego Fulaninho no km 15; - Linha de alta tensão no km 13 e 18.	- interferência externa; - defeito de construção/falha de material; - corrosão; - movimentação do solo; - trepanação; - outros.	- bola de fogo - jato de fogo	- proteção catódica em todo o sistema; - sinalização aérea e enterrada.	- placas de concreto nos trechos com aglomerado populacional nos km 12, 17 e 20 e aprofundamento do duto a 2m.	H21
	Médio vazamento de gás natural, 20% do diâmetro do duto de aço carbono de 18" e 35 bar de pressão, desde o <i>city gate</i> até o km 35 (dados da estação meteorológica x)			- jato de fogo			H22
	Pequeno vazamento de gás natural, 5% do diâmetro do duto de aço carbono de 18" e 35 bar de pressão, desde o <i>city gate</i> até o km 35 (dados da estação meteorológica x)			- jato de fogo			H23

Sistema: Regularização do sistema de transmissão de derivados de petróleo SP
Elaboração: Fulano, Cícrono e Beltrano

Data: 30.03.2011

Folha: 7/14

Documento ref.	Perigo	Ponto notável	Causa	Consequência	Proteções existentes	Recomendações	Hipótese acidental
Foto aérea 05/08 e Perfil hidráulico 02	Grande vazamento de gasolina, 100% do diâmetro do duto de aço carbono de 8" e 17 bar de pressão, desde o km 85 até o km 110 (dados da estação meteorológica y)	- Erosão no km 93; - Rio Fulanão no km 106.	- falha mecânica; - falha operacional; - corrosão e fadiga; - fenômenos naturais; - ação de terceiros;	- incêndio de poça; - explosão de nuvem de vapor; - incêndio de nuvem de vapor.	- proteção catódica em todo o sistema; - sinalização aérea e enterrada; - válvulas de bloqueio na travessia do Rio Fulanão.	- construir contenção para prevenir erosões; - adequar os equipamentos de combate à poluição em rios; - implantar <i>software</i> de detecção de vazamento.	H39
	Médio vazamento de gasolina, 20% do diâmetro do duto de aço carbono de 8" e 17 bar de pressão, desde o km 85 até o km 110 (dados da estação meteorológica y)		- danos acidentais, intencionais e incidentais.	- incêndio de poça; - explosão de nuvem de vapor; - incêndio de nuvem de vapor.			H40
	Pequeno vazamento de gasolina, 5% do diâmetro do duto de aço carbono de 8" e 17 bar de pressão, desde o km 85 até o km 110 (dados da estação meteorológica y)			- incêndio de poça; - explosão de nuvem de vapor; - incêndio de nuvem de vapor.			H41

.../Anexo K

Anexo K (informativo)

Modelo de planilha de hipóteses acidentais consolidadas para empreendimentos pontuais

Nº	Descrição da hipótese acidental	Instalação
H11	Vazamento de GLP líquido devido à ruptura total (100% do diâmetro) do mangote de duas polegadas, desde o caminhão-tanque até o reservatório com falha no sistema de proteção	Carregamento de GLP
H12	Vazamento de GLP líquido devido à ruptura parcial do mangote de duas polegadas, desde o caminhão-tanque até o reservatório, com falha no sistema de proteção	

.../Anexo L

Anexo L (informativo)

Modelo de planilha de hipóteses acidentais consolidadas para dutos

Nº	Descrição da hipótese acidental
H21	Grande vazamento de gás natural, 100% do diâmetro do duto de aço carbono de 18" e 35 bar de pressão, desde o <i>city gate</i> até o km 35 (estação meteorológica x)
H22	Médio vazamento de gás natural, 20% do diâmetro do duto de aço carbono de 18" e 35 bar de pressão, desde o <i>city gate</i> até o km 35 (estação meteorológica x)
H23	Pequeno vazamento de gás natural, 5% do diâmetro do duto de aço carbono de 18" e 35 bar de pressão, desde o <i>city gate</i> até o km 35 (estação meteorológica x)
.	.
.	.
.	.
H39	Grande vazamento de gasolina, 100% do diâmetro do duto de aço carbono de 8" e 17 bar de pressão, desde o km 85 até o km 110 (estação meteorológica y)
H40	Médio vazamento de gasolina, 20% do diâmetro do duto de aço carbono de 8" e 17 bar de pressão, desde o km 85 até o km 110 (estação meteorológica y)
H41	Pequeno vazamento de gasolina, 5% do diâmetro do duto de aço carbono de 8" e 17 bar de pressão, desde o km 85 até o km 110 (estação meteorológica y)

.../Anexo M

Anexo M (normativo)
Dados de entrada para hipótese acidental para empreendimentos pontuais

Hipótese acidental nº : Identificação e descrição da hipótese acidental

Parâmetro	Descrição	Exemplo	Referência (quando pertinente)
Substância/mistura	Nome da substância/ Subst. representativa	gasolina/ GLP/pentano/amônia	Item do EAR
Estado físico	Estado físico da substância no sistema	Líquido /gás liquefeito refrigerado/ gás liquefeito pressurizado	-
Massa ou volume total (kg ou m ³)	Inventário que pode vaziar na hipótese	230 m ³	Item do EAR e/ou anexo com memória de cálculo
Temperatura da substância/mistura (°C)	Valor adotado	20	-
Pressão (kgf.cm ⁻²)	Valor adotado	22	Item do EAR e/ou anexo com memória de cálculo
Vazão (kg.s ⁻¹ ou m ³ .h ⁻¹)	Valor adotado	100 m ³ .h ⁻¹	Item do EAR e/ou anexo com memória de cálculo
Altura do vazamento (m)	Valor adotado	2	Item do EAR
Área disponível para evaporação da substância (m ²)	Valor adotado	222	Item do EAR e/ou anexo com memória de cálculo
Comprimento da linha até o ponto de vazamento (m)	Valor adotado	100	Item do EAR ou anexo comprobatório
Diâmetro da linha(in)	Valor adotado	20	-
Dimensões de vazamento	Dimensões de vazamento estudadas	Ruptura (100% do diâmetro); Ruptura parcial de linha (p. ex., 10% do diâmetro, limitado a 50mm, conforme RIVM (2009) ou tamanhos segundo API (2008); Tamanho do furo em equipamentos adotado.	-
Direções de jato estudadas	Direções de vazamento estudadas	Horizontal	-
Confinamento para o multi-energia (%)	Valor(es) adotado(s)	❖ 10 ❖ 25	Item do EAR e/ou anexo com memória de cálculo
Curva adotada no modelo multi-energia	Valor(es) adotado(s) para cada cenário	❖ 6 ❖ 7	Item do EAR e/ou anexo com memória de cálculo
Probit (substâncias tóxicas)	Valor adotado	cloro a= - 6,35; b=0,5; n=2,75; para concentração [mg.m ⁻³] e tempo [min]	Norma CETESB
Outros parâmetros de interesse para a modelagem	Ex.: Fator operacional de ocupação do tanque	85%	
Tipo de superfície	Valor adotado e justificativa	piso de concreto	
Rugosidade do terreno	Valor adotado e justificativa	área industrial	

.../Anexo N

Anexo N (normativo)
Dados de entrada para hipótese acidental para dutos

Hipótese acidental nº : Identificação e descrição da hipótese acidental

Parâmetro	Descrição	Exemplo	Referência (quando pertinente)
Substância/mistura	Nome da substância/ Substância representativa	gás natural/gasolina/ GLP	Item do EAR
Estado físico	Estado físico da substância no sistema	gás/gás liquefeito pressurizado/líquido	-
Massa ou volume total (kg ou m ³)	Caso o vazamento seja contínuo, utilizar um valor hipotético alto. No caso de bola de fogo, utilizar a massa inflamável calculada	1.000.000kg	Item do EAR e/ou anexo com memória de cálculo
Temperatura da substância/mistura (°C)	Valor adotado	20	-
Pressão (kgf.cm ⁻²)	Valor adotado	22	Item do EAR e/ou anexo com memória de cálculo
Vazão (kg.s ⁻¹ ou m ³ .h ⁻¹)	Valor adotado	100 m ³ .h ⁻¹	Item do EAR e/ou anexo com memória de cálculo
Altura do vazamento (m)	Valor adotado	0	Item do EAR
Área disponível para evaporação da substância (m ²)	Valor adotado	222	Item do EAR e/ou anexo com memória de cálculo
Comprimento total da tubulação	Valor adotado	100 km	-
Comprimento da tubulação até o ponto de vazamento (m)	Valor adotado	100	Item do EAR ou anexo comprobatório
Diâmetro da linha (in)	Valor adotado	20	-
Dimensões de vazamento	Dimensões de vazamento estudadas	Ruptura (100% do diâmetro); Fenda (20% do diâmetro); Furo (5% do diâmetro).	-
Direções de jato estudadas	Direções de vazamento estudadas	Horizontal Vertical	-
Confinamento para o multi-energia (%)	Valor(es) adotado(s)	❖ 10 ❖ 25	Item do EAR e/ou anexo com memória de cálculo
Curva adotada no modelo multi-energia	Valor(es) adotado(s) para cada cenário	❖ 6 ❖ 7	Item do EAR e/ou anexo com memória de cálculo
Probit (substâncias tóxicas)	Valor adotado	amônia a = - 15,6; b = 1; n = 2 para concentração [mg.m ⁻³] e tempo [min]	Norma CETESB
Outros parâmetros de interesse para a modelagem	Ex.: Consideração da taxa com relação ao tempo	Taxa entre os tempos 0s e 20s	-
Tipo de superfície	Valor adotado e justificativa	solo seco	-
Rugosidade do terreno	Valor adotado e justificativa	área industrial	-

.../Anexo O

Anexo O (normativo)

Padrão para apresentação de dados meteorológicos

Usar este protocolo para o manuseio de dados meteorológicos empregados apenas em modelos de estimativa de efeitos físicos decorrentes de liberações acidentais de substâncias tóxicas e inflamáveis.

A estação deve ser instalada em solo plano e gramado em local de horizontes amplos, ou seja, não pode ter barreiras que impeçam a incidência da radiação solar ou que modifiquem a direção do vento.

A coleta e o processamento de dados meteorológicos, bem como a instalação de estação meteorológica de superfície convencional devem seguir a normatização da Organização Meteorológica Mundial (OMM). Como referência, recomenda-se consultar a *United States Environmental Protection Agency* (USEPA, 1995, 2000).

A seguir, apresentam-se os requisitos mínimos para a instalação de estação meteorológica de superfície convencional e para o tratamento e a apresentação dos dados meteorológicos:

Instrumentos que devem compor a estação meteorológica

As estações meteorológicas devem estar providas minimamente dos seguintes sensores meteorológicos:

1.Velocidade e direção de vento;

Os sensores de vento (direção e velocidade) devem ser instalados a 10m de altura do nível do solo e distante de obstáculos de pelo menos 10 vezes a altura do maior obstáculo. Após a instalação do instrumento, deve-se indicar e marcar a direção do norte verdadeiro (geográfico).

2.Temperatura e umidade relativa do ar

O conjunto sensores de temperatura e umidade relativa do ar deve ser instalado a uma altura entre 1,25 e 2,00m acima do terreno.

Observações:

- a) Os registros dos dados horários deverão ser armazenados em bancos de dados, em formatos acessíveis para consulta (data, hora, parâmetro);
- b) Periodicidade de medição: média horária;

- c) Manutenção periódica: mínimo anual;
- c) Os sensores instalados devem possuir certificado de calibração emitido por empresa acreditada pelo INMETRO.

Requisitos para o tratamento e a apresentação dos dados meteorológicos

- Os dados gerados devem ser tratados da seguinte forma:
 - Temperatura do ar: média aritmética ponderada para os períodos diurno e noturno;
 - Umidade relativa: média aritmética ponderada para os períodos diurno e noturno;
 - Velocidade do vento: média aritmética ponderada para os períodos diurno e noturno;
 - Direção do vento: adotar pelo menos 8 (oito) direções com suas respectivas frequências de ocorrência, indicando o sentido do vento DE ↗ PARA (Ex: N↗S 15%);
 - Classe de estabilidade (Pasquill-Gifford): para cada conjunto de dados dia e noite, escolher a classe que detém o maior número de observações.
- Os períodos diurno e noturno compreendem:
 - Diurno – 06h01min às 18h;
 - Noturno – 18h01min às 06h
- Gerar a média aritmética ponderada (X_p) dos parâmetros temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento deve-se adotar a seguinte formula:

$$X_p = \frac{x_1 \cdot f_1 + x_2 \cdot f_2 + \dots + x_n \cdot f_n}{f_1 + f_2 + \dots + f_n} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot f_i)}{\sum_{i=1}^n f_i}$$

Considerando o conjunto de dados $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, cuja frequência de aparecimento (ou peso) é respectivamente: $f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$

- Os períodos de horas de calmaria (quando a velocidade do vento em superfície é menor do que 0,50m.s⁻¹) e ventos variáveis (quando não há predominância de direção das amostras medidas num intervalo de tempo de 1 hora) devem ser desconsiderados nos cálculos, ou seja, estes valores devem ser eliminados, reescalando-se a distribuição dos ventos para 100%;
- O sistema de aquisição de dados deve apresentar os dados de direção do vento em graus e realizar o mínimo de 360 amostras em 1 hora, ou seja, uma amostra a cada 10s;

- O sistema de aquisição pode realizar o cálculo do desvio padrão da direção do vento pelo método de Yamartino e o cálculo da classe de estabilidade pode ser realizado utilizando-se o método Sigma A.

Ambos os métodos estão descritos em USEPA (2000), pg. 6-5 (método de Yamartino) e pg. 6-18 a 6-20 (método Sigma A).

Nota: A compilação, a análise e a definição dos dados meteorológicos, reais do local em estudo, devem ser feitas por um meteorologista, devendo-se considerar, no mínimo, os valores dos últimos três anos. Os dados devem ser apresentados seguindo o padrão descrito no **Quadro 10**.

.../AnexoP

Anexo P (normativo)

Valores das constantes a, b, n da equação de Probit para substâncias tóxicas

Substância	CAS	a	b	n
acrilonitrila	107-13-1	-8,6	1	1,3
acroleína	107-02-8	-4,1	1	1
amônia	7664-41-7	-15,6	1	2
brometo de metila	74-83-9	-7,3	1	1,1
cianeto de hidrogênio	74-90-8	-9,8	1	2,4
cloreto de hidrogênio	7647-01-0	-12,8	1,35	1,48
cloro	7782-50-5	-6,35	0,5	2,75
dióxido de enxofre	7446-09-5	-19,2	1	2,4
dióxido de nitrogênio	10102-44-0	-18,6	1	3,7
fluoreto de hidrogênio	7664-39-3	-8,4	1	1,5
fosgênio	75-44-5	-10,6	2	1
óxido de etileno	75-21-8	-6,8	1	1
sulfeto de hidrogênio	7783-06-4	-9,31	0,44	4,55

Nota: Concentração em mg.m^{-3} e tempo em minutos. Se utilizar a concentração em ppmv, atentar para a temperatura em que a constante a foi expressada e corrigi-la para as temperaturas de simulação das dispersões.

.../Anexo Q

Anexo Q (normativo)

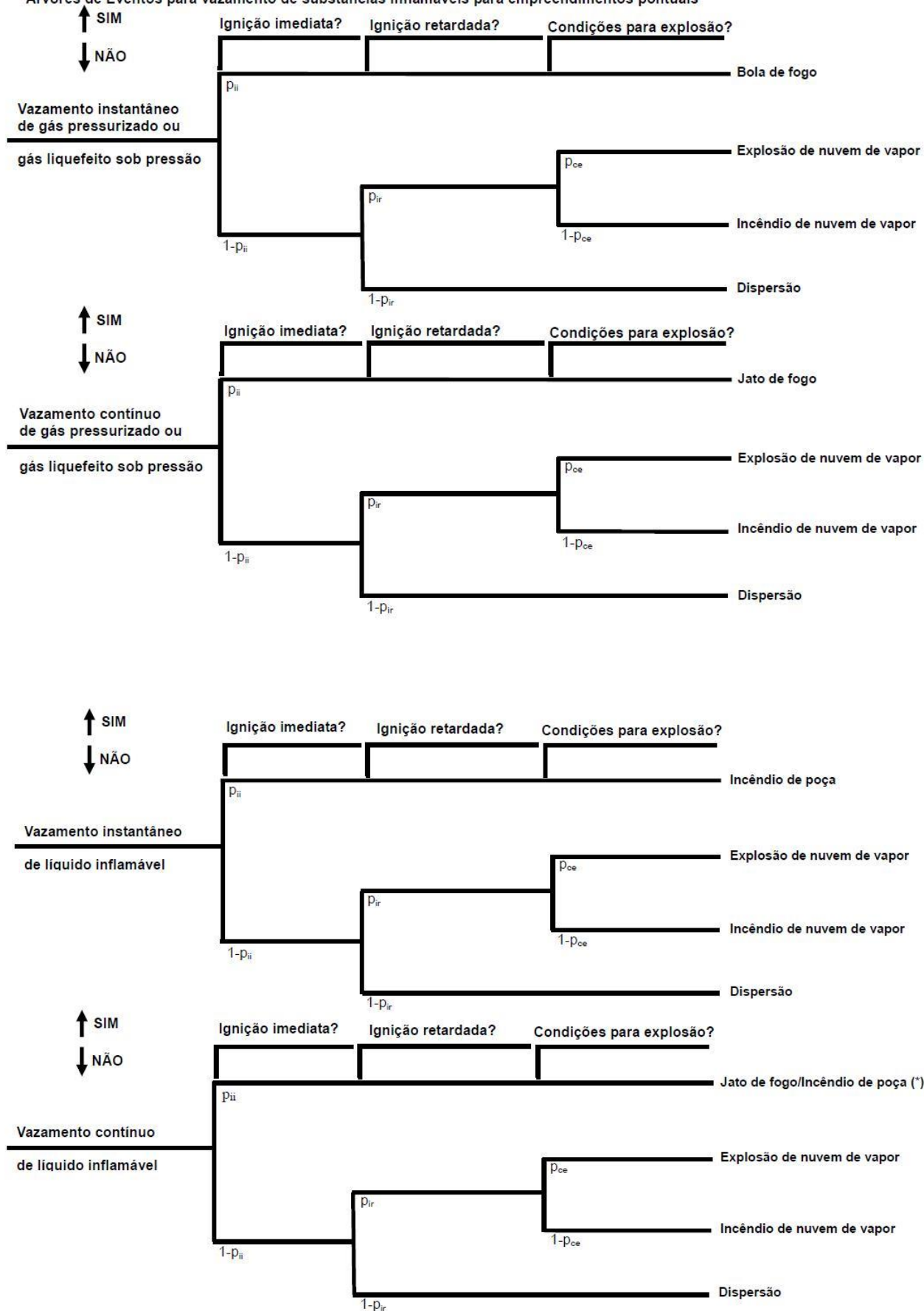
Tabela resumo dos dados de saída

Hipótese acidental nº	Taxa de vazamento (kg.s^{-1}) ou massa vazada (kg)	Distâncias (m)											
		Incêndio de nuvem		Incêndio de poça		Jato de fogo		Explosão de nuvem		Concentração tóxica		Bola de fogo	
		Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite
				1% probabi- lidade de fatalidade	1% probabi- lidade de fatalidade	1% probabi- lidade de fatalidade	1% probabi- lidade de fatalidade	0,1 bar	0,1 bar	1% probabi- lidade de fatalidade	1% probabi- lidade de fatalidade	1% probabi- lidade de fatalidade	1% probabi- lidade de fatalidade
De acordo com o anexo T													

.../ Anexo R

Anexo R (normativo)

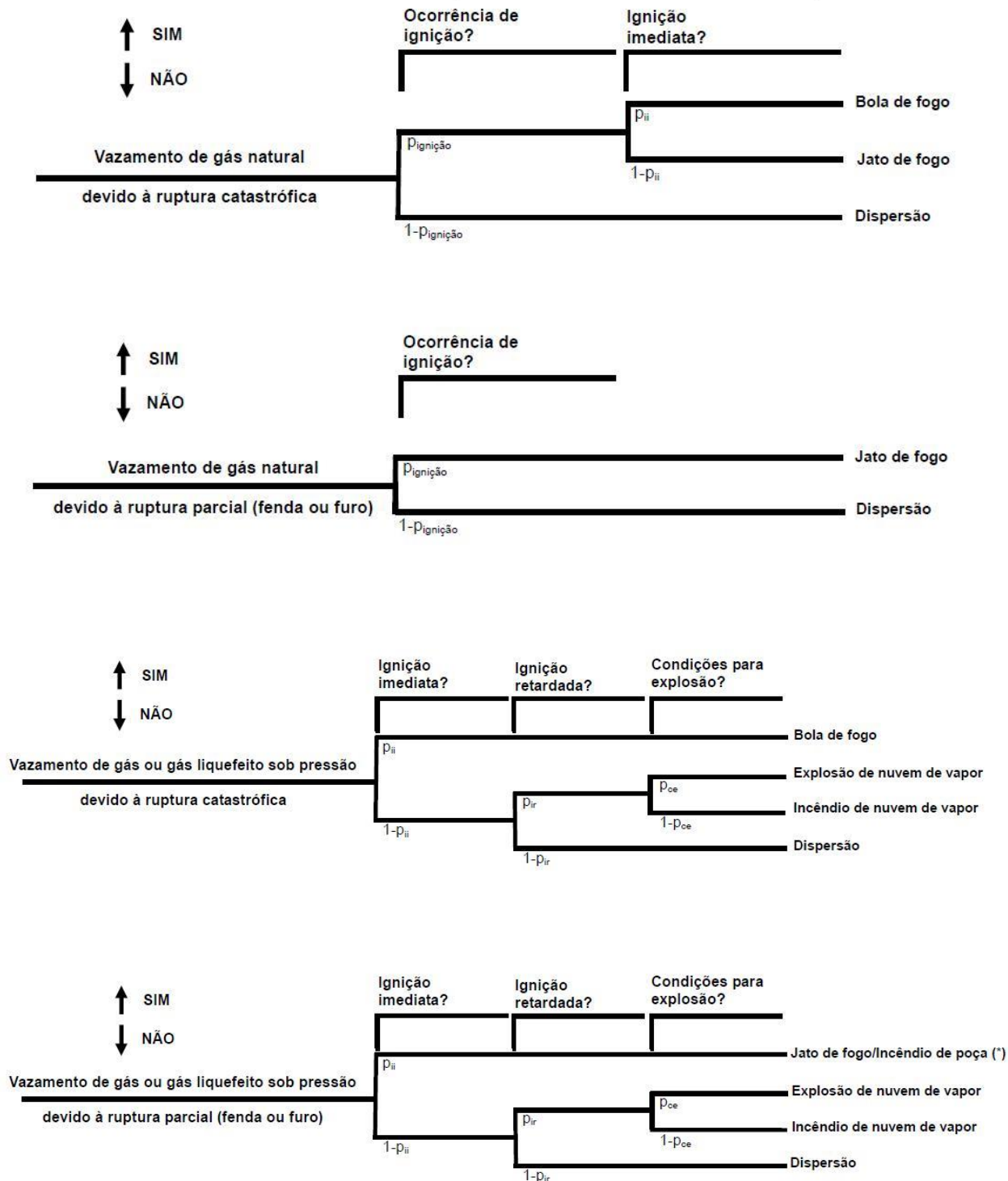
Árvores de Eventos para vazamento de substâncias inflamáveis para empreendimentos pontuais



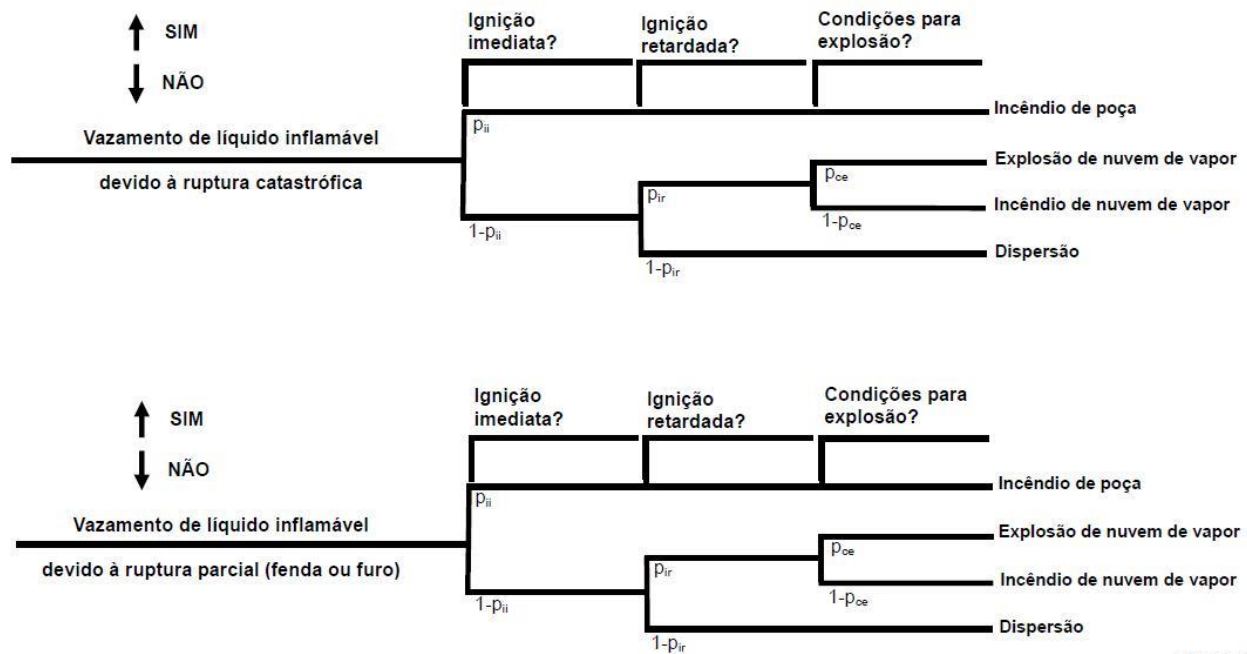
(*) Considerar a tipologia accidental com maior número de fatalidades

.../ Anexo S

Anexo S (normativo)
Árvores de Eventos para vazamento de substâncias inflamáveis para dutos



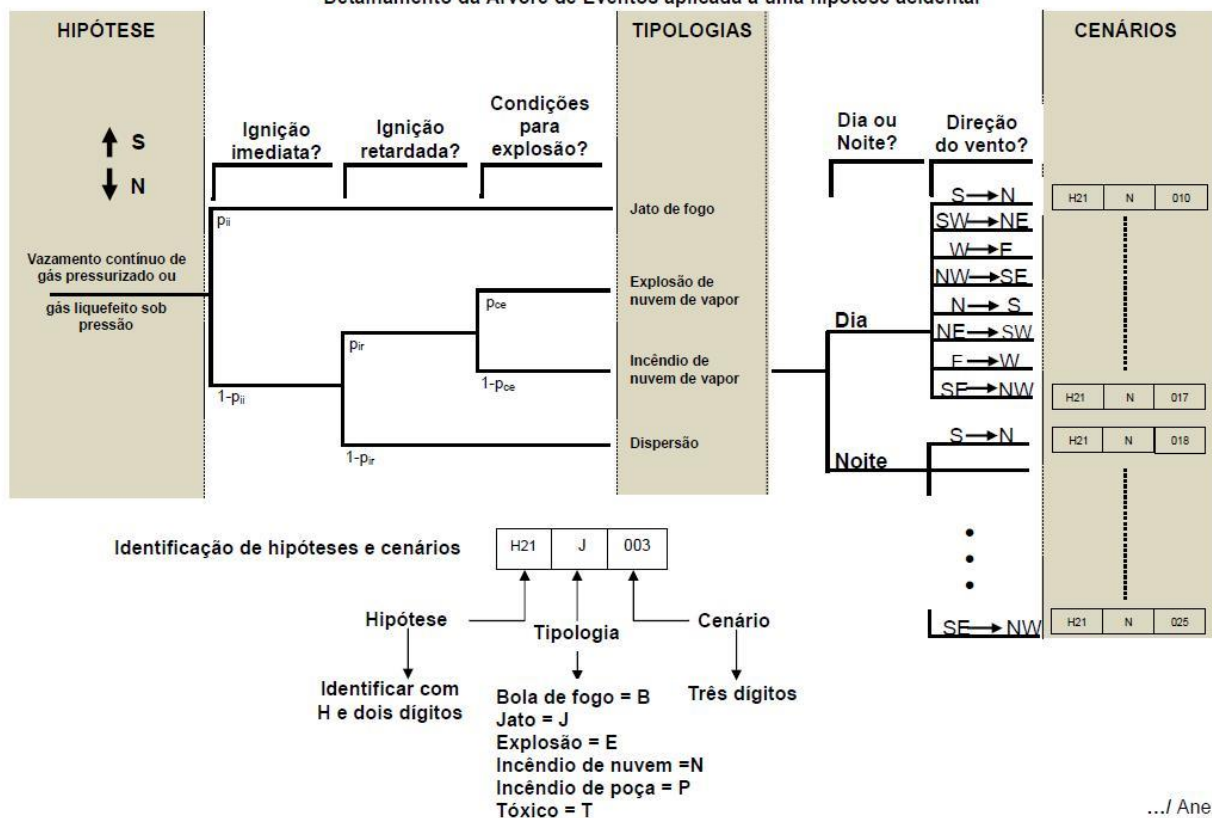
(*) Considerar a tipologia accidental com maior número de fatalidades



.../ Anexo T

Anexo T (normativo)

Detalhamento da Árvore de Eventos aplicada a uma hipótese acidental



.../ Anexo U

Anexo U (normativo)

Exemplo de apresentação dos resultados para Risco Social

(a)

Cenário n°	Hipótese	Tipologia	Frequência (ocorrência.ano ⁻¹)	Período	Probabilidade do período	Vento	Probabilidade do vento	Frequência final (ocorrência.ano ⁻¹)
H01B001	Ruptura	Bola de fogo	1,00E-07	NOITE	0,5	-	-	5,00E-08
H02N001	Médio vazamento	Incêndio de nuvem	8,40E-05	DIA	0,5	S→N	0,17	7,14E-06
H03E012	Grande vazamento	Explosão de nuvem	1,70E-04	NOITE	0,5	E→W	0,03	2,55E-06
H04T029	Médio vazamento	Vazamento tóxico	1,55E-04	NOITE	0,5	NE→SW	0,04	3,10E-06

(b)

CENÁRIO				VULNERABILIDADE										
				Efeito	Prob. Fat.		%LOCAL	%DENTRO	%FORA	Fator Fatalidade Fatalidade total Frequência (oc.ano ⁻¹)				
						Dia	0,5	0,5	0,5					
						Noite	1 Total pessoas	0,75 Pessoas dentro	0,25 Pessoas fora					
Nº	Tipologia (hipótese)	Vento	Período			Nº casas								
H01B001	Bola de fogo (ruptura)	-	NOITE	≥ 35kW.m ⁻²	1	8	32	24	8		32	37	5,00E-08	
				entre 35kW.m ⁻² e 50% fat.	0,75	24	96	72	24	0,2	3,6			
				entre 50 e 1% de fatalidade	0,25	28	112	84	28	0,2	1,4			
H02N001	Incêndio de nuvem (médio vazamento)	S→N	DIA	LII	1	7	14	7	7		14	14	7,14E-06	
H03E012	Explosão de nuvem (grande vazamento)	E→W	NOITE	≥ 0,3 bar	0,75	0	0	0	0		0	3	2,55E-06	
				entre 0,3 e 0,1bar	0,25	4	16	12	4		3			
H04T029	Vazamento tóxico (médio vazamento)	NE→SW	NOITE	≥ 99% de fatalidade	1	14	56	42	14		56	174	3,10E-06	
				entre 99 e 50% de fatalidade	0,75	36	144	108	36		108			
				entre 50 e 1% de fatalidade	0,25	10	40	30	10		10			

.../Anexo V

Anexo V (informativo)

Determinação da extensão do duto equivalente aos empreendimentos pontuais do estado de Rio de Janeiro

No caso dos dutos, para utilizar o mesmo critério de avaliação do risco social dos empreendimentos pontuais, é necessário estabelecer qual é a extensão do duto equivalente a um empreendimento pontual.

A norma da *British Standards Institute* (BSI), **PD 8010-3:2009**, afirma que um empreendimento COMAH (*Control of major accident hazards*) de tamanho médio típico normalmente tem um perímetro de 2km que expõe o público externo ao risco. Assim, o comprimento equivalente de tubulação que expõe o público ao mesmo risco é de 1km. Portanto, as mesmas curvas de risco F-N poderiam ser aplicadas a 1km de duto (BSI, c2008, p. 16). Realizou-se, então, um levantamento do perímetro médio dos empreendimentos que expõem o público externo ao risco no estado de Rio de Janeiro.

Para esse levantamento, considerou - se os processos contendo Estudos de Análise de Risco (EAR) e Programas de Gerenciamento de Risco (PGR) analisados pelo Setor de Análise de Riscos da SMAC durante os anos de 2009 e 2010 e os dados fornecidos pela PETROBRAS das diversas unidades que manipulam substâncias inflamáveis ou tóxicas, como por exemplo, ABASTREF, Transpetro, Liquigas, BR Distribuidora, G&E e E&P. Não foram consideradas, nesse levantamento, as instalações associadas a dutos, ou seja, estações de entrega, de custódia e de bombeamento ou compressão.

Coletou-se os perímetros de 221 empreendimentos, com valores variando de 126m a 17.870m. Realizou-se análise estatística por meio de histogramas para a verificar a distribuição desses dados e determinar a mediana. Utilizou-se a equação estatística de Sturges, **equação 22**, para a determinação do número de intervalos a ser considerado no histograma.

$$k=1+3,3.\log n \quad (22)$$

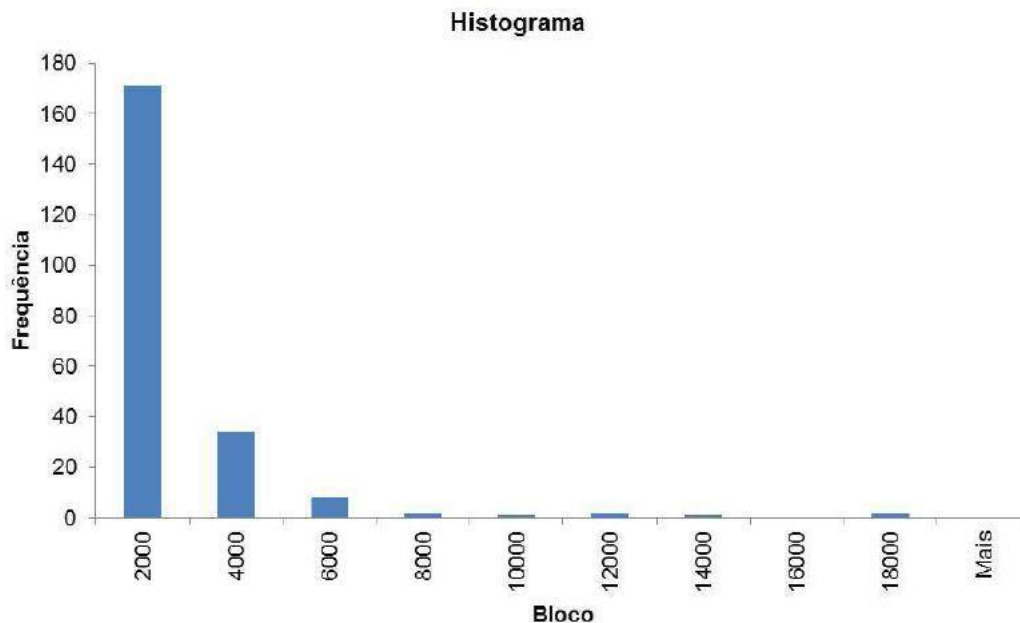
onde

n é o número de dados.

Na primeira análise, o histograma foi obtido dividindo-se em nove intervalos a cada 2.000m.

A **figura 22** apresenta o primeiro histograma obtido.

Figura 22 – Análise de todos os dados dos perímetros divididos em intervalos a cada 2.000 m



Como o resultado apresentou uma grande concentração dos perímetros nos primeiros 4.000m, decidiu-se realizar outros três histogramas com intervalos de 700m, 400m e 200m. Estes histogramas estão apresentados nas **figuras 23, 24 e 25** respectivamente.

Figura 23 – Análise de todos os dados dos perímetros divididos em intervalos a cada 700m

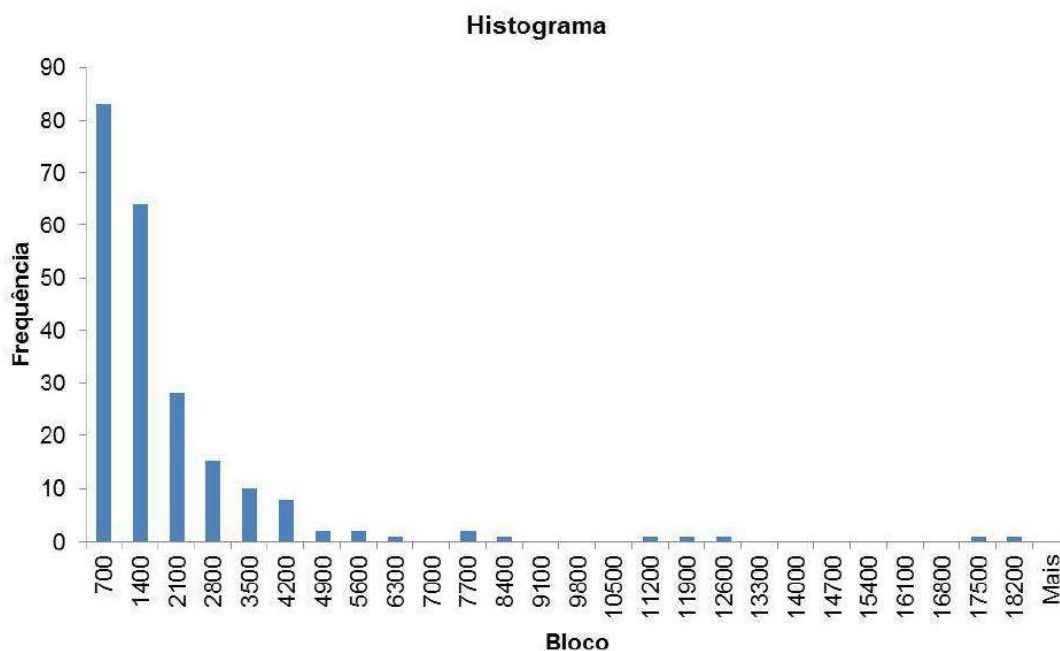


Figura 24 – Análise de todos os dados dos perímetros divididos em intervalos a cada 400m

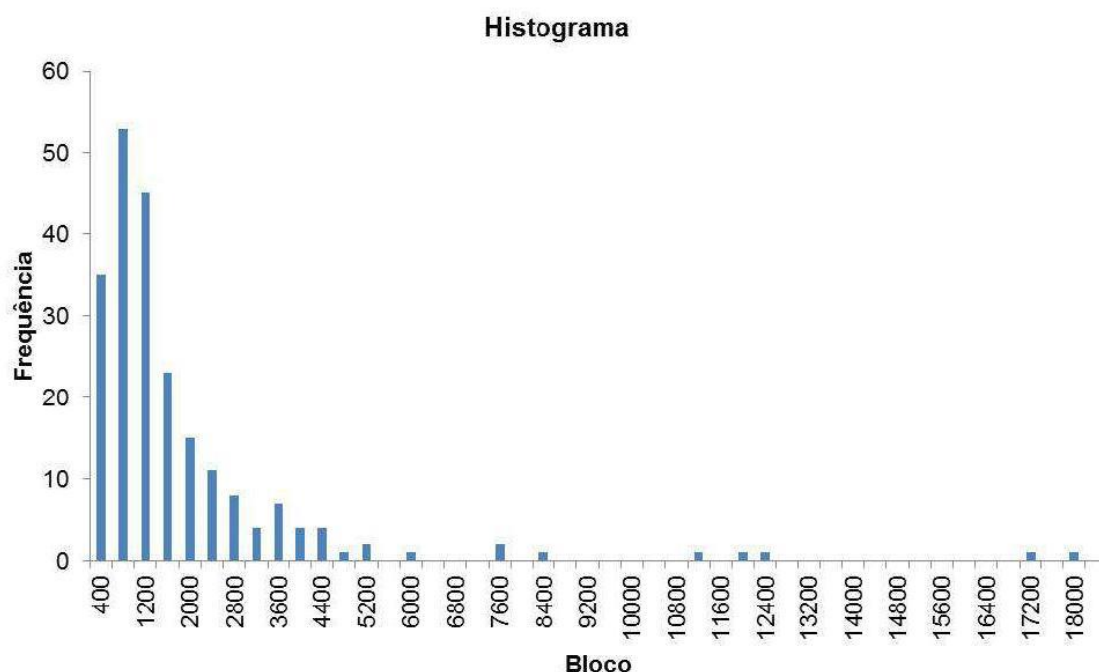
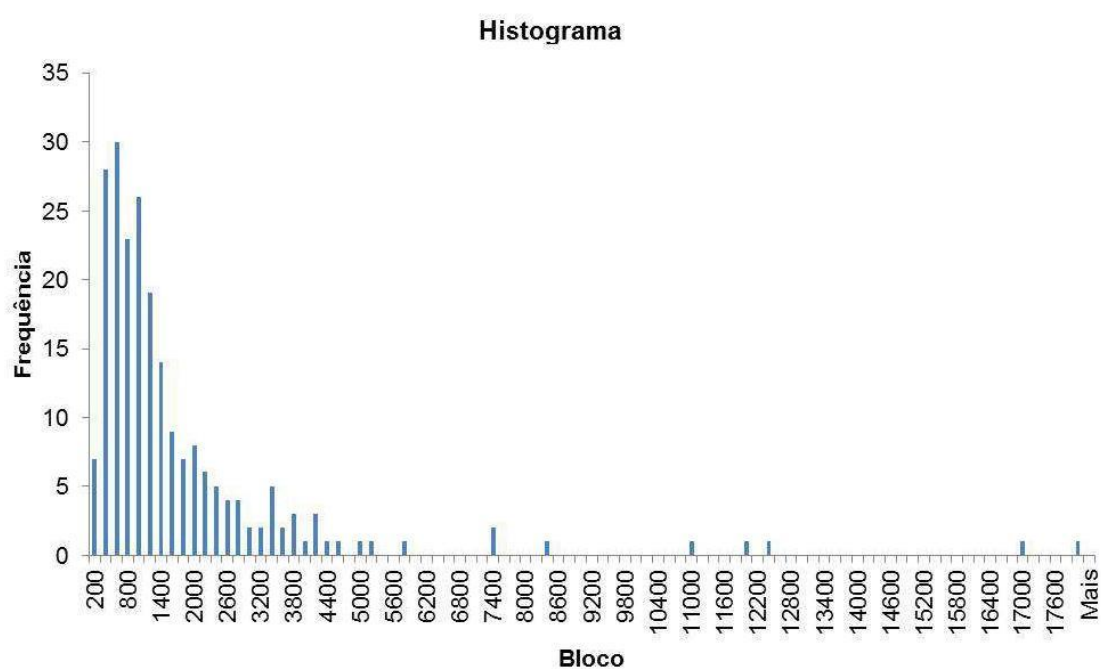
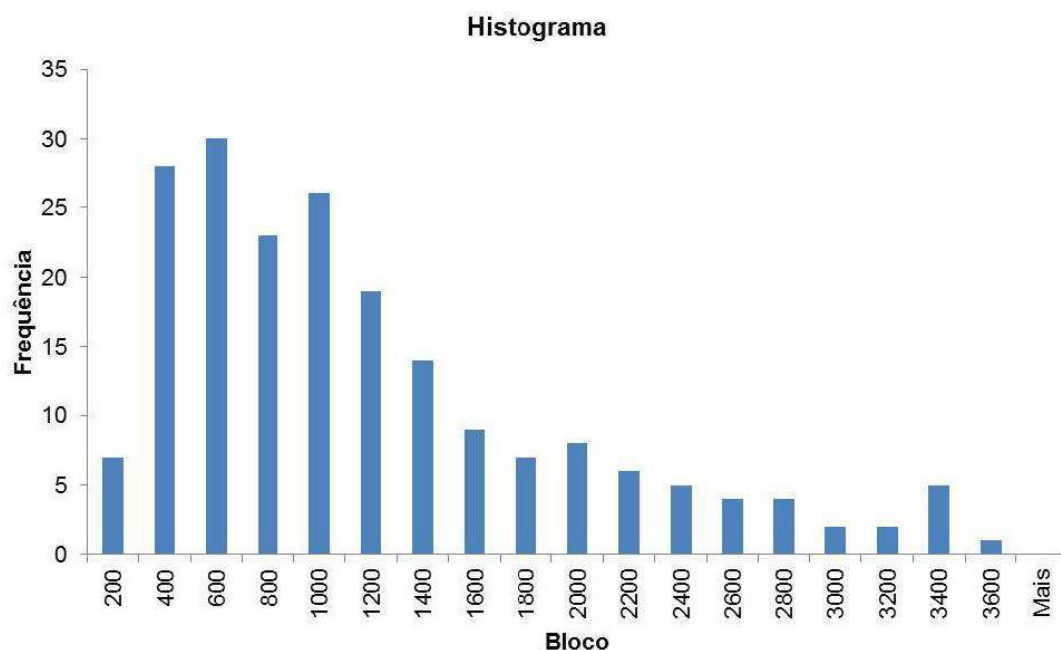


Figura 25 – Análise de todos os dados dos perímetros divididos em intervalos a cada 200m



A partir da análise da distribuição dos dados, descartaram-se os valores de perímetro menores que 200m e maiores do que 3.600m. Os resultados obtidos nesta nova análise estão demonstrados na **figura 26**.

Figura 26 – Análise dos dados dos perímetros acima de 200m e abaixo de 3.600m divididos em intervalos a cada 200m



Distribuição de probabilidades para os perímetros

O objetivo é encontrar a distribuição de probabilidades que melhor se ajusta aos dados da **figura 26**. Montgomery e Runger (2003, p. 315-319) apresentam o procedimento abaixo, adotado neste trabalho.

- a) A variável de interesse é a forma da distribuição dos perímetros.
- b) H_0 : A forma da distribuição é normal.
- c) H_1 : A forma da distribuição é diferente da normal.
- d) $\alpha = 0,05$.
- e) O teste estatístico é

Quadro 34 – Intervalos para testar a forma normal da distribuição dos perímetros

Frequência esperada E_i	Distribuição normal		Intervalo	Frequência observada o_i
	z	$X=z.s+\bar{x}$		
24,125	-1,15	234,63	$x < 234,6$	2
12,0625	-0,885	442,94	$234,6 \leq x < 442,9$	32
12,0625	-0,675	607,98	$442,9 \leq x < 608,0$	27
12,0625	-0,485	757,34	$608,0 \leq x < 757,3$	20
12,0625	-0,32	887,05	$757,3 \leq x < 887,1$	9
12,0625	-0,155	1016,8	$887,1 \leq x < 1016,8$	18
12,0625	0	1138,6	$1016,8 \leq x < 1138,6$	10
12,0625	0,155	1260,40	$1138,6 \leq x < 1260,4$	10
12,0625	0,32	1390,10	$1260,4 \leq x < 1390,1$	12
12,0625	0,485	1519,86	$1390,1 \leq x < 1519,9$	8
12,0625	0,675	1669,22	$1519,9 \leq x < 1669,2$	3
12,0625	0,885	1834,26	$1669,2 \leq x < 1834,3$	6
12,0625	1,15	2042,57	$1834,3 \leq x < 2042,6$	7
12,0625	1,535	2345,26	$2042,6 \leq x < 2345,4$	9
12,0625	∞		$2345,4 \leq x$	20
193				193

Aplicando a equação 23:

$$\chi^2_0 = \sum_{i=1}^{15} \frac{(o_i - E_i)^2}{E_i} = \frac{(2-24,125)^2}{24,125} + \frac{(32-12,0625)^2}{12,0625} + \frac{(27-12,0625)^2}{12,0625} + \dots + \frac{(20-12,0625)^2}{12,0625}$$

$$\chi^2_0 = 100,72$$

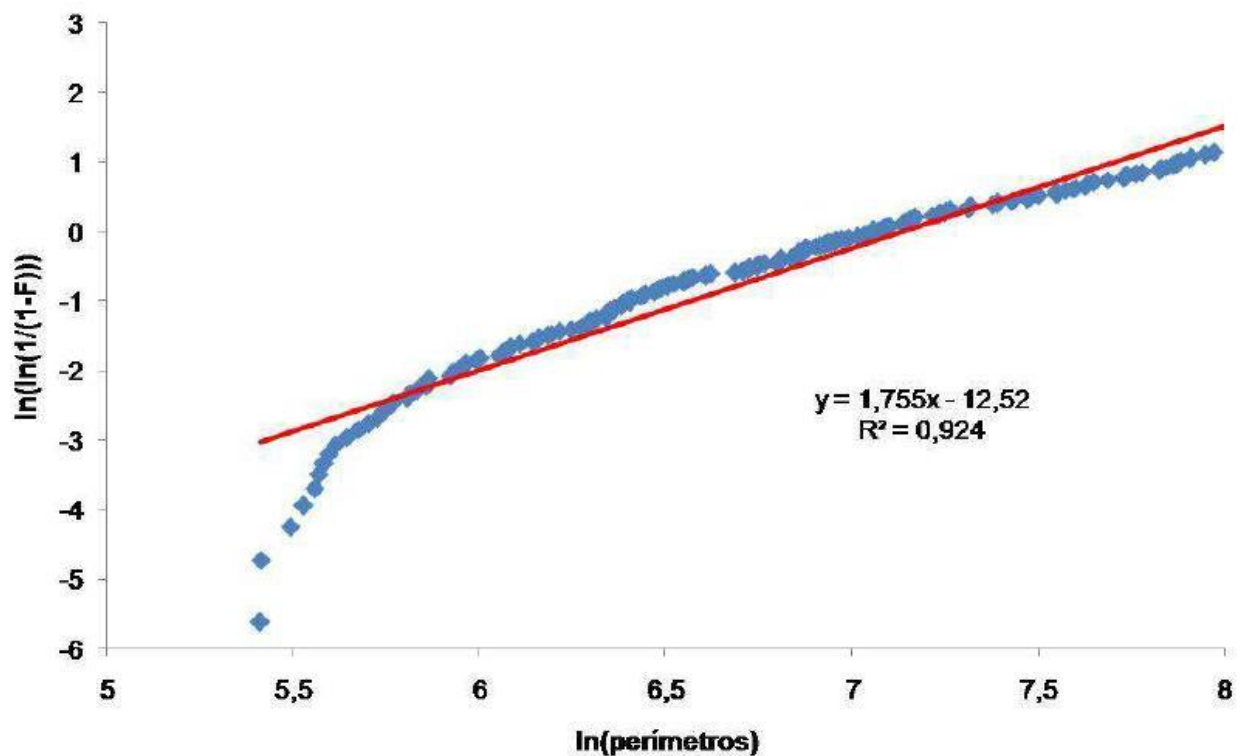
Conclusão: Como $\chi^2_0 = 100,72 > \chi^2_{0,05;12} = 21,03$, há evidência suficiente para rejeitar H_0 . O valor-P para a estatística *chi-quadrado* $\chi^2_0 = 100,72$ é aproximadamente 0,010, menor que $\alpha = 0,05$, ratificando a decisão de rejeição a H_0 .

Visto haver evidência suficiente para rejeitar a hipótese de que os perímetros são distribuídos normalmente, buscou-se ajustar esses valores à distribuição de Weibull, biparamétrica. Sua PDF é

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\eta}\right)^\beta} \quad (24)$$

A estimação dos parâmetros β e η utilizou método gráfico, disponível em planilha Excel. Ajustou-se uma reta aos dados plotados na **figura 27**, sendo que β representa o coeficiente angular e $\eta = e^{-\left(\frac{\text{coeficiente linear}}{\beta}\right)}$.

Figura 27 – Determinação dos parâmetros da distribuição de Weibull



Portanto, com $\beta = 1,755$ e $\eta = 1.253,8\text{m}$, a partir da **equação 24** obtém-se

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{1.253,8}\right)^{1,755}}$$

Para a escolha do perímetro médio de um empreendimento pontual adotou-se a mediana da distribuição. Assim, para $F(x) = 0,5$ obtém-se $x = 1.017,5\text{m}$. Adotou-se 1000m como valor aproximado do perímetro médio e, desta forma, o valor adotado da extensão do duto equivalente ao empreendimento pontual é 500m.

.../AnexoW

Anexo W (normativo)

Conteúdo mínimo de um procedimento

O procedimento deve contemplar:

- a) cargos dos responsáveis pelas ações;
- b) instruções exatas que propiciem as condições necessárias para a realização de operações seguras, considerando as informações de segurança de processo;
- c) condições operacionais em todas as etapas de processo, ou seja: partida, operações normais, operações temporárias, paradas de emergência, paradas normais e partidas após paradas, programadas ou não;
- d) limites operacionais.

Revisar o procedimento periodicamente, de modo que represente as práticas atualizadas, incluindo as mudanças de processo, tecnologia e instalações. A periodicidade de revisão deve estar claramente definida no PGR.

.../AnexoX

Anexo X (informativo)

Formulário para gerenciamento de modificações

PLANTA: Planta de Resina A234

AUTOR: Fulano de Tal **TÍTULO:** Rotor da Bomba 101

DATA: / /

DESCRIÇÃO DA MUDANÇA

Alteração do rotor da Bomba 101 para que possibilite maiores vazões na linha de transferência da substância A partindo do tanque de armazenagem para o reator R1, conforme **Desenho 1**, anexo.

JUSTIFICATIVA DA MUDANÇA

Aumento de eficiência.

DURAÇÃO DA MUDANÇA:

- () Temporária
(X) Permanente
() Emergencial

PERIGOS IDENTIFICADOS RESULTANTES DA MUDANÇA PROPOSTA (*What if*, APP)

- 1) Se o cabeamento elétrico não for adequado: ocorrerá desarme da bomba e interrupção do processo. Verificar instalação elétrica (**ação 1**);
- 2) Se a válvula de segurança instalada na linha for inadequada: abertura da válvula com liberação de substâncias e possibilidade de incêndio. Verificar o dimensionamento e atualizar a calibração da válvula de segurança para 2-3 kgf.cm⁻² (**ação 2**);
- 3) Se houver erro na montagem: deverá ocorrer fluxo no sentido inverso. Testar antes de liberar a bomba para a operação (**ação 3**);
- 4) Se houver erro na operação: não está previsto pois os pontos de acionamento no campo ou no painel de controle continuam os mesmos.

AUTORIZAÇÕES:

- (X) Gerente de Produção: Beltrano de Tal
() Gerente de Planta: Ciclano de Tal

Data: / /
Data: / /

ATUALIZAÇÕES PERTINENTES

Procedimento de operação ou segurança: a faixa de leitura do indicador de pressão no campo (PI-11) será alterada de 1-2 para 2-3kgf.cm⁻²;

Treinamentos: deve ser informado à operação em reunião de segurança sobre a alteração e que os procedimentos de operação da bomba não serão alterados.

Desenhos: Atualizar livro de dados da Bomba 101, o livro de ajuste e calibração da válvula de segurança e a faixa de leitura de campo do indicador de pressão PI-11.

OBSERVAÇÕES:

Ação 1: Responsável Fulano de Tal	Prazo: <u> </u> / <u> </u> / <u> </u>	(...) Concluída
Ação 2: Responsável Fulano de Tal	Prazo: <u> </u> / <u> </u> / <u> </u>	(...) Concluída
Ação 3: Responsável Fulano de Tal	Prazo: <u> </u> / <u> </u> / <u> </u>	(...) Concluída

ACOMPANHAMENTO DA MODIFICAÇÃO/STATUS DA MODIFICAÇÃO: Fulano de Tal

.../ Anexo Y

Anexo Y (informativo)

Modelo de planilha do programa de manutenção

Componente	Teste	Base técnica	Periodicidade	Responsável
Bomba centrífuga	Análise de vibração	Recomendação do fabricante	bimestral	Manutenção
Tanque reservatório de amônia	Inspeção de segurança periódica em vasos de pressão	NR 13	anual	Equipe externa
Linha do sistema de GLP	Teste de estanqueidade	NBR 13523	anual	Equipe externa
Sistema de combate a incêndio	Funcionalidade de sirenes e alarmes de emergência	NR 23	bimestral	Manutenção
Sistema elétrico	Medição de aterramento e funcionalidade de para raios	NR 10	anual	Equipe externa