

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP

FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO
SISTEMAS DE PROCESSOS QUÍMICOS E INFORMÁTICA**

**“EXIGÊNCIAS DE ANÁLISE DE RISCO DE ACIDENTES, PARA
FINS DE LICENCIAMENTO, EM INSTALAÇÕES QUE MANIPULAM
SUBSTÂNCIAS PERIGOSAS, E PROPOSIÇÃO DE ABORDAGEM
PARA ATENDIMENTO”**

Autor: Hélio Gervásio dos Reis

Orientador: Profa. Dra. Elizabete Jordão

Co-Orientador: Dr. Vanderley de Vasconcelos

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia
Química como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título
de Mestre em Engenharia Química

Março - 2007
Campinas – São Paulo - Brasil

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE -
UNICAMP

R277e Reis, Hélio Gervásio dos
Exigências de análise de risco de acidentes, para fins de licenciamento, em instalações que manipulam substâncias perigosas, e proposição de abordagem para atendimento / Hélio Gervásio dos Reis.--Campinas, SP: [s.n.], 2006.

Orientador: Elizabete Jordão
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química.

1. Acidentes. 2. Percepção do risco. 3. Meio ambiente - Legislação. 4. Substâncias perigosas. 5. Instalações nucleares. I. Jordão, Elizabete. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Química. III. Título.

Título em Inglês: Accident risk analysis requirements for licensing of facilities that handle hazardous materials, and proposition of a framework to comply them

Palavras-chave em Inglês: Risk analysis, Accidents, Environmental licensing, Nuclear licensing, Risk analysis studies, environmental legislation, Hazardous materials, Nuclear facilities

Área de concentração: Processos Químicos e Informática

Titulação: Mestre em Engenharia Química

Banca examinadora: Elias Basile Tambourgi, Murillo Senne

Data da defesa: 15/12/2006

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Química

Dissertação de Mestrado defendida por Hélio Gervásio dos Reis e aprovada em 15 de dezembro de 2006 pela banca examinadora constituída pelos doutores:

Profa. Dra. Elizabete Jordão
FEQ – UNICAMP

Prof. Dr. Elias Basile Tambourgi
FEQ – UNICAMP

Dr. Murillo Senne Jr.
CDTN – CNEN

Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação de Mestrado, em Engenharia Química, defendida por Hélio Gervásio dos Reis, e aprovada pela banca examinadora em 15 de dezembro de 2006.

Profa. Dra. Elizabete Jordão
Orientadora

AGRADECIMENTOS

À Professora Doutora Elizabete Jordão pela orientação, confiança e apoio prestado durante a realização deste trabalho.

Ao Doutor Vanderley de Vasconcelos pela orientação, pelas valiosas contribuições técnicas em todas as etapas que envolveram o desenvolvimento deste trabalho e pelo incentivo constante.

Ao corpo docente da Faculdade de Engenharia Química pelas orientações durante a realização desta dissertação e à banca examinadora, pelas valiosas sugestões e contribuições apresentadas.

Ao Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN e à Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, por terem possibilitado a realização deste trabalho.

RESUMO

A partir da Resolução CONAMA nº 001/86, para o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, o *Estudo de Análise de Riscos – EAR* passou a ser um dos documentos técnicos exigidos de forma que, além dos aspectos relacionados com a poluição, também a prevenção dos acidentes operacionais fosse contemplada no processo. São exemplos de atividades sujeitas a exigências de *Estudos de Análise de Riscos*: extração e beneficiamento de minérios; indústrias químicas e petroquímicas; produção e distribuição de energia elétrica; transporte, terminais e depósitos de materiais perigosos.

Os requisitos mínimos para os *EARs* são normalmente definidos pelos órgãos ambientais competentes, dos diferentes estados da Federação, através do estabelecimento dos Termos de Referência. No caso do licenciamento de instalações nucleares e radiativas a CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear) é partícipe no processo de licenciamento ambiental. Dentro dos Relatórios de Análise de Segurança de tais instalações a CNEN exige a apresentação de uma análise de risco de acidentes. No entanto, o escopo, a abrangência e os critérios para isenção da obrigatoriedade de realização de avaliações de risco não são claramente definidos por estes órgãos.

O objetivo deste trabalho é avaliar as exigências legais em relação a análises de risco, bem como propor uma abordagem para o seu atendimento. Foram analisados dois Termos de Referência, de órgãos ambientais de dois estados da Federação – CETESB (SP) e FEPAM (RS). Seus critérios foram comparados usando diferentes cenários de acidentes, envolvendo diferentes substâncias perigosas, quantidades e distância da população. Foi avaliado sob quais condições um dos critérios se torna mais conservativo que o outro. A abordagem proposta considera os aspectos determinístico e probabilístico da avaliação de risco e sugere o uso do Princípio da Precaução para auxiliar o processo de tomada de decisões envolvendo a análise e o gerenciamento de risco realizados.

ABSTRACT

According to CONAMA nr. 001/86 it is required, for licensing purposes, a Risk Analysis Study – RAS of the activities that can harm the environment. Thus, not only the pollution questions should be considered in licensing process, but also the accident prevention and mitigation. Milling and mining, chemical and petrochemical industries, electric power generation and distribution, and handling, storage and transport of hazardous materials are examples of activities that should provide RAS to the environmental bodies.

The minimal requirements of RAS are normally defined in different Reference Terms by the regulatory bodies of the states of Federation. In the case of nuclear and radioactive facilities both the environmental bodies and CNEN (Brazilian Nuclear Energy Commission) conduct the licensing process. Inside Safety Analysis Reports of such facilities it is required by CNEN the presentation of an accident risk analysis. However, neither the scope nor the exemption criteria for risk analysis are clearly defined.

The purpose of this present work is to evaluate the legal requirements for accident risk analysis and propose an approach to comply them. Two different Reference Terms, from environmental bodies of São Paulo and Rio Grande do Sul (CETESB and FEPAM, respectively), were analyzed. They were compared using different accident scenarios, including different hazardous materials, quantities and population distances. It was verified the conditions that make one more conservative than the other. The deterministic and probabilistic approaches are considered and it is proposed the use of the Precaution Principle in order to help the decisions about the scope and completeness of the risk analysis and management.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	IX
ABSTRACT	XI
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS E IMPORTÂNCIA DO TRABALHO	4
2.1 OBJETIVOS	4
2.2 IMPORTÂNCIA DO TRABALHO	4
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1 CONCEITOS E DEFINIÇÕES	6
3.2 NOÇÕES BÁSICAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DIREITO AMBIENTAL	17
3.2.1 <i>O Estado Federal Brasileiro e sua repartição de competências</i>	17
3.2.2 <i>Política Nacional do Meio Ambiente</i>	19
3.2.3 <i>Licenciamento Ambiental</i>	22
3.2.4 <i>Princípio da Precaução</i>	28
3.2.5 <i>Licenciamento de instalações nucleares e radiativas</i>	37
3.2.6 <i>Documentos técnicos para o licenciamento</i>	39
3.3 DESENVOLVIMENTO DE ESTUDOS DE ANÁLISE DE RISCOS - EARS	42
3.4 ESTIMATIVA DE EFEITOS FÍSICOS DE ACIDENTES E ANÁLISE DE VULNERABILIDADE	46
3.4.1 <i>Dispersão atmosférica</i>	47
3.4.2 <i>Diâmetro de uma bola de fogo</i>	48
3.4.3 <i>Explosão de Líquido e Sólido</i>	49
3.4.4 <i>Análise de vulnerabilidade</i>	52
3.5 IDENTIFICAÇÃO DE RISCOS E CONSOLIDAÇÃO DE HIPÓTESES ACIDENTAIS	53
3.5.1 <i>Lista de verificação – Checklist</i>	56
3.5.2 <i>Análise Preliminar de Risco – APR</i>	57
3.5.3 <i>Estudo de Operabilidade e Riscos - HazOp</i>	60
3.5.4 <i>Análise de Modos de Falhas e Efeitos – (FMEA – Failure Mode and Effect Analysis)</i>	61
3.5.5 <i>Análise Histórica de Eventos</i>	64
3.5.6 <i>Análise de Árvore de Eventos - AAE</i>	68
3.5.7 <i>Análise de Árvore de Falhas - AAF</i>	71
3.5.8 <i>Comparação entre aplicações de algumas das técnicas de avaliação de risco e perigos apresentados</i>	76
3.6 PROGRAMA DE GERENCIAMENTO DE RISCOS	77
3.6.1 <i>Responsabilidades e atribuições</i>	78
3.6.2 <i>Informações sobre segurança de processo</i>	80
3.6.3 <i>Procedimentos operacionais</i>	81
3.6.4 <i>Análise de riscos (revisão de riscos de processos)</i>	82
3.6.5 <i>Manutenção e garantia de integridade de sistemas críticos</i>	83
3.6.6 <i>Treinamento</i>	84
3.6.7 <i>Gerenciamento de modificações</i>	85
3.6.8 <i>Plano de Ação de Emergência (PAE)</i>	86
3.6.9 <i>Investigação de acidentes</i>	89
3.6.10 <i>Comunicação e manutenção do PGR</i>	90
3.7 CRITÉRIO PARA A CLASSIFICAÇÃO DE INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS QUANTO À PERICULOSIDADE (CRITÉRIO CETESB)	91
3.7.1 <i>Classificação de gases e líquidos tóxicos</i>	94
3.7.2 <i>Classificação de gases e líquidos inflamáveis</i>	95
3.7.3 <i>Determinação das quantidades e distâncias seguras</i>	96
3.7.4 <i>Hipóteses acidentais</i>	96
3.7.5 <i>Valores de referência</i>	97

3.7.6	<u>Aplicação do critério da CETESB</u>	98
3.7.7	<u>Avaliação dos Resultados da Aplicação do Critério</u>	101
3.8	CRITÉRIO PARA A CLASSIFICAÇÃO DE INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS QUANTO À PERICULOSIDADE (CRITÉRIO FEPAM)	102
3.8.1	<u>Classificação das instalações</u>	102
3.8.2	<u>Padrões de tolerabilidade de riscos adotados pela FEPAM</u>	106
3.8.3	<u>Exigências para obtenção de licenças</u>	109
3.9	ANÁLISE DE RISCOS DE ACIDENTES EM INSTALAÇÕES NUCLEARES E RADIATIVAS	113
3.9.1	<u>Análise Determinística de Segurança de Instalações Nucleares e Radiativas</u>	114
3.9.2	<u>Análise Probabilística de Risco de Centrais Nucleares</u>	116
3.9.3	<u>Análise Probabilística de Risco das demais instalações nucleares</u>	118
3.10	INCERTEZAS NOS ESTUDOS DE ANÁLISE DE RISCO	120
3.10.1	<u>Incertezas nos dados de falhas</u>	120
3.10.2	<u>Incertezas nas avaliações de conseqüências</u>	121
3.10.3	<u>Incertezas nos dados sobre os erros humanos</u>	121
4	METODOLOGIA PARA DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	122
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	126
5.1	<u>APLICAÇÃO DO PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO NA ELABORAÇÃO DOS ESTUDOS DE ANÁLISE DE RISCO</u>	126
5.2	<u>EXIGÊNCIAS DE ESTUDOS DE RISCO PARA INSTALAÇÕES NUCLEARES E RADIATIVAS</u>	129
5.3	<u>EXIGÊNCIAS DE ESTUDOS DE RISCO PARA INSTALAÇÕES CONVENCIONAIS</u>	133
5.4	<u>ABORDAGEM PROPOSTA PARA ATENDIMENTO ÀS EXIGÊNCIAS DE EAR</u>	147
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	148
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	151
	<u>ANEXO I - ATIVIDADES OU EMPREENDIMENTOS SUJEITOS AO LICENCIAMENTO AMBIENTALDE ACORDO COM RESOLUÇÃO CONAMA Nº 237/97</u>	159

Lista de Figuras

	Página
Figura 3.1 – Fluxograma do Licenciamento Ambiental – Licença Prévia – LP	25
Figura 3.2 – Fluxograma do Licenciamento Ambiental – Licença de Instalação – LI.....	26
Figura 3.3 – Fluxograma do Licenciamento Ambiental – Licença de Operação – LO	27
Figura 3.4 – Procedimento geral simplificado para elaboração de um <i>Estudo de Análise de Riscos</i>	44
Figura 3.5 – Distância normalizada \bar{d} [m/kg ^{1/3}] para detonação de cargas de TNT	51
Figura 3.6 – Matriz de classificação de risco utilizando categorias de severidade, frequência e risco adotadas pela FEPAM	60
Figura 3.7 – Etapas da Técnica de Análise Histórica de Eventos	67
Figura 3.8 – Árvore de eventos para grande liberação de GLP, preenchida com valores de frequências	70
Figura 3.9 – Símbolos de portas lógicas utilizadas na construção das árvores de falhas	74
Figura 3.10 – Símbolos de eventos, utilizados na construção das árvores de falhas	74
Figura 3.11 – Exemplo de árvore de falhas para um sistema de alarme de fogo	75
Figura 3.12 – Fatores que influenciam os Estudos de Análise de Riscos em instalações industriais	93
Figura 3.13 – Critérios de Tolerabilidade de Riscos Sociais adotados pela FEPAM	108
Figura 3.14 – Critérios de Tolerabilidade de Riscos Individuais adotados pela FEPAM.....	109
Figura 4.1 – Abordagem para o desenvolvimento do trabalho.	125
Figura 5.1 – Distância de Referência [m] x Massa de HF [kg] (substância tóxica) calculada pelos critérios da CETESB e da FEPAM para as quatro categorias de risco	137
Figura 5.2 – Distância de Referência [m] x Massa de amônia [kg] (substância tóxica) calculada pelos critérios da CETESB e da FEPAM para as quatro categorias de risco	139
Figura 5.3 – Distância de Referência [m] x Massa de acetileno [kg] (substância inflamável) calculada pelos critérios da CETESB e da FEPAM para as quatro categorias de risco..	141
Figura 5.4 – Distância de Referência [m] x Massa de metanol [kg] (substância inflamável) calculada pelos critérios da CETESB e da FEPAM para as quatro categorias de risco..	143
Figura 5.5 – Distância de Referência [m] x Massa de TNT [kg] (substância explosiva) calculada pelos critérios da CETESB e da FEPAM para as quatro categorias de risco	145

Lista de Tabelas

	Página
Tabela 3.1 – Efeitos devidos a sobrepressão oriunda de explosões.....	52
Tabela 3.2 – Técnicas para identificação de perigos e suas principais aplicações.....	76
Tabela 3.3 – Classificação de substâncias tóxicas.....	94
Tabela 3.4 – Classificação de substâncias tóxicas pelo DL ₅₀	95
Tabela 3.5 – Classificação de substâncias inflamáveis.....	95
Tabela 3.6 – Volume do tanque e altura do dique considerados.....	97
Tabela 3.7 – Substâncias de referência para líquidos e gases tóxicos.....	100
Tabela 3.8 – Substâncias de referência para líquidos e gases inflamáveis.....	100
Tabela 3.9 – Classificação das instalações/atividades com base no Índice de Risco – IR.....	105
Tabela 5.1 – Distância de população onde ocorre mudança de classificação de instalações para diferentes massas de HF [kg] (substância tóxica) calculada pelos critérios da CETESB e da FEPAM.....	137
Tabela 5.2 – Distância de população onde ocorre mudança de classificação de instalações para diferentes massas de amônia [kg] (substância tóxica) calculada pelos critérios da CETESB e da FEPAM.....	139
Tabela 5.3 – Distância de população onde ocorre mudança de classificação de instalações para diferentes massas de acetileno [kg] (substância inflamável) calculada pelos critérios da CETESB e da FEPAM.....	141
Tabela 5.4 – Distância de população onde ocorre mudança de classificação de instalações para diferentes massas de metanol [kg] (substância inflamável) calculada pelos critérios da CETESB e da FEPAM.....	143
Tabela 5.5 – Distância de população onde ocorre mudança de classificação de instalações para diferentes massas de TNT [kg] (substância explosiva) calculada pelos critérios da CETESB e da FEPAM.....	145

Lista de Quadros

Quadro 3.1 – Planilha para aplicação da técnica APR.....	59
--	----

Lista de Abreviaturas e Siglas

AAE	Análise de Árvores de Eventos
AAF	Análise de Árvores de Falhas
AIEA	Agência Internacional de Energia Atômica
ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo
APR	Análise Preliminar de Risco
CELAF	Centro de Licenciamento Ambiental Federal
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
EAR	Estudo de Análise de Riscos
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
FEEMA	Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler
FMEA	Análise de Modos de Falhas e Efeitos
FUNAI	Fundação Nacional do Índio
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
HAZOP	Estudo de Operabilidade e Riscos
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
LI	Licença de Instalação
LO	Licença de Operação
LP	Licença Prévia
ONG	Organização Não Governamental
PAE	Plano de Ação de Emergência
PGR	Programa de Gerenciamento de Risco
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
TMI-1	Central Nuclear Three Mile Island (Unidade 1)
TMI-2	Central Nuclear Three Mile Island (Unidade 2)
USNRC	Comissão Regulatória Nuclear dos EUA
USDOD	Departamento de Defesa dos EUA
USDOE	Departamento de Energia dos EUA
UVCE	Explosão de Nuvem de Vapor não-Confinado

Nomenclatura**Símbolos**

CL_{50} = concentração letal 50

d = distância mínima de segurança [m];

\bar{d} = distância normalizada [$m/kg^{1/3}$] e

D_b = diâmetro da bola de fogo [m] e

DL_{50} = dose letal 50

dp = distância da população fixa [m]

ds = distância Segura [m]

$EqTNT$ = Valor do equivalente em TNT

FD = fator de distância

FP = Fator de perigo

$IDLH$ = Máxima concentração de substância no ar à qual pode se expor uma pessoa por 30 minutos sem danos irreversíveis à saúde

IR = índice de risco

LII = limite inferior de inflamabilidade

M = massa de material combustível [kg].

MLA = massa que pode ser liberada acidentalmente

MR = massa de referência

PE = ponto de ebulição

PF = ponto de fulgor

W = massa equivalente do material combustível, em kg de TNT.

ΔH_c = calor de combustão do material [kJ/kg]

1 INTRODUÇÃO

O meio ambiente sofreu, por muito tempo, com a atividade predatória do homem, que, estimulado por sua ganância, retirou-lhe, de forma irresponsável, sem controle ou planejamento, as riquezas naturais, em busca de um lucro. A resposta da natureza para essas atividades foi catastrófica e, a partir das três últimas décadas, os governos mundiais passaram a se preocupar com meios legais de defesa contra a degradação ambiental (FREITAS, 2005).

A Constituição Federal de 1988 impôs como obrigação da sociedade e do próprio Estado, a preservação e a defesa do meio ambiente. Desde a Lei Federal nº 6938 (BRASIL, 1981), o licenciamento é um dos mais importantes instrumentos para o controle de atividades efetivas ou potencialmente poluidoras. O licenciamento é basicamente uma atividade a ser exercida pelo Poder Público Estadual, conforme a Resolução CONAMA nº 237, de 18 de dezembro de 1997 (CONAMA, 1997).

Para o desenvolvimento do processo de licenciamento ambiental é necessária a elaboração de diversos documentos técnicos, definidos pelo órgão ambiental competente, com a participação do empreendedor. Desde a publicação da Resolução CONAMA nº 001/86 (CONAMA, 1986a), que instituiu a necessidade de realização de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), para o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, os *Estudos de Análise de Riscos – EARs* passaram a ser incorporados neste processo, de forma que, além dos aspectos relacionados com a poluição, também a prevenção dos acidentes operacionais fosse contemplada. Os requisitos mínimos para os *EARs* são normalmente definidos pelo órgão ambiental através da definição de um Termo de Referência, o qual a equipe executora deverá tomar como base sem, contudo, excluir a sua capacidade de inovação (FEEMA, 2004), (CETESB, 2003a), (FEPAM, 2001).

São exemplos de atividades sujeitas a exigências de *Estudos de Análise de Riscos*: extração e beneficiamento de minérios; indústrias químicas e

petroquímicas; produção e distribuição de energia elétrica; transporte e depósitos de materiais perigosos.

No caso do licenciamento de empreendimentos que utilizam materiais nucleares, a Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN é partícipe no processo de licenciamento ambiental. O setor nuclear é um dos pioneiros no mundo na elaboração de Análises de Riscos de suas instalações e tem uma grande experiência a qual tem sido transmitida ao longo dos anos para os demais setores (VASCONCELOS et al., 2004) (USNRC, 1975). O processo de licenciamento de instalações nucleares da CNEN exige que sejam elaborados Relatórios de Análise de Segurança onde devem ser analisados, com profundidade, em um dos capítulos, os acidentes postulados (CNEN, 2002, 1998, 1997, 1989, 1980). Devem ser identificados e analisados todos os acidentes de probabilidade não desprezível, desde os menores até os Acidentes Bases de Projeto, incluindo suas causas e conseqüências. Em cada caso, devem ser identificados os dispositivos e procedimentos apropriados que previnam ou atenuem as conseqüências do acidente.

Assim, de uma maneira geral, se considera que o processo de licenciamento de instalações que manipulam substâncias perigosas é capaz de identificar os impactos ambientais, inclusive aqueles decorrentes de acidentes. No entanto, existem algumas distorções no que concerne à exigência dos Estudos de Análise de Risco, isto é, alguns empreendimentos do mesmo setor apresentam essas análises de risco e outros, sem motivos aparentes, não apresentam (BRASIL, 2003). Além disso, apenas alguns estados da federação solicitam esses estudos, tendo produzido manuais para elaboração de análises de risco (CETESB, 2003a), (FEPAM, 2001). Desta forma, algumas empresas começam a instalação e a operação de suas atividades sem o devido conhecimento dos possíveis impactos ambientais que poderão ser gerados por acidentes nas instalações ou no manuseio de substâncias perigosas. Não há uma uniformidade de entendimento quanto à obrigatoriedade de elaboração dos Estudos de Análise de Risco no âmbito governamental. Isto faz com que não exista, ainda, um dispositivo legal que obrigue os empreendimentos com maior risco de acidentes a desenvolver

esses estudos, bem como os respectivos Planos de Emergência para os casos de acidentes.

Normalmente a falta de capacitação do analista ou da equipe do órgão ambiental responsável pela formulação dos estudos e condicionantes que deverão ser apresentados pelo empreendedor, com vistas a obter as licenças ambientais, não tem permitido a identificação *a priori* os riscos da operação. O desconhecimento dos detalhes de produção, dos equipamentos utilizados, das instalações e da qualidade dos materiais pode levar o órgão ambiental a não exigir os Estudos de Análise de Risco, ou fazer exigências descabidas, o que tem fragilizado todo o processo de licenciamento do empreendimento (Brasil, 2003).

Assim, pela sistemática atual, é possível que setores como o petrolífero, o químico, o elétrico, o de mineração, o nuclear ou o de armazenamento - barragens de rejeitos (barragem construída para reter rejeitos ou materiais estéreis de mineração e de outros processos industriais) possam ter impactos severos no ambiente, em caso de acidentes, sem terem sido devidamente identificados e analisados no processo de licenciamento.

2 OBJETIVOS E IMPORTÂNCIA DO TRABALHO

2.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é avaliar as exigências de análise de risco de acidentes, para fins de licenciamento, em instalações que manipulam substâncias perigosas, incluindo os documentos técnicos de licenciamento exigidos, as técnicas utilizadas, a definição de hipóteses acidentais, a análise de conseqüências, a redução de risco e os critérios de aceitação de risco, bem como propor uma abordagem para seu atendimento.

Os seus objetivos específicos são:

- Identificar e analisar a legislação ambiental e os regulamentos relacionados à análise de risco de acidentes;
- Comparar critérios de órgãos ambientais quanto a exigências e escopo dos Estudos de Análise de Risco;
- Comparar critérios de órgãos ambientais e da CNEN quanto a exigências e escopo das análises de risco de acidentes;
- Propor formas de atendimento a exigências de análise de risco, tendo em vista critérios conservativos, tanto de instalações convencionais, quanto nucleares e radiativas;
- Avaliar conflitos e repartições de competências entre diferentes órgãos governamentais (federais, estaduais e municipais), quanto às exigências de análise de risco.

2.2 Importância do Trabalho

No Brasil com a Resolução nº 1 de 23 de janeiro de 1986, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, foi instituída a necessidade de realização do *Estudo de Impacto Ambiental - EIA* e do *Relatório de Impacto Ambiental - RIMA*

para o licenciamento de atividades potencialmente modificadoras do meio ambiente, como, por exemplo, indústrias de processamento químico. Os *Estudos de Análise de Risco – EARs* passaram a ser incorporados neste processo, para determinados tipos de empreendimentos, de forma que, além dos aspectos relacionados com poluição crônica, também a prevenção de acidentes fosse contemplada no processo de licenciamento.

Existe grande e difusa quantidade de legislação (leis, decretos, normas, resoluções, portarias, etc.) nos níveis federal, estaduais e municipais, relacionadas aos EARs, gerando desde conflitos de conceituação, dificuldades da implementação dos EARs e atendimento à legislação, dificuldades na classificação dos riscos, até conflitos de competências entre os organismos responsáveis pela exigência e aprovação deste tipo de estudo.

Além disso, no caso do setor nuclear, a CNEN é partícipe do processo de licenciamento ambiental, incluindo exigências legais e regulamentares específicas, tornando ainda mais complexa a definição do escopo e abrangência das análises de risco de acidentes de seus empreendimentos. O presente trabalho, ao comparar as diferentes exigências, suas superposições e lacunas existentes, pretende propor uma abordagem geral para atendimento, de forma a subsidiar ações para aprimoramento do processo de licenciamento ambiental, no que diz respeito à análise de risco de acidentes.

Pretende-se propor uma uniformidade de entendimento quanto à obrigatoriedade de elaboração de estudos de risco, contribuindo para a elaboração futura de dispositivos legais que obriguem empreendimentos com maior risco de acidentes a desenvolver estes estudos, bem como os respectivos Planos de Ação de Emergência para os casos de acidentes.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados os conceitos de diversos termos utilizados neste texto, bem como a legislação e a regulamentação brasileira aplicáveis à análise de risco.

3.1 Conceitos e Definições

Algumas definições e conceitos relativos à análise e gerenciamento de risco se fazem necessários. São apresentados, neste capítulo, definições e conceitos baseados na legislação aplicável, (MACHADO, 2006) (MILARÉ, 2004) (BRASIL, 1989,1981) (CONAMA, 1997, 1986a, 1986b), no glossário da Defesa Civil para Estudos de Riscos e Medicina de Desastres (MPO, 1998), na terminologia adotada por diferentes órgãos ambientais estaduais (FEEMA, 2004) (SEBRAE/RJ, 2004) (CETESB, 2003a) (FEPAM, 2001) e em definições adotadas nas normas da CNEN (2005, 2002, 1998, 1997, 1989, 1980). São também apresentados definições e conceitos compilados em trabalhos relevantes na área de análise de risco (CAMACHO, 2004) (TEIXEIRA, 2004) (SENNE JR., 2003) (CPRH & GTZ, 2000).

- **Acidente:** Evento ou seqüência de eventos fortuitos e não planejados que dão origem a uma conseqüência específica e indesejável, em termos de danos humanos, materiais ou ambientais.
- **Acidente postulado:** Acidente considerado como de ocorrência admissível para fins de análise visando o estabelecimento das condições de segurança capazes de impedir e/ou minimizar eventuais conseqüências.
- **ALARA:** Do inglês “*As Low as Reasonably Achievable*” (tão baixo quanto razoavelmente atingível). Significa que os riscos devem ser reduzidos sempre que os custos das medidas necessárias para redução forem razoáveis quando comparado com os benefícios obtidos em termos de redução de riscos. Às

vezes são também referidos como ALARP - “*As Low as Reasonably Possible*” (tão baixo quanto razoavelmente possível).

- **Análise de riscos:** avaliação qualitativa ou quantitativa dos riscos apresentados por uma instalação ou atividade, baseada em técnicas de identificação de perigos, estimativa de freqüências e conseqüências, análise de vulnerabilidade e na estimativa do risco.
- **Análise de vulnerabilidade:** Estudo realizado por intermédio de modelos matemáticos para a previsão dos impactos danosos às pessoas, instalações e meio ambiente. É baseada em limites de tolerância estabelecidos através do parâmetro *Probit* para os efeitos de sobrepressão decorrentes de explosões, radiações térmicas decorrentes de incêndios e efeitos tóxicos de emissões agudas de substâncias químicas na atmosfera.
- **Área de exclusão:** Área que circunda a fábrica e pertence obrigatoriamente ao patrimônio do requerente, o qual tem, nessa área, autoridade para determinar todas as atividades julgadas necessárias para fins de segurança, inclusive remoção de pessoal. Deve ter dimensão tal, que o indivíduo estacionado em qualquer ponto de sua divisa por duas horas, imediatamente após a liberação máxima postulada de radioatividade, não receberia uma dose total de radiação superior a 25 rem no corpo inteiro, ou superior ou 300 rem na tireóide por inalação de Iodo 131.
- **Área vulnerável:** Área no entorno da atividade, na qual o ambiente, a população e os trabalhadores encontram-se expostos aos efeitos de acidentes. A abrangência dessa área é determinada pela Análise de Vulnerabilidade.
- **Avaliação de risco:** Processo de utilização dos resultados da análise de riscos para a tomada de decisão, através de critérios comparativos de riscos, para definição da estratégia de gerenciamento dos riscos e aprovação do licenciamento de um empreendimento.
- **BLEVE:** do inglês *Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion*, é o fenômeno de ruptura catastrófica de um reservatório contendo líquido sob pressão. Este fenômeno ocorre quando acontece a ruptura da parede do vaso sob pressão

contendo líquido ou gás liquefeito superaquecido, podendo gerar mísseis, i. e., fragmentos do vaso ou seus componentes, e bola de fogo.

- **Bola de fogo (*fireball*):** É o fenômeno que se verifica quando o volume de vapor inflamável, inicialmente comprimido em um recipiente, escapa repentinamente para a atmosfera e, devido à despressurização, forma um volume esférico de gás, cuja superfície externa queima, enquanto a massa inteira se eleva por efeito da redução da densidade provocada pelo superaquecimento.
- **Categorias de risco:** Hierarquia de risco estabelecida com base na potencialidade dos danos causados por acidentes, visando à priorização das ações de controle e fiscalização.
- **Concentração letal 50 (CL₅₀):** É a concentração calculada e estatisticamente obtida, de uma substância no ar, que ingressa no organismo por inalação, e que, em condições bem determinadas, é capaz de causar a morte de 50% de um grupo de animais de certa espécie. É normalmente expressa em ppm (partes por milhão), devendo também ser mencionada o tempo de duração da exposição do animal à substância.
- **Confiabilidade:** Probabilidade de que um equipamento ou sistema opere com sucesso por um período de tempo especificado e sob condições de operação definidas.
- **Curva de iso-risco:** Curva determinada pela intersecção de pontos com os mesmos valores de risco provenientes de uma mesma instalação industrial. Também conhecida como “contorno de risco”.
- **Curva F-N:** Curva determinada pela plotagem das frequências acumuladas de acidentes (F) *versus* as respectivas conseqüências expressas em número de fatalidades (N).
- **Dano:** Efeito adverso à integridade física de um organismo. Conceitos mais amplos e elaborados podem ser apresentados:
 - a) **Danos humanos.** Os danos humanos são dimensionados em função do número de pessoas desalojadas, desabrigadas, deslocadas, desaparecidas,

feridas gravemente, feridas levemente, enfermas ou mortas. A longo prazo também pode ser dimensionado o número de pessoas: incapacitadas temporariamente ou incapacitadas definitivamente. Como uma mesma pessoa pode sofrer mais de um tipo de dano, o número total de pessoas afetadas é igual ou menor que a somatória dos danos humanos.

b) Danos materiais. Os danos materiais são dimensionados em função do número de edificações, instalações e outros bens danificados e destruídos, bem como do valor estimado para a reconstrução ou recuperação dos mesmos. É desejável discriminar a propriedade pública e a propriedade privada, bem como os danos que incidem sobre os menos favorecidos e sobre os de maior poder econômico. Devem ser discriminados e especificados os danos que incidem sobre: instalações públicas de saúde, de ensino e prestadoras de outros serviços; unidades habitacionais de população de baixa renda; obras de infra-estrutura; instalações comunitárias; instalações particulares de saúde, de ensino e prestadoras de outros serviços e unidades habitacionais de classes mais favorecidas.

c) Danos ambientais. Os danos ambientais, por serem de mais difícil reversão, contribuem de forma importante para o agravamento dos desastres e são normalmente medidos quantitativamente em função do volume de recursos financeiros necessários à reabilitação do meio ambiente. Os danos ambientais são estimados em função do nível de: poluição e contaminação do ar, da água ou do solo; degradação, perda de solo agricultável por erosão ou desertificação; desmatamento, queimada e riscos de redução da biodiversidade representada pela flora e pela fauna.

- **Dispersão atmosférica:** É a mistura de um gás ou vapor com o ar. Esta mistura é o resultado da troca de energia cinética turbulenta, a qual é função da velocidade do vento e do perfil da temperatura ambiente.
- **Distância à população fixa (d_p):** Distância, em linha reta, da fonte de vazamento à pessoa mais próxima situada fora dos limites da instalação em estudo.

- **Distância segura (d_s):** Distância determinada pelo efeito físico decorrente do cenário acidental considerado, onde a probabilidade de fatalidade é de até 1% das pessoas expostas, ou seja, praticamente nula.
- **Dose letal 50 (DL50):** É a quantidade, calculada e estatisticamente obtida, de uma substância, administrada por qualquer via, exceto a pulmonar, e que em condições bem determinadas, é capaz de causar a morte de 50% de um grupo de animais de certa espécie.
- **Efeito dominó:** Evento decorrente da sucessão de outros eventos parciais indesejáveis, cuja magnitude global é o somatório dos eventos individuais.
- **Erro humano:** Ações indesejáveis ou omissões decorrentes de problemas de seqüenciamento, tempo, conhecimento, interfaces e/ou procedimentos, que resultam em desvios de parâmetros estabelecidos ou normais e que colocam pessoas, equipamentos e sistemas em risco.
- **Estabilidade atmosférica:** É a medida do grau de turbulência da atmosfera, normalmente definida em termos de gradiente vertical de temperatura. A atmosfera é classificada em seis categorias de estabilidade, A a F, sendo A a mais instável, F a mais estável e D a neutra. A classificação é realizada a partir da velocidade do vento, radiação solar e percentagem de cobertura de nuvem. A condição neutra corresponde a um gradiente vertical de temperatura da ordem de 1 °C para cada 100 m de altitude.
- **Estimativa de conseqüências:** É a estimativa do comportamento de uma substância química quando de sua liberação acidental no meio ambiente.
- **Estudos ambientais** - são todos e quaisquer estudos relativos aos aspectos ambientais relacionados à localização, instalação, operação e ampliação de uma atividade ou empreendimento, apresentado como subsídio para a análise da licença requerida, tais como: relatório ambiental, plano e projeto de controle ambiental, relatório ambiental preliminar, diagnóstico ambiental, plano de recuperação da área degradada e análise preliminar de risco.

- **Estudo de Análise de Risco (EAR):** Documento exigido desde a publicação da Resolução CONAMA nº 001/86, dentro do processo de licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, para determinados tipos de empreendimentos, de forma que, além dos aspectos relacionados com a poluição, também a prevenção de acidentes operacionais fosse contemplada no processo de licenciamento. A Análise de Risco é utilizada para avaliar tanto a implementação quanto a operação de uma atividade ou empreendimento no que se refere aos perigos envolvendo a operação com produtos perigosos (químicos tóxicos, inflamáveis, explosivos ou radioativos).
- **Estudo de Impacto Ambiental (EIA):** Processo de realização de estudos preditivos sobre um empreendimento, analisando e avaliando os resultados. O EIA é composto de duas partes: uma fase de previsão, em que se procura prever os efeitos de impactos esperados antes que ocorra o empreendimento, e outra em que se procura medir, interpretar e minimizar os efeitos ambientais durante a construção e após a finalização do empreendimento. O EIA conduz a uma estimativa do impacto ambiental.
- **Explosão de nuvem de vapor não-confinado:** A explosão de nuvem de vapor não-confinado (*UVCE - Unconfined Vapour Cloud Explosion*) é a rápida combustão de uma nuvem de vapor inflamável ao ar livre, seguida de uma grande perda de conteúdo, gerada a partir de uma fonte de ignição. Neste caso, somente uma parte da energia total irá se desenvolver na forma de ondas de pressão e a maior parte na forma de radiação térmica.
- **Explosão de vapor confinado:** A explosão de vapor confinado (*CVE - Confined Vapour Explosion*) é o fenômeno causado pela combustão de uma mistura inflamável num ambiente fechado, com aumento na temperatura e na pressão internas, gerando uma explosão. Esse tipo de explosão pode ocorrer com gases, vapores e pós. Neste caso, grande parte da energia se manifesta na forma de ondas de choque e quase nada na forma de energia térmica.

- **Explosão:** É um processo onde ocorre uma rápida e violenta liberação de energia, associado a uma expansão de gases, acarretando o aumento da pressão acima pressão atmosférica (sobrepessão).
- **Flashfire:** Incêndio em nuvem de vapor onde a massa envolvida e o seu grau de confinamento não são suficientes para atingir o estado de explosão.
- **Frequência:** É o número de ocorrências de um evento por unidade de tempo.
- **Gestão ou gerenciamento de riscos:** Processo de controle de riscos compreendendo a formulação e a implantação de medidas e procedimentos técnicos e administrativos que têm por objetivo prevenir, reduzir e controlar os riscos, bem como manter uma instalação operando dentro de padrões de segurança considerados toleráveis ao longo de sua vida útil.
- **IDLH:** Do inglês *“Immediately Dangerous to Life and Health”* (imediatamente perigoso para vida e saúde). Representa a máxima concentração de substância no ar à qual pode se expor uma pessoa por 30 minutos sem danos irreversíveis. Valores de concentrações (IDLH) para substâncias são estabelecidos pelo NIOSH (*“National Institute for Occupational Safety and Health – USA”*).
- **Incêndio:** É um 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.
- **Instalação nuclear:** Instalação na qual material nuclear é produzido, processado, reprocessado, utilizado, manuseado ou estocado em quantidades relevantes, a juízo da CNEN. Estão, desde logo, compreendidos nesta definição: reator nuclear; usina que utilize combustível nuclear para produção de energia térmica ou elétrica para fins industriais; fábrica ou usina para a produção ou tratamento de materiais nucleares, integrante do ciclo do combustível nuclear; usina de reprocessamento de combustível nuclear irradiado; depósito de materiais nucleares, não incluindo local de armazenamento temporário usado durante transportes.

- **Instalação radiativa:** Estabelecimento ou instalação onde se produz, utiliza, transporta ou armazena fontes de radiação. Excetuam-se desta definição: as instalações nucleares, os veículos transportadores de fontes de radiação quando estas não são partes integrantes dos mesmos.
- **Licença ambiental:** Ato administrativo pelo qual o órgão ambiental competente, estabelece as condições, restrições e medidas de controle ambiental que deverão ser obedecidas pelo empreendedor, pessoa física ou jurídica, para localizar, instalar, ampliar e operar empreendimentos ou atividades que utilizam recursos ambientais e que são considerados efetiva ou potencialmente poluidores ou aqueles que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental.
- **Licença de Implantação ou Instalação (LI):** Licença a ser expedida pelo Poder Público, autorizando a instalação de um empreendimento ou atividade, de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes.
- **Licença de Operação (LO):** Licença a ser expedida pelo Poder Público, autorizando a operação de um empreendimento ou atividade, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambientais e condicionantes determinantes para a operação.
- **Licença Prévia (LP):** Licença a ser expedida pelo Poder Público, na fase preliminar do planejamento de um empreendimento ou atividade, aprovando a sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação.
- **Licenciamento ambiental:** Procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, modificação, ampliação e a operação de empreendimentos ou atividades que utilizam recursos ambientais, considerados efetiva ou potencialmente poluidores, ou

aqueles que, sob qualquer forma, possam causar a degradação ambiental, considerando as disposições legais e as normas técnicas aplicáveis ao caso.

- **Limite Inferior de Inflamabilidade (LII):** É a mínima concentração de um gás que, misturada ao ar atmosférico, é capaz de provocar a combustão do produto, a partir do contato com uma fonte de ignição. Concentrações de gás abaixo do LII não são combustíveis, pois, nesta condição, tem-se excesso de oxigênio e pequena quantidade do produto para a queima. Esta condição é chamada de “mistura pobre”.
- **Limite Superior de Inflamabilidade (LSI):** É a máxima concentração de gás que misturada ao ar atmosférico é capaz de provocar a combustão do produto, a partir de uma fonte de ignição. Concentrações de gás acima do LSI não são combustíveis, pois, nesta condição, tem-se excesso de produto e pequena quantidade de oxigênio para que a combustão ocorra, é a chamada “mistura rica”.
- **Operações anormais:** Eventos que possam decorrer do mau funcionamento de sistemas, condições anormais de operação ou erros do pessoal de operação, com magnitude que, em geral, não teriam efeitos significativos além da *área de exclusão*. Para o caso de instalações nucleares, é bastante utilizado o conceito de área e exclusão:
- **Perigo:** Uma ou mais condições, físicas ou químicas, com potencial para causar danos às pessoas, à propriedade, ao meio ambiente ou à combinação desses.
- **Plano de Ação de Emergência (PAE):** Documento que define as responsabilidades, diretrizes e informações, visando à adoção de procedimentos, técnicos e administrativos, estruturados de forma a propiciar respostas rápidas e eficientes em situações emergenciais. Contém o planejamento para controlar e minimizar os efeitos previsíveis de um desastre específico.
- **População fixa:** Pessoa ou agrupamento de pessoas em residências ou estabelecimentos, industriais ou comerciais, presentes no entorno de um

empreendimento. Vias com grande circulação de veículos, como rodovias, grandes avenidas e ruas movimentadas, devem ser consideradas como “população fixa”.

- **Probit:** Parâmetro que serve para relacionar a intensidade de fenômenos como radiação térmica, sobrepressão e concentração tóxica com os danos que eles podem causar. O Probit (unidade de probabilidade) é uma variável randômica com média 5 e variância 1. O valor do Probit é relacionado a uma determinada porcentagem através de curvas ou tabelas.
- **Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR):** Documento que define a política e diretrizes de um sistema de gestão com vista à prevenção e minimização de acidentes em instalações ou atividades potencialmente perigosas.
- **Relatório Ambiental Preliminar (RAP):** Documento de caráter preliminar a ser apresentado no processo de licenciamento ambiental. Tem como função instrumentalizar a decisão de exigência ou dispensa de EIA e RIMA, para a obtenção da Licença Prévia.
- **Relatório de Análise de Segurança (RAS):** Documento técnico exigido pela CNEN, dentro do processo de licenciamento de instalações nucleares e radiativas, contendo as informações e avaliações exigidas para a obtenção das licenças de construção ou autorização para operação, de acordo com a legislação vigente.
- **Relatório de Impacto Ambiental (RIMA):** Documento que tem por objetivo refletir as conclusões de um Estudo de Impacto Ambiental (EIA). Suas informações técnicas devem ser expressas em linguagem acessível ao público, ilustradas por mapas com escalas adequadas, quadros, gráficos e outras técnicas de comunicação visual, de modo que se possam entender claramente as possíveis consequências ambientais e suas alternativas, comparando as vantagens e desvantagens de cada uma delas.
- **Risco**
 - a) **Como tradução de Hazard:** Uma ou mais condições de uma variável com

potencial necessário para causar danos como: lesões pessoais, danos a equipamentos e instalações, danos ao meio ambiente, perda de material em processo ou redução da capacidade de produção. A existência do risco implica na possibilidade de existência de efeitos adversos.

b) Como tradução de Risk: Expressa uma probabilidade de possíveis danos dentro de um período específico de tempo ou número de ciclos operacionais, podendo ser indicado pela probabilidade de um acidente multiplicada pelos danos em valores monetários, vidas ou unidades operacionais. Risco pode ainda significar:

- Incerteza quanto à ocorrência de um determinado evento (acidente), e
- Chance de perda que uma empresa pode sofrer por causa de um acidente ou série de acidentes.

O conceito de risco envolvido com a ocorrência de um determinado evento, adotado neste trabalho, pode ser expresso matematicamente como:

$$Risco \left[\frac{\textit{conseqüência}}{\textit{tempo}} \right] = \textit{freqüência} \left[\frac{\textit{evento}}{\textit{tempo}} \right] \times \textit{magnitude} \left[\frac{\textit{conseqüência}}{\textit{evento}} \right] \quad (3.1)$$

- **Risco aceitável:** Risco muito pequeno, cujas conseqüências são limitadas, associado a benefícios percebidos ou reais tão significativos, que grupos sociais estão dispostos a aceitá-lo. A aceitabilidade do risco diz respeito a informações científicas, fatores sociais, econômicos e políticos, assim como aos benefícios decorrentes desta condição.
- **Risco Individual:** É a freqüência esperada anual de que um indivíduo situado em uma determinada posição nas proximidades de uma instalação industrial seja vítima fatal em decorrência de um acidente na referida instalação.
- **Risco social:** Risco para um determinado número ou agrupamento de pessoas expostas aos danos de um ou mais acidentes.

3.2 Noções Básicas sobre Meio Ambiente e Direito Ambiental.

3.2.1 O Estado Federal Brasileiro e sua repartição de competências

A Constituição Brasileira, adotando o federalismo, determina a existência de várias ordens na composição de nossa Federação: A União como a ordem total, os Estados como ordens regionais e os Municípios como ordens locais.

Essa múltipla composição, conseqüentemente, permite que sobre o mesmo povo e sobre o mesmo território, seja sentida a incidência de diversas ordens estatais, o que só se torna possível em razão de uma rígida repartição de competências dentre os entes federativos parciais (FERRARI, 2001).

3.2.1.1 A competência privativa sobre o meio ambiente

A competência privativa da União em relação ao meio ambiente, com a exclusão dos demais entes federativos, vem disposta no art. 22 da Constituição Federal, como por exemplo: o inciso IV refere-se a águas; o inciso XII às jazidas, minas e outros recursos naturais; o inciso XXVI disciplina as atividades nucleares de qualquer natureza. Nestes casos é fácil perceber que é predominante o interesse nacional.

Compete aos municípios legislar sobre assuntos de interesse local e promover, no que couber, adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano (Constituição Federal, art. 30). Porém, o conceito de interesse local é difícil de ser definido, havendo divergências no entendimento.

Chega-se à competência privativa dos Estados por exclusão, isto é, quando a matéria não pertence, privativamente, à União ou aos Municípios (Constituição Federal, art. 25). A Constituição Federal reserva, expressamente, aos Estados, matérias de competência privativa que podem ter reflexo na qualidade do meio ambiente, como na hipótese do art. 25, parágrafo 3º, que disciplina a instituição de Regiões Metropolitanas, aglomerações urbanas e microrregiões e, neste particular, a eles cabem a disciplina legislativa de preservação e defesa do meio ambiente (FERRARI, 2001).

3.2.1.2 A competência concorrente e o meio ambiente

Conforme o artigo 24 da Constituição Federal: “Compete à União, aos Estados e ao Distrito Federal legislar concorrentemente sobre”: inciso VI “florestas, caça, pesca, fauna, conservação da natureza, defesa do solo e dos recursos naturais, proteção do meio ambiente e controle da poluição”; inciso VII “proteção ao patrimônio histórico, cultural, turístico e paisagístico; inciso VIII responsabilidade por dano ao meio ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico”.

Cabe ao Estado editar normas gerais na falta das federais e admite-se, a hierarquia da legislação estadual sobre as municipais. Não se deve esquecer que os Estados, no que diz respeito às competências privativas, só as possuem por exclusão, isto é, quando a matéria não for privativa da União ou dos Municípios e isso sem esquecer que a Constituição, por determinação expressa, reserva aos Estados competências privativas.

Ao tratar da autonomia municipal e a legislação sobre meio ambiente, a competência do Município é sempre concorrente com a da União e a dos Estados da Federação. Pode então legislar sobre todos os aspectos do meio ambiente, de acordo com a autonomia local, quando então sua legislação deve prevalecer sobre qualquer outra, desde que preservados os interesses locais o que não ocorre nas hipóteses em que a emissão da lei decorra de competências privativas.

Sendo assim, pode-se concluir a respeito da competência concorrente em matéria de meio ambiente, que o Município deve ater-se às prescrições gerais da União e do Estado. Ele não pode, por exemplo, sob a alegação de autonomia, legislar diminuindo a restrição geral, mas pode até criar novas restrições para proteger o meio ambiente, desde que não se afaste das determinadas pelas normas gerais (FERRARI, 2001).

3.2.1.3 A competência comum e o meio ambiente

A Constituição Federal determinou a competência comum para atuação das diversas ordens do poder na Federação, através da tarefa comum de proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas, quando diz que cabe a todos, Poder Público e coletividade, a preservação do meio ambiente.

Como se pode observar existe, em princípio, uma superposição de atribuições propiciadora de conflitos, que, em última instância, deverão ser solucionados pelo Poder Judiciário (BRASIL, 2005).

Pode-se, resumidamente, relacionar princípios que devem orientar a solução de conflitos entre as diversas pessoas políticas, no que tange à competência comum relativa à questão ambiental:

- a)** Quando a competência for privativa da União, do Estado ou do Município, existe, conforme o caso, a prevalência da fiscalização do órgão federal, estadual ou municipal. Contudo, com base na competência comum de proteção do meio ambiente, não se retira a possibilidade de eventual controle por parte das outras pessoas jurídicas de direito público interno, sem invalidar a prevalência anotada.
- b)** Quando a competência for comum, é preciso analisar a existência ou não do interesse nacional, regional ou local, para daí definir a competência material. Seja, por exemplo, o caso de devastação, em grande proporção, da Serra do Mar: Configura interesse da União. Já na hipótese do controle da contaminação do solo de só um Município, por indústria nele instalada com sua autorização, o interesse local deve prevalecer.

Vale dizer que é importante a proteção e a preservação do meio ambiente e que eventuais conflitos devem ser resolvidos sempre pela prevalência da atuação, material ou legislativa, que melhor defenda o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, essencial para sadia qualidade de vida das presentes e futuras gerações (FERRARI, 2001).

3.2.2 Política Nacional do Meio Ambiente

A Política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento sócio - econômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana (BRASIL, 1981).

A Política Nacional do Meio Ambiente consagra um princípio muito importante quanto à responsabilidade do poluidor. Em questões ambientais ela é objetiva, isto é, independente da existência de dolo (intenção de causar o dano) ou culpa (negligência, imperícia ou imprudência) (BRASIL, 1981). O poluidor é responsável pelos danos causados ao Meio Ambiente e a terceiros, devendo repará-los. Isto porque a atividade poluente acaba sendo uma apropriação pelo poluidor dos direitos de outrem, pois, na realidade, a emissão de poluentes representa um confisco do direito de alguém em respirar ar puro, beber água saudável e viver com tranquilidade (BRASIL, 1989).

A Lei Federal nº 6.938/81 (BRASIL, 1981) estabelece, dentre outros, os seguintes instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente:

- O Estudo de Impacto Ambiental;
- O zoneamento ambiental;
- O licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras.

A referida Lei trata do licenciamento ambiental, definindo as atividades e os empreendimentos, que dependerão de prévio licenciamento.

“Art. 10: A construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, considerados efetiva e potencialmente poluidores, bem como os capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento de órgão estadual competente, integrante do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA, e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, em caráter supletivo, sem prejuízo de outras licenças exigíveis”.

O art. 2º da Resolução CONAMA nº 237/97, (CONAMA, 1997), trata das atividades e empreendimentos que estão sujeitos ao licenciamento ambiental, e que são aqueles listados no Anexo I desta dissertação.

O licenciamento ambiental é o instrumento capaz de formalizar o papel pró-ativo do empreendedor, garantindo aos detentores das licenças o reconhecimento público de que suas atividades serão realizadas com a perspectiva de promover a qualidade ambiental e sua sustentabilidade. Cabe ressaltar que o licenciamento ambiental não exime o empreendedor ou responsável pela atividade da obtenção de outras licenças legalmente exigíveis, conforme determinado na Lei nº 6.938/81, com a redação dada pela Lei nº 7.804/90. Esta lei estabelece que compete ao IBAMA o licenciamento de atividades e obras com significativo impacto ambiental, de âmbito nacional ou regional. A Resolução CONAMA nº 237/97 definiu como impacto ambiental regional todo e qualquer impacto ambiental que afete diretamente, no todo ou em parte, o território de dois ou mais Estados (IBAMA, 2002) (CAVALCANTI, 1997).

Para a obtenção da Licença Ambiental, além do atendimento aos padrões estabelecidos, os impactos ambientais negativos decorrentes da implantação do empreendimento devem ser previstos, corrigidos, mitigados e compensados, assim como introduzidas práticas adequadas de gestão na operação, na perspectiva da contribuição específica do empreendimento à qualidade ambiental e à sua sustentabilidade.

Com base nos documentos apresentados pelo empreendedor a Diretoria de Licenciamento e Qualidade Ambiental do IBAMA realiza o enquadramento do empreendimento ou atividades nas classes de licenciamento, que estão estabelecidas em função da origem do processo, competência, etapa do projeto e do licenciamento e estágio dos estudos ambientais (IBAMA, 2006).

No processo de licenciamento ambiental, o IBAMA faz o licenciamento considerando o exame técnico procedido pelos órgãos ambientais dos Estados e Municípios em que se localizar a atividade ou empreendimento, conforme estabelecido na Resolução CONAMA nº 237/97. Os órgãos estaduais e municipais envolvidos têm sua participação por meio de pareceres, considerados em conjunto com os demais critérios durante o processo de análise ambiental conduzido pelo IBAMA. Essa participação também se dá por meio de contribuições para

elaboração do Termo de Referência e acompanhamento das vistorias e das Audiências Públicas.

3.2.3 Licenciamento Ambiental

O Licenciamento Ambiental (Lei nº 6.938/81) é caracterizado por três fases distintas: Licença Prévia - **LP**, Licença de Instalação - **LI** e Licença de Operação - **LO**.

Licença Prévia - LP

É o documento que deve ser solicitado na fase preliminar de planejamento da atividade, correspondente à fase de estudos para definição da localização do empreendimento. O fluxograma para obtenção da Licença Prévia, de acordo com o Centro de Licenciamento Ambiental Federal – CELAF (IBAMA, 2006), é apresentado na Figura 3.1.

São os seguintes requisitos para obtenção da LP:

- Requerimento de LP;
- Formulário de Pedido de Licença;
- Cópia da publicação de pedido de LP (CONAMA, 1986b);
- Apresentação de estudos ambientais.

Nesta etapa o órgão licenciador deve:

- Elaborar o Termo de Referência para a realização dos estudos ambientais (EIA/RIMA);
- Analisar os estudos ambientais;
- Vistoriar o local do empreendimento; e
- Promover audiência pública (quando couber).

Antes da concessão da licença o empreendedor deverá pagar as taxas de análise de estudos ambientais e de emissão de LP. A concessão da LP não

autoriza a execução de quaisquer obras ou atividades destinadas à implantação do empreendimento.

Licença de Instalação - LI

É o documento que deve ser solicitado antes da implantação do empreendimento. Nesta fase o órgão licenciador analisa os documentos solicitados na LP (projeto técnico, programas ambientais e plano de monitoramento). O fluxograma para obtenção da Licença de Instalação, (IBAMA, 2006) é apresentado na Figura 3.2.

São os seguintes requisitos para obtenção da LI:

- Requerimento de LI;
- Cópia da publicação da concessão da LP;
- Cópia de autorização de desmatamento expedida pelo IBAMA (quando couber);
- Licença da prefeitura municipal;
- Plano de Controle Ambiental - PCA; e
- Cópia da publicação do pedido de LI.

Antes da concessão da licença o empreendedor deverá pagar a taxa de análise de estudos ambientais e a taxa de emissão de LI. A concessão da LI implica no compromisso do interessado em manter o projeto final compatível com as condições de seu deferimento.

Licença de Operação - LO

É o documento que deve ser solicitado antes da operação do empreendimento. O fluxograma para a obtenção da LO, (IBAMA, 2006), é apresentado na Figura 3.3.

Nesta fase o órgão licenciador deve:

- Analisar os documentos solicitados na LI; e
- Vistoriar as instalações e os equipamentos de controle ambiental.

São os seguintes requisitos para obtenção da LO:

- Requerimento de LO;
- Cópia da publicação da concessão da LI; e
- Cópia da publicação do pedido da LO.

A concessão da LO implica no compromisso do interessado em manter o funcionamento dos equipamentos de controle da poluição, de acordo com as condições de seu deferimento.

Todo o processo de licenciamento no IBAMA é feito ouvindo-se os Órgãos Estaduais de Meio Ambiente e demais instituições envolvidas (Ministério Público, ONGs, ANEEL, CNEN, IPHAN, ANP, ANA, FUNAI, etc.).

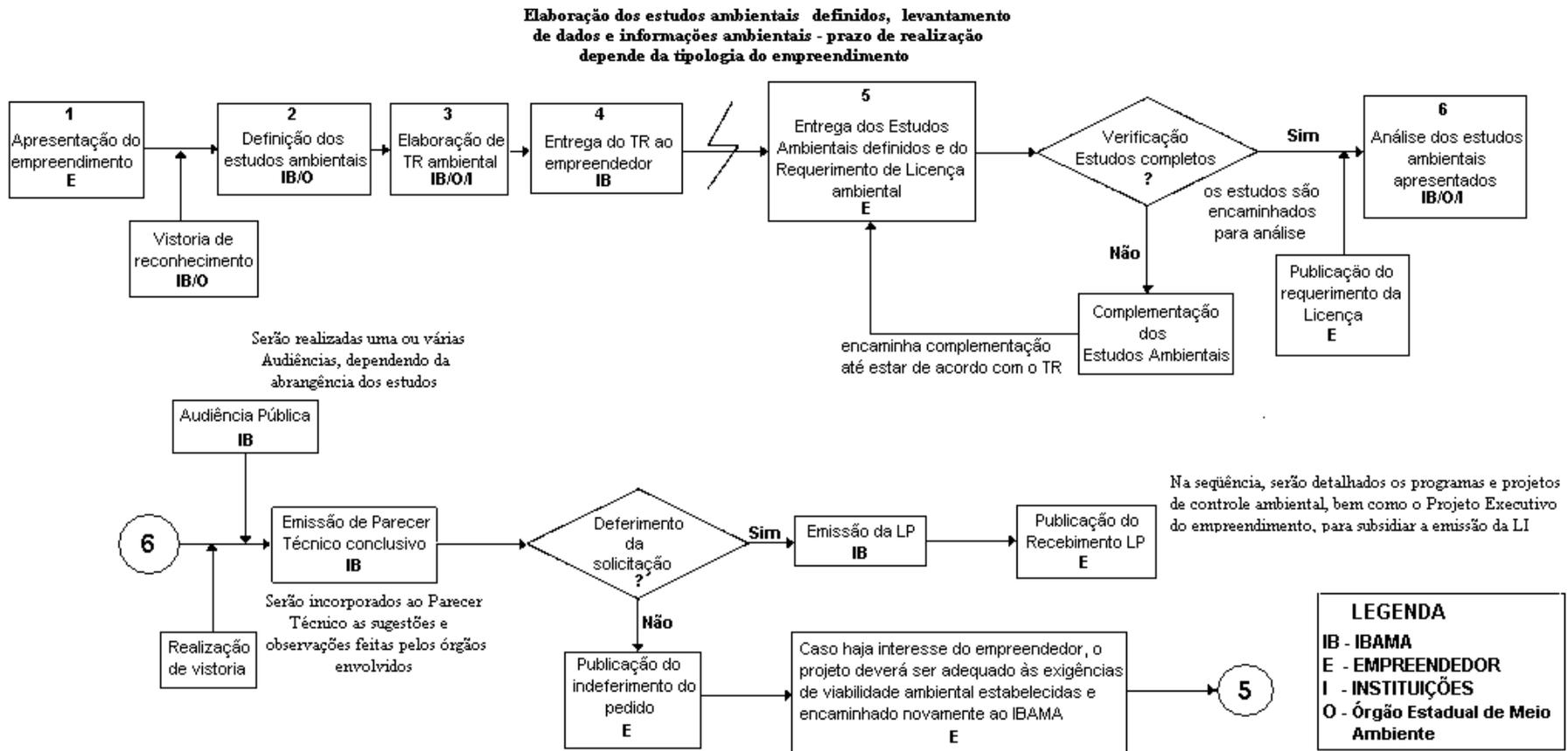


Figura 3.1 – Fluxograma do Licenciamento Ambiental – Licença Prévia – LP (IBAMA, 2006).

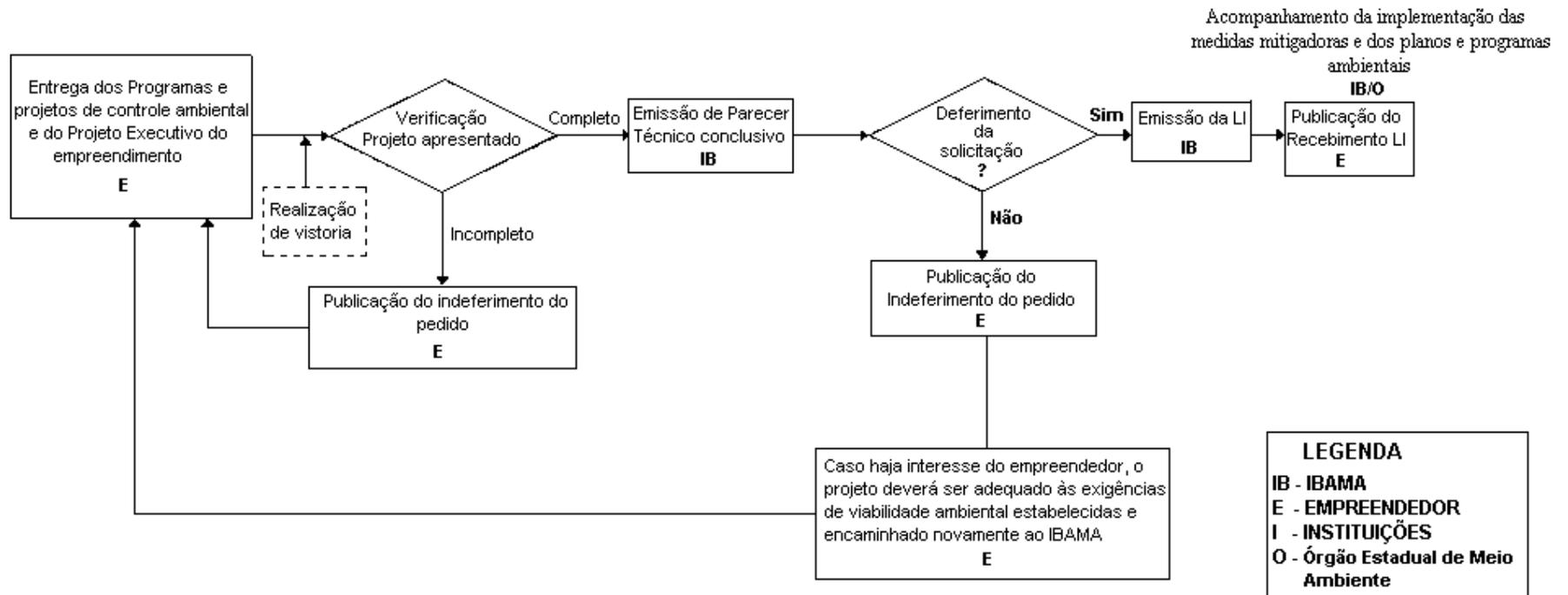


Figura 3.2 – Fluxograma do Licenciamento Ambiental – Licença de Instalação – LI (IBAMA, 2006).

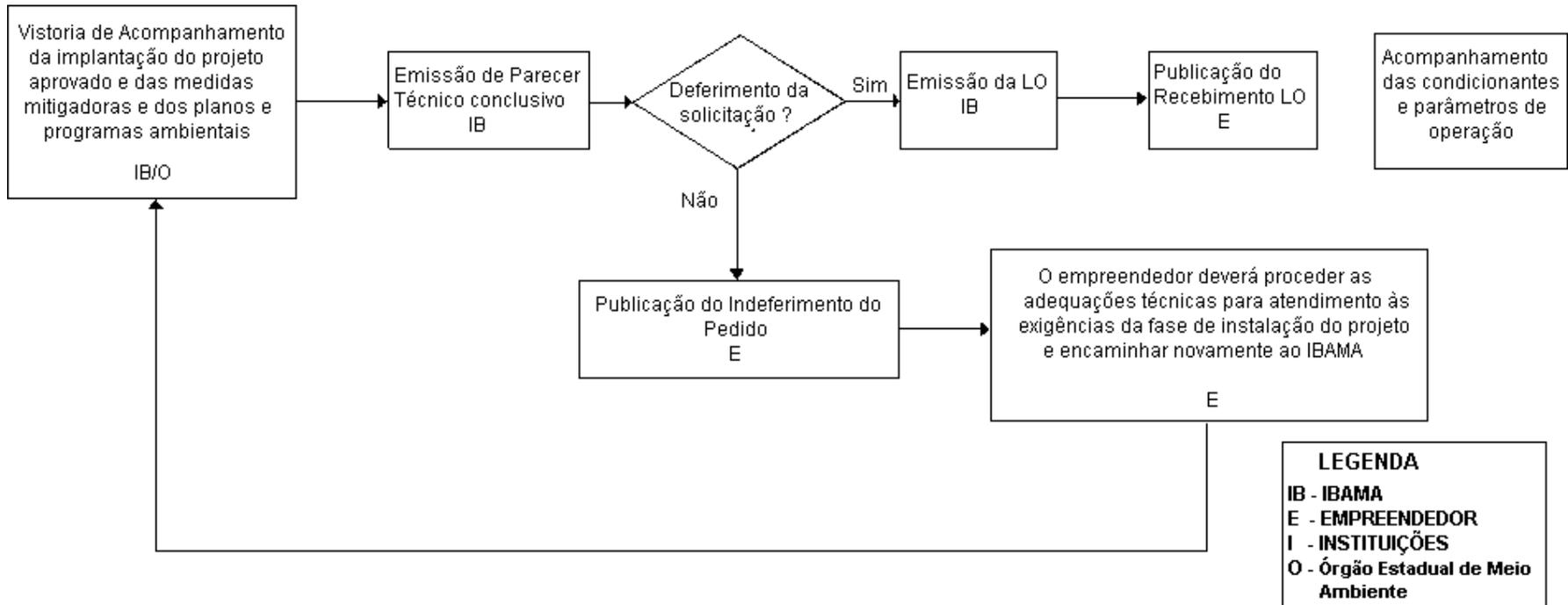


Figura 3.3 – Fluxograma do Licenciamento Ambiental – Licença de Operação – LO (IBAMA, 2006).

3.2.4 Princípio da Precaução

A Constituição Federal dispõe sobre a publicidade do Estudo de Impacto Ambiental, possibilitando aos cidadãos conhecer os riscos que correm e a posição governamental adequada a cada caso. (MACHADO, 2006, 2001). Em se tratando de meio ambiente, não é necessário que se prove a certeza do malefício, mas a simples suspeita respalda uma intervenção. A dúvida é base suficientemente para que a proteção ao meio ambiente seja imediatamente posta em primeiro lugar, porque deste depende a vida humana. Segundo a Constituição Federal é dever de todos proteger o meio ambiente para as futuras gerações, ou seja, não cabe apenas ao Estado a defesa, cabe também à sociedade se organizar para exigir proteção ao meio ambiente.

O **Princípio da Precaução** teve a sua gênese nos anos 70, no Direito Alemão, que já o adotava como fundamento das políticas ambientais nesta época (MACHADO, 2006). Posteriormente, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo, em 1972 e a criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA impulsionaram a introdução do referido princípio nos debates internacionais sobre a proteção do meio ambiente (WCED, 1988). Na década de 80, a idéia de precaução foi incorporada nos textos de diversas declarações e tratados internacionais sobre questões ambientais específicas, especialmente em matéria de controle da poluição. Finalmente, em 1992 foi consagrado pela Declaração do Rio de Janeiro, formulada por ocasião da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (ONU, 1992).

A aplicação do Princípio da Precaução significa deixar de exercer atos que possam, ainda que, em mera probabilidade, causar danos à saúde e ao meio ambiente. Na série de princípios elaborados pela conferência de 1992 no Rio de Janeiro, estava o princípio da precaução, assim definido:

“Princípio 15: De modo a proteger o meio ambiente, o princípio da precaução deve ser amplamente observado pelos Estados, de acordo com

suas capacidades. Quando houver ameaça de danos sérios ou irreversíveis, a ausência de absoluta certeza científica não deve ser utilizada como razão para postergar medidas eficazes e economicamente viáveis para prevenir a degradação ambiental”.

A Constituição Federal de 1988 prevendo que o desenvolvimento devia ser fiscalizado pela potencialidade de risco ao meio ambiente, impôs que fosse realizado estudo prévio de impacto ambiental, conforme pode ser visto pelo artigo 225 (SILVA, 2003):

“Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e as futuras gerações”.

§1º Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao poder público:

“(...) IV- exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade;

V- controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente.”

O Estudo do Impacto Ambiental (EIA) existe justamente para auferir o grau de prejuízo ambiental, e se for o caso aplicar o Princípio da Precaução, inibindo o ato até que se possam dimensionar os impactos. Este estudo é internacionalmente entendido como um instrumento de medição do potencial negativo da atividade, organismo, substância radioativa ou produtos químicos sobre o meio ambiente.

Se não for possível provar que não há riscos ao meio ambiente fica desautorizada a realização da obra ou atividade. Na dúvida em favor do meio ambiente. (CONAMA, 1986).

A Resolução do CONAMA nº 001/1986 estabeleceu critérios específicos para o Estudo de Impacto Ambiental.

“(...) a análise dos impactos ambientais do projeto e de suas alternativas, através de identificação, previsão da magnitude e interpretação da importância dos prováveis impactos relevantes, discriminando: os impactos positivos e negativos (benéficos e adversos), diretos e indiretos, imediatos e a médio e longo prazo; temporários e permanentes; seu grau de reversibilidade; suas propriedades cumulativas e sinérgicas; a destruição do ônus e benefícios sociais”.

Esta resolução regula o que deve conter os Estudos de Impacto Ambiental realizados, e exige também que se demonstrem os benefícios sociais, o que denota direcionamento para o fator humano no processo como um todo.

As convenções internacionais ratificam o Princípio da Precaução, essencialmente em função de que o meio ambiente equilibrado é direito da humanidade, o que não quer dizer, absolutamente, que o meio ambiente de um país é direito da humanidade (ATTANASIO JR. & ATTANASIO, 2004).

Prevenir tem custos altos, principalmente porque envolve educação ambiental. Entretanto, a relação custo/benefício é suficientemente elevada para optar pela prevenção como melhor caminho, em qualquer área do conhecimento. Os custos da recuperação de um meio ambiente degradado são muito superiores aos valores que são gastos a título de prevenção. Os investimentos públicos na área da prevenção são realizados de acordo com as possibilidades econômicas, mas sem deixar de considerar que a preservação do meio ambiente equilibrado é interesse de todos. Trata-se inclusive de direito fundamental, direito da humanidade e essencial para a sobrevivência da raça humana (BENJAMIN, 1993).

A Lei Federal nº 9.605/98 (BRASIL, 1998), dispõe sobre o princípio da precaução, considerando como crime a conduta de poluir o meio ambiente com a possibilidade de causar dano à saúde humana:

“Art.54. Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora. Pena – reclusão, de um a quatro anos e multa”.

“(...) §3º - Incorre nas mesmas penas previstas no parágrafo anterior, quem deixar de adotar, quando assim o exigir a autoridade competente, medidas de precaução em casos de risco de dano ambiental grave ou irreversível.”

No Brasil, a teoria da responsabilidade civil objetiva estabelece que a culpa *lato senso* é dispensável para a caracterização do dever de reparação, bastando que haja a relação de causalidade entre o ato (por ação ou omissão) e a degradação ao meio ambiente. Por esta teoria não importa se houve intenção ou não de degradar o meio ambiente, o dano causado basta como causa para que seja exigido o reparo (BENJAMIN, 1993).

Apesar de tudo isto, as indenizações por danos ambientais não têm surtido os efeitos esperados. Esta realidade pode ser vista por reiteradas multas, inclusive a órgãos públicos, como por exemplo, a Petrobrás, por derramamento de óleo. A principal causa da ineficiência das multas são os valores, expressivamente pequenos diante do poderio econômico da maioria das empresas degradadoras. Investir para reduzir os riscos é muito mais caro do que pagar as multas. O objetivo da penalidade pecuniária é o redobramento de cuidados. Porém, em nosso país surtem o efeito inverso! Já que na maioria das vezes é melhor pagar a multa do que gastar com prevenção. Este é um dos motivos pelo qual a legislação exige a aplicação do Princípio da Precaução (MIRRA, 2001).

O que este princípio preconiza, de uma maneira geral, é que, quando existem dúvidas científicas sobre os riscos provocados por uma atividade, empreendimento, processo ou produto, devem ser adotadas medidas destinadas a evitar a concretização de danos ao meio ambiente ou à saúde pública.

Portanto o **Princípio da Precaução** assume, atualmente, um papel de destaque no procedimento de Licenciamento Ambiental, uma vez que tem por objetivo afastar o perigo de dano ambiental em situações de incertezas quanto aos efeitos provocados por uma atividade (CEZAR & ABRANTES, 2003).

Outro princípio no processo de licenciamento ambiental é o **Princípio da Prevenção**, o qual se fundamenta no conceito de que os efeitos adversos conhecidos de atividades antrópicas devem ser prevenidos (BENJAMIM, 1993).

A principal diferença entre o Princípio da Precaução e o Princípio da Prevenção está no fato do conhecimento ou não das possíveis conseqüências e efeitos adversos ligados a determinada atividade. Enquanto o Princípio da Prevenção fundamenta-se no fato de que sabendo os efeitos adversos estes devem ser prevenidos, o Princípio da Precaução preconiza que existindo dúvidas científicas sobre possíveis ameaças, medidas a fim de se evitar a concretização de tais danos devem ser adotadas. Ambos são princípios fundamentais que norteiam a legislação ambiental brasileira (MIRRA, 2001).

3.2.4.1 O Princípio da Precaução e o Estudo de Impacto Ambiental

No âmbito da gestão dos riscos, o Estudo Prévio de Impacto Ambiental é um instrumento valioso de precaução, na medida em que possibilita, através de critérios estabelecidos pelos envolvidos (Poder Público, Empreendedor e Sociedade) analisar a viabilidade ambiental de um empreendimento ou atividade, ponderando-se os riscos que serão tolerados (MACHADO, 2006) (ATTANASIO JR. & ATTANASIO, 2004).

O Estudo de Impacto Ambiental tem como objetivo descrever os impactos ambientais previsíveis em decorrência de obras ou atividades, identificar a extensão destes impactos, com sugestões específicas relacionadas a alternativas

que sejam apropriadas para minimizar os seus efeitos sobre o meio ambiente, confrontando-as com a hipótese de não execução do projeto, avaliando-se, também, o grau de reversibilidade ou irreversibilidade dos impactos. Enfim, deve-se avaliar a viabilidade ambiental de uma atividade, impedindo que o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado sofra danos. Deverá preceder a execução de qualquer projeto, seja ele público ou privado, potencialmente causador de significativo dano ambiental. Sendo assim, o estudo deve ser prévio e realizado nos casos de obras ou atividades que tenham a potencialidade de causar (precaução) dano (impacto) ambiental. (ATTANASIO JR. & ATTANASIO, 2004).

A exigência constitucional de Estudo Prévio de Impacto Ambiental demonstra a preocupação com os aspectos da precaução e prevenção que devem nortear as questões ambientais e a degradação do meio ambiente. Também, nos casos em que houver potencialidade de causar significativo impacto ambiental, diante das incertezas do dano, do risco potencial de dano e, portanto, considerando-se o Princípio da Precaução, deverá ser realizado o Estudo Prévio de Impacto Ambiental. Este estudo, para se ter uma melhor percepção dos efeitos perigosos, deverá ser acompanhado de uma análise de risco que verifique, a probabilidade de ocorrência e a dimensão das conseqüências destes efeitos. Isto requer uma avaliação científica criteriosa, conduzindo a uma conclusão que exprima a possibilidade de ocorrência e a gravidade do impacto de um perigo potencial para o ambiente ou a saúde de uma determinada população, incluindo a extensão dos possíveis danos, a sua persistência, a reversibilidade e os efeitos retardados.

O Princípio da Precaução é, portanto, um instrumento essencial a ser observado nos processos decisórios relacionados a empreendimentos sujeitos a Estudo de Impacto Ambiental, uma vez que traz a idéia de cautela e cuidado antecipado.

A implementação de uma abordagem baseada no Princípio da Precaução deve privilegiar a cautela em relação aos riscos que podem causar danos graves ou irreversíveis ao meio ambiente, em casos de incertezas científicas. Há

relevância em se distinguir os Princípios da Precaução e Prevenção, na medida em que este se relaciona a um risco conhecido e o primeiro a um risco potencial. Assim, quando da realização do Estudo de Impacto Ambiental, o mesmo poderá identificar a necessidade de aplicação de um ou de outro princípio que poderá determinar a concessão ou não do licenciamento ambiental. Se o risco é evidente, o estudo pode apontar medidas para que seja prevenido ou então sugerir a não aprovação do projeto. Por outro lado, se identificados apenas riscos potenciais, não havendo certeza científica quanto à extensão ou do grau dos mesmos, ainda assim o empreendimento pode não ser aprovado por conta da aplicação do Princípio da Precaução. (CEZAR & ABRANTES, 2003)

O Estudo Prévio de Impacto Ambiental é, então, um importante instrumento de aplicação do Princípio da Precaução, porque ao identificar a possibilidade de um risco potencial, cuja extensão não é possível de se prever, permite a ponderação sobre a viabilidade ambiental de um empreendimento. O Princípio da Precaução não deve ser visto como um instrumento contrário ao desenvolvimento, de aplicação indiscriminada e sem critério, com a finalidade de impedir a execução de determinadas atividades ou empreendimentos, por exemplo, por motivos meramente políticos, mas sim como uma maneira de se resguardar o meio ambiente e a qualidade de vida (MACHADO, 2006) (ATTANASIO JR. & ATTANASIO, 2004) (MIRRA, 2001).

3.2.4.2 O Princípio da Precaução e a Análise de Risco

A Análise de Risco pode ser entendida como a aplicação de um conjunto de conhecimentos disponíveis na identificação de efeitos adversos potencializados por um determinado agente. A Gestão de Risco é o processo de tomada de decisões posterior, no qual, com base nos resultados da Análise de Risco e em considerações sobre benefícios envolvidos, são escolhidas determinadas linhas de ação – seja para desconsiderar o risco, seja para evitá-lo ou minimizá-lo (KIRCHHOFF, 2004) (ALBERTON, 1996).

Formalmente, a Análise de Risco pode ser definida como a aplicação de uma metodologia e de conhecimentos tecnológicos, científicos e matemáticos

especializados para quantificar a probabilidade de um efeito adverso potencializado por um dado agente (COVELLO & MUNPOWER, 1985). Esse conceito de Análise de Risco pressupõe que, enquanto a consideração sobre o que sejam efeitos adversos pode ser uma decisão conduzida pelo senso comum, os demais aspectos suscitados pela Análise de Risco, pela complexidade dos detalhes envolvidos, devem ser tratados por especialistas. Portanto, deve ser feita uma clara distinção entre a Análise e a Gestão de Risco.

A Análise de Risco é uma atividade que deve ser feita por especialistas, que tem como finalidade estabelecer uma quantificação do risco, com base numa decisão anterior sobre o que deve ser considerado como efeito adverso, e sobre o tempo e os recursos que poderão ser utilizados na Análise. Além da quantificação do risco, deve ser entendido que a Análise de Risco deve indicar os pressupostos metodológicos adotados e o grau de incerteza referente ao prognóstico sobre o risco (CAMACHO, 2004).

A Gestão de Risco é tida como uma atividade distinta e posterior à Análise de Risco, onde, com base nos resultados fornecidos pela Análise de Risco e numa avaliação sobre eventuais efeitos colaterais envolvidos, indicam-se as providências a serem implementadas. Desse modo, ao contrário da Análise de Risco, a Gestão de Risco é normalmente caracterizada como uma atividade preponderantemente política, envolvendo diversos atores com diferentes qualificações (COVELLO & MUMPOWER, 1985).

Há posições bem justificadas que defendem a impossibilidade de uma total dissociação entre esses dois processos. Alguns autores criticam a condução da Análise de Risco exclusivamente segundo perspectivas técnico-científicas. Para estes autores “A Análise de Risco é muito importante e muito incerta para ser deixada exclusivamente para os analistas de risco. Acreditam que considerações de política social devem exercer um papel tão preponderante na escolha das estimativas de risco como na decisão final sobre quais riscos previstos deveriam ser julgados inaceitáveis”. (CEZAR & ABRANTES, 2003).

Tais críticas à separação entre a Análise e Gestão de Risco demonstram que a Análise de Risco pode pautar-se tanto por considerações exclusivamente

técnico-científicas quanto políticas. Essas duas perspectivas a que essa Análise se submete invadem a própria definição de “Análise de Risco”: a expressão é utilizada para designar o processo integral que engloba tanto o processo técnico-científico de quantificação do risco quanto a gestão do risco.

Daí se falar em uma Análise de Risco em sentido estrito – que remete especificamente à fase técnico-científica de quantificação do risco – e em uma Análise de Risco em um sentido mais amplo, abrangendo tanto a Análise de Risco em sentido estrito como a fase de Gestão de Risco.

As fases de uma Análise de Risco podem ser agrupadas, de maneira simplificada em:

- a)** A fase anterior à quantificação do risco, onde são definidos quais os efeitos adversos, segundo uma Percepção de Risco inicial. Nessa fase, é importante o conhecimento técnico-científico, mas também é decisiva a participação do senso comum. As decisões sobre quais efeitos são considerados adversos é uma decisão política.
- b)** A Análise de Risco propriamente dita, onde, com base em um conhecimento técnico-científico especializado e na identificação prévia dos efeitos adversos a serem considerados, é feita uma quantificação do risco. Dado que o nível de incerteza envolvido nessa quantificação é freqüentemente alto, exige-se também como requisito para a conclusão dessa fase, uma avaliação das incertezas envolvidas e uma descrição da metodologia seguida.
- c)** A Gestão de Risco, que é a etapa final de tomada de decisões, onde se escolhem determinadas linhas de ação a partir dos resultados fornecidos pela Análise de Risco. Nessa fase, assim como na primeira, há a participação tanto do conhecimento técnico-científico como o de senso comum, além de se adotarem parâmetros eminentemente políticos, especialmente no que se refere à definição do nível tolerável de risco.

Um dos principais problemas da relação entre o Princípio da Precaução e a Análise de Risco é o de saber a qual dessas fases o princípio se refere. Conforme

anteriormente mencionado, o Princípio é aplicável em situações de ameaça de danos sérios ou irreversíveis. (CEZAR & ABRANTES, 2003).

3.2.5 Licenciamento de instalações nucleares e radiativas

O licenciamento, a autorização, a fiscalização e a construção de instalações nucleares foram atribuídos à Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN pela Lei nº 4.118, (BRASIL, 1962), a qual foi alterada pela Lei nº 6.189, (BRASIL, 1974) e pela Lei nº 6.571 (BRASIL, 1978).

A Lei nº 6.938 (BRASIL, 1981), regulamentada pelo Decreto nº 99.274, (BRASIL, 1990), atribuiu a CNEN à competência para o licenciamento ambiental das instalações nucleares, ouvidos os órgãos estaduais e municipais interessados.

A lei nº 7.804, (BRASIL, 1989), alterou a lei nº 6.938/81, designando o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA como órgão responsável pelo licenciamento ambiental das instalações nucleares.

Em janeiro de 1991 foi assinado um convênio entre a CNEN-IBAMA objetivando regular as ações conjuntas dos dois órgãos, no sentido de otimizar o exercício de suas competências quanto ao procedimento de licenciamento, acompanhamento e controle das instalações nucleares, no que se refere aos aspectos ambientais (IBAMA, 2002).

A regulamentação do processo de licenciamento de uma instalação nuclear a cargo da CNEN é estabelecida na Norma CNEN-NE 1.04 “Licenciamento de Instalações Nucleares” (CNEN, 2002). Esse processo se aplica às atividades de localização, construção e operação dessas instalações e abrange as seguintes etapas:

- Aprovação do Local – ato pelo qual a CNEN aprova o local proposto para uma determinada instalação nuclear;
- Licença de Construção – ato pelo qual a CNEN permite a construção de uma instalação, após verificar a viabilidade técnica e o conceito de segurança do projeto e sua compatibilidade com a o local aprovado;

- Autorização para Utilização de Materiais Nucleares – ato pelo qual a CNEN autoriza a utilização de material nuclear em uma instalação nuclear;
- Autorização para Operação Inicial – autorização para operação concedida para início da fase operacional da instalação nuclear, após:
 - Verificação que a construção está substancialmente concluída;
 - Completada a avaliação do Relatório Final de Análise de Segurança e dos resultados dos testes pré-operacionais;
 - Constatada a inclusão, na instalação nuclear, de todas as condições suplementares de segurança exigidas pela CNEN durante a fase de construção;
- Autorização para Operação Permanente – autorização para operação concedida para operação da instalação nuclear em caráter permanente, após a conclusão da operação inicial e da operação com capacidade nominal em condições normais durante um intervalo de tempo contínuo, fixado pela CNEN. :

O processo de licenciamento de instalações radiativas é estabelecido pela Norma CNEN-NE 6.02 (CNEN, 1998), englobando as atividades relacionadas com a localização, construção, operação e modificações de instalações radiativas. Essas instalações são classificadas em três tipos:

- Instalações que utilizam fontes seladas;
- Instalações que utilizam fontes não seladas;
- Instalações que utilizam aceleradores de partículas.

Dependendo do tipo de instalação, o processo geral de licenciamento de uma instalação radiativa envolve, conforme o caso, a solicitação pelo requerente e a emissão pela CNEN de alguns dos seguintes atos:

- Aprovação Prévia;
- Licença de Construção;

- Autorização para aquisição de material radioativo;
- Autorização para aquisição de equipamento ou dispositivos com fontes radiativas incorporadas;
- Autorização para aquisição de aparelhos de raios X ou aceleradores de partículas; e
- Autorização para Operação.

O IBAMA exigirá, no licenciamento das instalações nucleares e radiativas, a Autorização Prévia junto com o EIA/RIMA para a obtenção da LP. Do mesmo modo, será necessária a obtenção da LP e LI para a obtenção da Licença de Construção. Para a obtenção da LO, será necessária a apresentação dessa licença. O efetivo funcionamento da atividade só será possível após a obtenção da Autorização para Operação, a ser fornecida pela CNEN. A infringência de qualquer das exigências estabelecidas nessas normas poderá acarretar a revogação das licenças ambientais.

3.2.6 Documentos técnicos para o licenciamento

3.2.6.1 Ficha de Caracterização do Empreendimento

O conhecimento prévio das características do empreendimento e da região de sua inserção reveste-se de importância fundamental para a definição das exigências a serem feitas e do conteúdo dos estudos a serem desenvolvidos. Esse conhecimento preliminar deve ser apresentado pelo empreendedor através da Ficha de Caracterização do Empreendimento – FCE.

A FCE é o documento que apresenta os principais elementos que caracterizam o empreendimento e a sua área de inserção, fornecendo informações acerca da justificativa da implantação do projeto, porte, tecnologia, localização do empreendimento e principais aspectos ambientais envolvidos (IBAMA, 2002).

3.2.6.2 Termos de Referência

A elaboração do Estudo Ambiental – EA, em casos de determinados tipos de atividade ou empreendimento, é precedida da elaboração de Termos de Referência fornecidos pelo IBAMA ao empreendedor.

Os Termos de Referência têm por objetivo estabelecer as diretrizes, conteúdo mínimo e abrangência do estudo ambiental exigido e é o instrumento orientador para seu desenvolvimento, expedido para a modalidade de Licença Prévia, quando do requerimento da licença. Os Termos de Referência constituem passo fundamental para que o EIA alcance o fim desejado e a qualidade esperada.

Os Termos de Referência são elaborados pelo IBAMA, a partir das informações prestadas pelo empreendedor na FCE e de seu banco de dados ambientais, estabelecendo as diretrizes adicionais àquelas gerais contidas na Resolução nº 001/86 que, pelas peculiaridades do empreendimento ou atividade e características ambientais da área, forem julgadas necessárias (IBAMA, 2002).

Caberá ao empreendedor propor mudanças que julgar convenientes com vistas à obtenção de maior adequação dos estudos ao empreendimento a ser licenciado. Ouvido o empreendedor, o IBAMA emitirá a versão final dos Termos de Referência.

3.2.6.3 Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental – EIA-RIMA

Para o licenciamento de ações e atividades modificadoras do meio ambiente com impactos significativos, a legislação prevê a elaboração, pelo empreendedor, do Estudo de Impacto Ambiental - EIA e respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA, a serem apresentados para a obtenção da Licença Prévia.

Conforme estabelecido pela Resolução CONAMA nº 237/97, cabe ao IBAMA verificar o potencial de degradação do meio ambiente, definindo os estudos ambientais pertinentes ao respectivo processo de licenciamento da atividade ou empreendimento.

O empreendedor deverá atender à solicitação de esclarecimentos e complementações, formuladas pelo órgão ambiental competente, dentro do prazo máximo de 4 (quatro) meses, a contar do recebimento da respectiva notificação, prazo este que poderá ser prorrogado, desde que justificado e com a concordância do empreendedor e do órgão ambiental competente (IBAMA, 2002).

3.2.6.4 Estudos Adicionais

Para determinadas tipologias de empreendimentos poderá ser solicitada a realização de estudos adicionais, incorporados ao EIA, a critério do IBAMA. Esta solicitação virá incluída nos Termos de Referência apresentados pelo IBAMA. Entre os estudos adicionais que podem ser solicitados se destaca o Estudo de Análise de Risco.

A Análise de Risco é utilizada para avaliar tanto a implementação quanto a operação de uma atividade ou empreendimento no que se refere aos perigos envolvendo a operação com produtos perigosos (substâncias químicas tóxicas, inflamáveis, explosivas ou radioativas).

Em projetos é usada para avaliar, por exemplo, processos que envolvem a manipulação de produtos potencialmente perigosos e simular, previamente à implantação da atividade, as possíveis conseqüências de sua futura operação para a população da área de implementação do empreendimento e para a qualidade ambiental da região.

Em empreendimentos ou atividades em operação, é utilizada para avaliar os perigos envolvendo tanto a emissão de poluentes, quanto o manejo de produtos perigosos e suas conseqüências na ocorrência de eventuais acidentes, seja para o público interno (funcionários) quanto para o público externo ao empreendimento.

A metodologia para a análise de riscos baseia-se no princípio de que o risco de uma instalação industrial para a comunidade e para o meio ambiente circunvizinho e externo aos limites do empreendimento, está diretamente associado às características das substâncias químicas manipuladas, suas respectivas quantidades e à vulnerabilidade da região onde a instalação está ou será localizada (SENNE JR., 2003).

Os fatores que influenciam os Estudos de Análise de Riscos são: periculosidade das substâncias, quantidade das substâncias e vulnerabilidade da região (USEPA, 2004).

Os estudos, em geral, apresentam o seguinte conteúdo: caracterização do empreendimento e da região; identificação de perigos e consolidação dos cenários acidentais; estimativa dos efeitos físicos e análise de vulnerabilidade; estimativa de freqüências; estimativa e avaliação de riscos; gerenciamento de riscos; e conclusões (CETESB, 2003a), (FEEMA, 2004) (FEPAM, 2001).

As recomendações para a redução das freqüências e conseqüências de eventuais acidentes devem ser consideradas como partes integrantes do processo de gerenciamento de riscos. Entretanto, independentemente da adoção dessas medidas, uma instalação que possua substâncias ou processos perigosos deve ser operada e mantida, ao longo de sua vida útil, dentro de padrões considerados toleráveis, razão pela qual um *Programa de Gerenciamento de Riscos - PGR* deve ser implementado e considerado nas atividades, rotineiras ou não, de uma planta industrial. Embora as ações previstas no PGR devam contemplar todas as operações e equipamentos, o programa deve considerar ainda os aspectos críticos identificados no Estudo de Análise de Riscos. Assim, devem ser priorizadas as ações de gerenciamento dos riscos, a partir de critérios estabelecidos com base nos cenários de maior relevância. Usualmente um PGR, contempla: informações de segurança do processo; procedimentos operacionais; capacitação de recursos humanos; investigação de acidentes; Plano de Ação de Emergência – PAE; auditorias; e relatórios; comunicação de risco. Como exemplos de Termos de Referência para elaboração de EAR's poder ser citados aqueles adotados pela (CETESB, 2003a) (FEPAM, 2001).

3.3 Desenvolvimento de Estudos de Análise de Riscos - EARs

A abrangência dos Estudos de Análise de Riscos dependerá da categoria de risco da instalação, definida pelo órgão licenciador. As exigências poderão ser desde uma Avaliação Preliminar de Perigo – APP até uma Avaliação Quantitativa

de Risco, dependendo dos níveis de risco da instalação (CETESB, 2003^a) (FEPAM, 2001).

Uma análise de riscos tem como objetivo uma avaliação qualitativa ou quantitativa dos riscos apresentados por uma instalação ou atividade, baseada em técnicas de identificação de perigos, estimativa de frequências e conseqüências, análise de vulnerabilidade e na estimativa do risco. O processo de avaliação de riscos utiliza os resultados da análise de riscos para a tomada de decisão quanto ao gerenciamento dos riscos, através da comparação com critérios de tolerabilidade de riscos previamente estabelecidos.

Portanto, analisar um risco é identificar, discutir e avaliar as possibilidades de ocorrência de acidentes, na tentativa de se evitar que estes eventos aconteçam e, caso ocorram, identificar as alternativas que tornam mínimos os danos subseqüentes a estes acontecimentos.

Alguns dos objetivos da execução de análise de riscos em instalações industriais são prevenir e prever falhas e acidentes; minimizar conseqüências; e auxiliar na elaboração de Planos Ação de Emergência. Para isso é necessária a adoção de metodologias sistemáticas e estruturadas para identificação de perigos e avaliação de riscos.

De uma maneira geral, um *Estudo de Análise de Riscos* engloba, as seguintes etapas mostradas na Figura 3.4 (baseada em CETESB, 2003a).

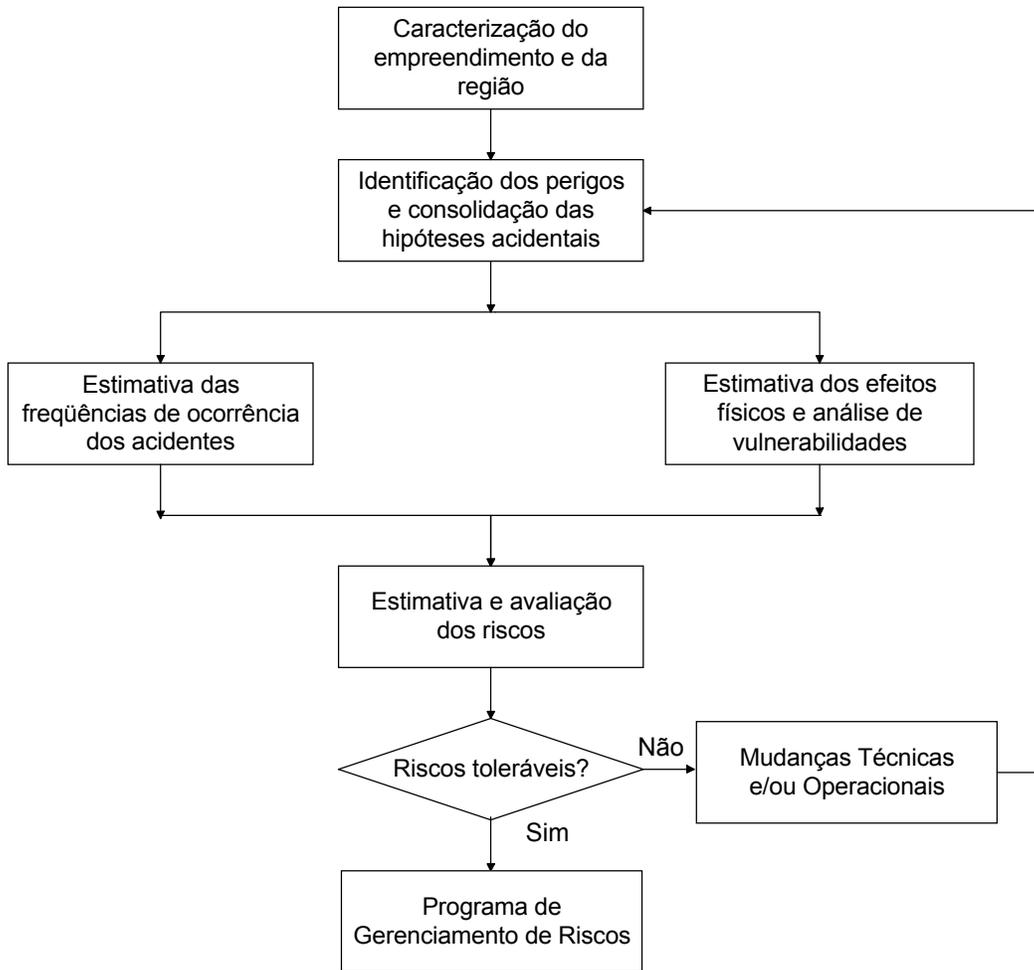


Figura 3.4 - Procedimento geral simplificado para elaboração de um *Estudo de Análise de Riscos* (baseado em CETESB, 2003a).

Para a realização do *Estudo de Análise de Riscos* é necessária a compilação de dados relativos às características do empreendimento, necessários para o desenvolvimento do trabalho. Esses dados são de especial importância para que seja possível caracterizar o empreendimento, contemplando seus aspectos construtivos e operacionais, além das peculiaridades da região onde o mesmo se encontra ou será instalado. (CETESB, 2003a).

A caracterização do empreendimento e da região tem por finalidade:

- Identificar aspectos comuns que possam interferir, tanto no empreendimento, como no meio ambiente;

- Identificar, na região, atividades que possam interferir no empreendimento, sob o enfoque operacional e de segurança; e
- Estabelecer uma relação direta entre o empreendimento e a região sob influência.

Como resultados práticos são esperados:

- A obtenção de um diagnóstico das interfaces existentes entre o empreendimento em análise e o local de sua instalação;
- A caracterização dos aspectos relevantes que subsidiarão os Estudos de Análise de Riscos, definindo os métodos, diretrizes ou necessidades específicas; e
- O auxílio na determinação do nível de abrangência do estudo.

Assim, esta etapa da análise de riscos deve contemplar os seguintes aspectos:

- Realização de levantamento fisiográfico da região sob influência do empreendimento;
- Caracterização das atividades e dos aspectos operacionais; e
- Cruzamento das informações e interpretação dos resultados.

No caso de empreendimentos lineares, como por exemplo, sistema de transporte de produtos químicos por dutos, deverá ser realizada uma análise detalhada de seu traçado, identificando e caracterizando as diferentes áreas sob influência e as devidas interferências no empreendimento.

a) Aspectos fisiográficos, como localização do empreendimento, corpos d'água, áreas litorâneas, núcleos habitacionais, sistemas viários, etc.

b) Características climáticas e meteorológicas da região, como temperatura, índices de pluviosidade, umidade relativa do ar; velocidade e direção de ventos.

c) Características da instalação, como processos, instrumentação, equipamentos, rotinas operacionais, dados operacionais (por exemplo:

pressão, vazão, temperatura), sistemas de proteção e segurança, substâncias químicas presentes incluindo matérias-primas, produtos, resíduos e insumos.

3.4 Estimativa de Efeitos Físicos de Acidentes e Análise de Vulnerabilidade

Tomando-se por base as hipóteses acidentais identificadas para uma determinada instalação, cada uma destas deverá ser estudada em termos de possíveis efeitos físicos que podem ser ocasionados, estimando também os impactos e danos causados por estas conseqüências.

A estimativa dos efeitos físicos decorrentes de cenários acidentais envolvendo substâncias inflamáveis deverá ser precedida da elaboração de *Árvores de Eventos* para a definição das diferentes tipologias acidentais. (CETESB, 2003a) (CAMACHO, 2004).

A *Análise de Árvores de Eventos (AAE)* deverá descrever a seqüência dos fatos que possam se desenvolver a partir do cenário acidental em estudo, prevendo situações de sucesso ou falha, de acordo com as interferências existentes, até a conclusão das mesmas com a definição das diferentes tipologias acidentais. As interferências a serem consideradas devem contemplar ações, situações ou mesmo equipamentos existentes ou previstos no sistema em análise, as quais se relacionam com o evento inicial da árvore e que possam acarretar diferentes “caminhos” para o desenvolvimento da ocorrência, gerando portanto diferentes tipos de fenômenos (VASCONCELOS, 1984).

A estimativa dos efeitos físicos deverá ser realizada através da aplicação de modelos matemáticos que efetivamente representem os fenômenos em estudo, de acordo com os cenários acidentais identificados e com as características e comportamento das substâncias envolvidas. (LEES, 1996). Estimados os possíveis efeitos físicos decorrentes dos cenários acidentais gerados pelas hipóteses acidentais, esses resultados deverão servir de base para a análise do ambiente vulnerável do entorno da instalação em estudo. Normalmente essa

análise é feita em termos das conseqüências nas pessoas expostas a esses impactos.

Acidentes típicos em instalações industriais envolvem incêndios, explosões e liberação de materiais tóxicos para a atmosfera e interiores de prédios. Dentre os modelos de cálculo dos efeitos físicos dos acidentes mais comuns podem ser citados: modelos de dispersão atmosférica; cálculo de conseqüências de incêndios; cálculo de conseqüências de explosões; e cálculo de conseqüências da liberação acidental de material tóxico (SENNE JR. & VASCONCELOS, 1995).

Existem disponíveis no mercado vários *softwares* desenvolvidos especialmente para cálculo das conseqüências de acidentes. Porém, entre as maiores dificuldades de uma análise de risco se destacam as determinações do cenário em que o acidente se desenvolve (causa do acidente, termo fonte, quantidade de material, condições de liberação, etc.) e a seleção do modelo adequado para cálculo de suas conseqüências (LEES, 1996). A seguir são apresentados alguns modelos para cálculo de conseqüência dos acidentes mais comuns.

3.4.1 Dispersão atmosférica

A emissão de contaminantes para a atmosfera é um problema associado a um grande número de atividades humanas; muitas destas atividades são geradoras de fluidos gasosos com características específicas muito diferentes das da atmosfera padrão. A aplicação de modelos de dispersão atmosférica tenta combinar, analiticamente, as características de emissão com os fenômenos meteorológicos presentes na atmosfera. Isto é feito com o objetivo de se determinar as concentrações em locais definidos ao redor da fonte emissora, e, assim, poder avaliar a aceitabilidade das atividades geradoras das emissões, tanto em condições normais quanto de acidentes. (BOUBEL, 1994).

O tratamento do comportamento do efluente na atmosfera pode ser implementado em diversos estágios:

- Estimativa da altura efetiva de liberação devido à entrada do efluente na atmosfera com temperatura, velocidade e composição diferente daquela do ar ambiente;
- Interferência na dispersão devido à estrutura do campo do vento e da pressão do fluxo de ar; e
- Processos de dispersão da pluma devido à sedimentação, reação, deposição seca, deposição úmida.

Uma propriedade importante na avaliação de cada estágio mencionado acima, é a chamada estabilidade atmosférica. Quando uma partícula de ar empreende um movimento vertical ascendente, ela se esfria adiabaticamente a uma taxa de $0,98^{\circ}$ C para cada 100 metros percorridos, em razão da redução de pressão. Esta taxa é definida como gradiente adiabático seco. Se a temperatura ambiente tiver um gradiente de temperatura exatamente igual ao gradiente adiabático, então a temperatura da partícula de ar será igual à do ambiente e não apresentará movimento ascendente. Se a temperatura ambiente decrescer com a altura a uma taxa maior que a do gradiente adiabático, então a partícula ascendente de ar permanecerá mais quente que o ar ambiente e acelerará para cima; esta é, assim, denominada atmosfera instável. Sob certas condições, em especial ao entardecer, a terra e as camadas superficiais da atmosfera se esfriam mais rapidamente que as camadas superiores; nestes casos o gradiente é menor que o gradiente adiabático e, em noites frias com ventos fracos, a temperatura pode se elevar com a altura; isto é conhecido como inversão térmica. Quando o gradiente térmico ambiente for menor que o adiabático seco ou quando houver uma inversão, a condição é dita estável; neste caso a partícula se torna mais densa e desacelera. (SLADE, 1968).

3.4.2 Diâmetro de uma bola de fogo

Para se ter uma avaliação inicial do alcance de um incêndio, isto é, das possíveis áreas afetadas por este acidente, um parâmetro bastante utilizado é o diâmetro da bola de fogo (*fireball*). A estimativa deste parâmetro para um incêndio envolvendo um material combustível líquido, utilizado em avaliações preliminares

das conseqüências de um incêndio, pode ser feita utilizando-se a seguinte fórmula empírica (BOSCH et al., 1997) (LEES, 1996):

$$D_b = 3,85 \times M^{1/3} \quad (3.2)$$

Onde: D_b = diâmetro da bola de fogo [m] e

M = massa de material combustível [kg].

Para o cálculo de concentrações de materiais sólidos ou voláteis, carreados pela fumaça, a várias distâncias do local do acidente, é necessária a estimativa da fração do inventário liberada em forma de aerossóis. Este valor depende da magnitude e duração do incêndio e das formas física e química do material envolvido. No caso de acidentes envolvendo incêndios em instalações radioativas, tomando como base testes experimentais exaustivos realizados com materiais nucleares, são recomendadas frações de liberações de 0,003 % para soluções nítricas e orgânicas de U e Th e de 0,05 % para óxidos de U e Th (na forma de pó e pastilhas) e urânio metálico (AIChE, 1994) (MISHIMA & SCWENDIGAN, 1973).

Para análises específicas mais elaboradas das conseqüências de incêndio, inúmeros outros modelos existem disponíveis na literatura. (LEES, 1996) (AIChE, 1992) (BOSCH et al, 1992).

3.4.3 Explosão de Líquido e Sólido

Na avaliação das conseqüências de uma possível explosão em uma instalação que utiliza, processa ou armazena material explosivo, é freqüentemente utilizado o critério de distância mínima de segurança (distância onde a sobrepressão provocada por uma possível explosão do material alcança 1 psi). A estimativa deste parâmetro pode ser feita, utilizando-se a seguinte fórmula empírica: (SENNE JR., 2003) (BOSCH et al, 1997) (LEES, 1996) (SENNE JR. 1995).

$$d = \bar{d} \times W^{1/3} \quad (3.3)$$

onde:

d = distância mínima de segurança [m];

\bar{d} = distância normalizada [$\text{m}/\text{kg}^{1/3}$] e

W = massa equivalente do material combustível, em kg de TNT.

O valor de \bar{d} obtido para uma sobrepressão de 1,0 psi é de aproximadamente $18 \text{ m}/\text{kg}^{1/3}$.

Esta equação para obter a distância mínima de segurança, d , é também útil para estimar a sobrepressão a uma dada distância do local da explosão em função da quantidade de material explosivo, calculando o valor de \bar{d} e obtendo o valor da sobrepressão na Figura 3.5, apresentada a seguir. O efeito da sobrepressão em edificações, pessoas e materiais são apresentados na Tabela 3.1.

Na estimativa do valor do equivalente em TNT, $Eq.TNT$, devem ser levados em conta tanto a relação entre o calor de combustão do material considerado, e o calor de combustão do TNT (4680 kJ/kg), quanto a eficiência da explosão, η (tipicamente 10 %) (SENNE JR. & VASCONCELOS, 1995) (AIChE, 1994).

$$Eq.TNT = \frac{\eta \times \Delta H_c}{4680} [\%] \quad (3.4)$$

Para líquidos e sólidos tem-se:

$$W = \frac{M \times Eq.TNT}{10^2} [\text{kg}] \quad (3.5)$$

onde:

ΔH_c = calor de combustão do material [kJ/kg] e

M = massa do material combustível [kg].

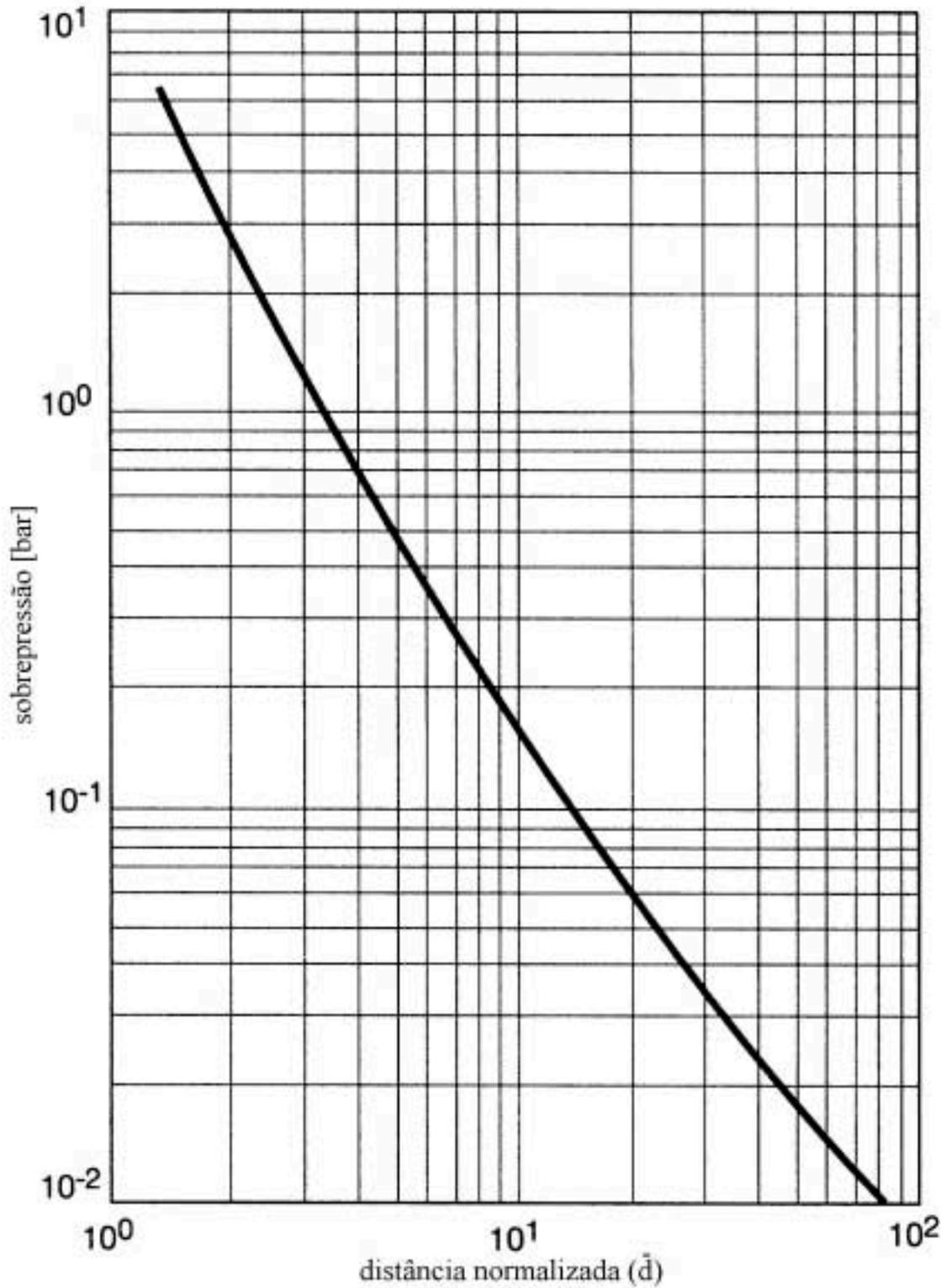


Figura 3.5 - Distância normalizada \bar{d} [$\text{m}/\text{kg}^{1/3}$] para detonação de cargas de TNT (SENNE JR., 2003) (AIChE, 1994)

Tabela 3.1 - Efeitos devidos a sobrepressão oriunda de explosões (SENNE JR., 2003).

Sobrepressão [psi]	Efeitos observados	Resultado [%]	
		Mortes	Feridos
0,3	Danos em 10% de vidraças	0	0
1,0	Avaria em casas, quebra de 100 % de vidraças.	0	0
2,8	Destruição de paredes de concreto, morte de 1% das pessoas expostas.	1	10
3,5	Colapso de estruturas de aço, 90 % de perfuração do tímpano e morte de 5% das pessoas expostas.	5	90
5,0	Destruição de edificações e morte de 10 % das pessoas expostas	10	90
15,0	Morte de 100 % das pessoas expostas	100	0

3.4.4 Análise de vulnerabilidade

A Análise de Vulnerabilidade normalmente é realizada para o conjunto dos cenários classificados em uma avaliação de risco como pertencentes às categorias de conseqüências críticas e catastróficas, ou seja, aqueles cenários com maior potencial de causar danos às populações circunvizinhas, ao meio ambiente e às instalações analisadas. Esta análise deverá ser realizada para as condições meteorológicas mais prováveis da região onde se encontram as instalações em questão. Esta análise deverá ser conduzida para vários níveis de danos característicos dos diferentes tipos de efeitos físicos resultantes dos cenários analisados: (CAMACHO, 2004) (AIChE, 2000). Como exemplos de cenários onde são realizadas análises de vulnerabilidades, podem ser citados:

- Para incêndios em poça e jato de fogo (tocha) deverá ser indicada a curva representativa do nível de fluxo térmico igual a 5 kW/m^2 , a probabilidade de morte seria de 1%, no caso de exposição de uma

pessoa a este nível de fluxo térmico, por tempo de aproximadamente 1 minuto (AIChE, 2000);

- Para explosões de qualquer natureza (de nuvens de vapor, físicas, confinadas ou não e de substâncias explosivas) deverão ser indicadas as curvas representativas dos seguintes níveis de sobrepressão: 13 kPa (1% probabilidade de ruptura de tímpanos) e 7 kPa (danos estruturais em residências) (FEPAM, 2001).
- Para nuvens tóxicas, deverão ser indicadas (pelo menos) as curvas representativas dos seguintes níveis de danos: concentração correspondente ao CL_{50} e concentração igual ao IDLH da substância tóxica em questão (FEPAM, 2001).

As curvas referidas acima deverão ser indicadas sobre mapas indicativos da região abrangida pelas curvas de vulnerabilidade, sendo indicadas nesses mapas as localizações dos pontos mais críticos da região, tais como, residências, praças, estádios, hospitais, escolas, etc. (BOSCH et al., 1992)

3.5 Identificação de Riscos e Consolidação de Hipóteses Acidentais

Nas instalações em que os efeitos físicos extrapolem os limites de propriedade da empresa e possam afetar pessoas do público em geral, os riscos do empreendimento deverão ser calculados. Para tanto, deverão também ser estimadas as freqüências de ocorrência dos cenários acidentais identificados (CONAMA, 1986a).

A elaboração de estudos quantitativos de análise de riscos requer a estimativa das freqüências de ocorrência de falhas de equipamentos relacionadas com as instalações ou atividades em análise. Da mesma forma, a estimativa de probabilidade de erros humanos deve muitas vezes ser quantificada nos cálculos do risco.

Para o cálculo das freqüências de ocorrências dos cenários acidentais, podem ser utilizadas, entre outras, as seguintes técnicas: (SENNE JR., 2003) (AIChE, 2000) (LEES, 1996) (VASCONCELOS, 1984).

- Análise Histórica de Eventos;
- Análise de Árvore de Eventos (AAE) – “*Event Tree Analysis*” (ETA);
- Análise de Árvore de Falhas (AAF) - “*Fault Tree Analysis*” (FTA);
- Lista de Verificação - *Checklist*;
- *What-If*;
- Análise Preliminar de Risco – APR ou Avaliação Preliminar de Perigo – APP;
- Análise de Modos de Falhas e Efeitos - “*Failure Modes and Effects Analysis*” (FMEA); e
- Análise de Perigos e Operabilidade - “*Hazard and Operability Studies*” (HazOp).

Em alguns estudos de análise de riscos as freqüências de ocorrência dos cenários acidentais poderão ser estimadas através de registros históricos constantes de bancos de dados ou de referências bibliográficas, desde que efetivamente tenham representatividade para o caso em estudo (Análise Histórica de Eventos). No entanto, de acordo com a complexidade da instalação em análise, pode haver a necessidade de ser utilizada a *Análise de Árvores de Falhas (AAF)* para a estimativa das freqüências (SCAPIN, 1999) (HELMAN & ANDERY, 1995).

A Análise de Árvore de Falhas é uma técnica dedutiva que permite identificar as causas básicas de acidentes e de falhas num determinado sistema, além de possibilitar também a estimativa da freqüência com que um determinado evento (falha mais complexa, resultante da combinação de outras falhas ou eventos) pode ocorrer (STAMATELATUS & VESELY, 2002).

Além dos aspectos acima mencionados, a estimativa das freqüências de ocorrência dos eventos iniciadores deverá também considerar a aplicação de técnicas de Confiabilidade Humana para a avaliação das probabilidades de erros

humanos que possam contribuir para a ocorrência dos cenários acidentais (AICHE, 2000).

A técnica da *Análise de Árvores de Eventos (AAE)* pode ser usada para obter a frequência de ocorrência do cenário acidental em estudo, através do conhecimento das frequências ou probabilidades de ocorrência de cada um dos eventos possíveis na seqüência do acidente (KIRCHHOFF, 2004) (SENNE JR., 2003).

Em determinados estudos, os fatores externos ao empreendimento podem contribuir para o risco de uma instalação. Nesses casos, devem também ser levadas em consideração as probabilidades ou frequências de ocorrência de eventos indesejáveis causados por terceiros ou por agentes externos ao sistema em estudo, como, por exemplo, terremotos, enchentes, deslizamentos de solo e quedas de aeronaves.

Os dados referentes às falhas de equipamentos normalmente estão disponíveis nos fabricantes, os quais, na maioria das vezes, mantêm bancos de dados baseados nos teste de confiabilidade realizados nas linhas de fabricação. Assim, é possível obter dados como MTBF (*"Mean Time Between Failures"*) e MTTF (*"Mean Time To Failure"*). Estes dados, tratados através de técnicas de Análise de Confiabilidade, são utilizados para obter as probabilidades ou frequência de ocorrência de falhas de equipamentos ou instalações (AIChE, 1989).

Para a estimativa das frequências de ocorrência dos acidentes é necessário passar primeiramente por uma fase de identificação de perigos. Como fase de identificação de perigos pode-se entender as atividades nas quais se procuram situações, combinações de situações e estados de um sistema que possam levar a um evento indesejável.

A grande maioria das diversas técnicas para "identificar perigos" é de domínio da engenharia de segurança tradicional, como por exemplo: experiência operacional; reuniões de segurança, inspeções de campo de todo os tipos; relatos, análises e divulgações de acidentes; análise de fluxogramas; análise de tarefas; e experiências de bancada e de campo.

As técnicas para identificação dos riscos são apresentadas com maior detalhe a seguir:

3.5.1 Lista de verificação – *Checklist*

A *lista de verificação* ou *checklist* é uma técnica de avaliação qualitativa utilizada para identificar os perigos associados a um processo e para assegurar a concordância entre as atividades desenvolvidas e procedimentos operacionais documentados. Através desta técnica, diversos aspectos do sistema são analisados por comparação com uma lista de itens preestabelecidos, criada com base em processos similares, na tentativa de descobrir e documentar as possíveis deficiências do sistema. Normalmente, o *checklist* é utilizado para fundamentar ou reforçar os resultados obtidos por outras técnicas de identificação de perigos e análise de riscos. São comuns *checklists* de partes de equipamentos ou processos operacionais de unidades industriais e de procedimentos de segurança padronizados (AICHE, 2000) (ALBERTON, 1996).

Os riscos podem ser classificados por grupos, facilitando a identificação sistemática dos perigos envolvidos nas operações ou na instalação, por exemplo:

Grupo 1 - Riscos físicos (ruídos, temperatura, radiação, vibração, umidade, etc.)

Grupo 2 - Riscos químicos (produtos químicos, óleos, graxas, lubrificantes, solventes, ácidos, gases, vapores, névoa, fumos, neblinas, etc.)

Grupo 3 – Riscos biológicos (vírus, bactérias, protozoários, fungos, bacilos, parasitas, etc.)

Grupo 4 – Riscos ergonômicos (esforço físico pesado, postura incorreta, trabalho excessivo, trabalho monótono, excesso de responsabilidade, acúmulo de funções, problema de adaptação com equipamentos, etc.).

Grupo 5 – Riscos de acidentes (arranjo físico, obstáculos, armazenamento de produtos perigosos, estados das instalações e equipamentos, treinamento de operadores, projeto de instalações, sistemas de proteção e segurança, instalações provisórias, precárias, etc.).

3.5.2 Análise Preliminar de Risco – APR

A Análise Preliminar de Risco – APR, muitas vezes traduzida como Avaliação Preliminar de Perigos – APP (*Preliminary Hazard Analysis - PHA*) é uma técnica de avaliação qualitativa. Normalmente é a primeira técnica aplicada durante a identificação de perigos de sistemas em fase de concepção ou projeto, principalmente quando do uso de novas tecnologias ou processos que carecem de maiores informações sobre seus riscos. Através desta técnica, uma análise superficial dos perigos é realizada ainda na fase de projeto do processo, de modo que as mudanças necessárias, devido aos perigos identificados, não implicam em gastos expressivos, sendo de mais fácil execução (USDOD, 2000).

É possível aplicar esta técnica para se fazer avaliações rápidas dos perigos e direcionar a aplicação de outras técnicas de identificação de perigos mais detalhadas e que serão aplicadas em fases posteriores da vida útil da instalação. A utilização da *APR* não significa que não será realizada uma avaliação quantitativa do risco. Ao contrário, ela deve preceder uma avaliação quantitativa de risco subsequente, quando esta se fizer necessária (CETESB, 2003a).

A técnica é uma revisão superficial de problemas gerais de segurança. Assim, durante a fase de projeto os perigos principais identificados podem ser eliminados, minimizados ou controlados. Consiste no estudo, durante a fase de concepção ou desenvolvimento de um novo sistema, com o fim de se determinar os perigos que poderão estar presentes na sua fase operacional. É, portanto, uma análise inicial "qualitativa", desenvolvida na fase de projeto e desenvolvimento de qualquer processo, produto ou sistema, possuindo especial importância na investigação de sistemas novos de alta inovação ou pouco conhecidos, ou seja, quando a experiência em riscos na sua operação é carente ou deficiente.

A *APR* é realizada listando-se os perigos associados aos sistemas em estudo. Assim, devem ser identificados:

- Substâncias e equipamentos perigosos (produtos químicos altamente reativos, combustíveis, lubrificantes, substâncias tóxicas, explosivas, sistemas a alta pressão e outros sistemas armazenadores de energia);

- Fatores do meio ambiente que possam interferir nos equipamentos e materiais da instalação (descarga atmosférica, umidade, vibração e altas temperaturas);
- Interface entre equipamentos do sistema e substâncias perigosas (início e propagação de incêndio, de explosão, sistemas de controle e parada de emergência);
- Procedimentos de operação, testes, manutenção e de emergência (dependência da confiabilidade humana, leiautes e acessibilidade de equipamentos e disponibilidade de equipamentos de proteção); e
- Sistemas e Dispositivos de segurança (sistemas de alívio, redundância, EPIs e recursos para extinção de incêndios).

A metodologia é bastante útil para um melhor conhecimento das condições gerais de segurança interna da instalação e seu impacto no ambiente vizinho, no caso da ocorrência de um acidente.

A priorização das ações é determinada pela classificação dos perigos, ou seja, quanto mais prejudicial ou maior for o risco, mais rapidamente deve ser solucionado. Desta forma, a *APR* tem sua importância maior no que se refere à determinação de uma série de medidas de controle e prevenção de riscos desde o início operacional do sistema, o que permite revisões de projeto em tempo hábil, no sentido de dar maior segurança, além de definir responsabilidades no que se refere ao controle de perigos.

A metodologia e as informações necessárias para a realização de uma *APR* podem ser observadas na planilha apresentada no Quadro 3.1 a seguir e consistem em proceder-se uma revisão geral dos aspectos de segurança de forma padronizada, descrevendo todos os perigos e fazendo sua categorização de acordo com a norma MIL-STD-882 (USDOD, 2000). A partir da descrição dos riscos são identificadas as causas (agentes) e efeitos (conseqüências) dos mesmos, o que permitirá a busca e elaboração de ações e medidas de prevenção ou correção das possíveis falhas detectadas. (KIRCHHOFF, 2004).

Quadro 3.1 – Planilha para aplicação da técnica APR

Área:**Cliente:****Subsistema:****Data:****Ver.:****Doc. Ref.:**

<i>Perigo</i> 1	<i>Causa</i> 2	<i>Efeito(s)</i> 3	<i>Categ. Conseq.</i> 4	<i>Categ. Probab.</i> 5	<i>Valor Risco</i> 6	<i>Medidas Prev/Mit.</i> 7	<i>Hipótese</i> 8
Categoria de Conseqüências			Categoria de Probabilidade de Ocorrência		Valor do Risco		
I – Desprezível II – Marginal III – Crítica IV – Catastrófica			A – Provável B – Razoavelmente Provável C – Remota D – Extremamente Remota		VRC – Crítico VRS – Sério VRM – Moderado VRB – Baixo VRD – Desprezível		

Alguns órgãos licenciadores adotam diferentes categorias de probabilidade/freqüência, conseqüência/severidade ou risco. Por exemplo, a FEPAM (2001) adota 5 categorias de freqüência para cada cenário de acidente analisado (freqüente, provável, ocasional, improvável e muito improvável), conforme pode ser observado na matriz de classificação de risco apresentada na Figura a seguir.

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

Figura 3.6 – Matriz de classificação de risco utilizando categorias de severidade, frequência e risco adotadas pela FEPAM (2001)

3.5.3 Estudo de Operabilidade e Riscos - HazOp

O Estudo de Operabilidade e Riscos (*HazOp* – “*Hazard and Operability Study*”) foi desenvolvida para identificar os perigos e problemas operacionais em instalações de processos industriais, os quais, apesar de aparentemente não apresentarem riscos imediatos, podem comprometer a produtividade e a segurança da instalação. Foi desenvolvido originalmente para análise qualitativa de perigos e problemas operacionais, principalmente na utilização de novas tecnologias, onde o conhecimento sobre a operacionalidade das mesmas é escasso ou inexistente, sendo também utilizado nos vários estágios da vida útil de instalações industriais (ALBERTON, 1996).

A utilização do HazOp orienta a realização de um estudo eficiente, detalhado e completo sobre as variáveis envolvidas no processo. É possível, então, identificar sistematicamente os caminhos pelos quais os equipamentos envolvidos no processo industrial podem falhar ou serem operados de forma inadequada, levando a situações indesejáveis de operação.

É uma técnica estruturada que foi desenvolvida para identificar perigos em uma instalação industrial mas que procura, principalmente, identificar problemas

referentes aos procedimentos operacionais que possam levar a danos materiais ou humanos. Desta forma, o HazOp não é uma determinação de falhas por excelência, mas uma avaliação não quantificada dos perigos e dos problemas operacionais presentes em um processo industrial.

Baseia-se na revisão da instalação através de uma série de reuniões, durante as quais um grupo composto de diversos especialistas realiza um *brainstorming* sobre o projeto da planta em busca de perigos, seguindo uma estrutura preestabelecida. Uma das grandes vantagens deste *brainstorming* é que ele estimula a criatividade e gera idéias, através da interação de integrantes de grupos de diferentes áreas e diferentes níveis de conhecimento. Desta forma, esta técnica oferece aos integrantes da equipe a oportunidade de liberar a imaginação, pensando em todos os modos pelos qual um evento indesejável possa ocorrer ou um problema operacional possa surgir.

No entanto, para minimizar a possibilidade de que algo seja omitido, a reflexão é executada de maneira sistemática: cada circuito é analisado, linha por linha, para cada tipo de desvio passível de ocorrer nos parâmetros de funcionamento do processo. Para os objetivos de um HazOp, uma linha é uma conexão por tubulação (ou qualquer outro meio) entre dois equipamentos industriais principais. A equipe de análise usa a documentação de projeto da instalação, parâmetros de processo e *palavras-guia* na análise, que aplicados a pontos específicos os chamados - *nós-de-estudo* - dos fluxogramas do processo, usualmente em linhas de transporte de fluidos entre dois equipamentos, têm como objetivo evidenciar perigos potenciais nesses pontos (SENNE JR., 2003).

3.5.4 Análise de Modos de Falhas e Efeitos – (FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*)

A Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA) é uma análise detalhada, podendo ser qualitativa ou quantitativa, que permite analisar as maneiras pelas quais um equipamento ou sistema pode falhar e os efeitos que poderão advir. Estimam-se, ainda, as taxas de falhas e propiciam o estabelecimento de mudanças e alternativas que possibilitem uma diminuição das probabilidades de falha, aumentando a confiabilidade do sistema. A técnica FMEA foi desenvolvida

por engenheiros de confiabilidade para permitir aos mesmos, determinar a confiabilidade de produtos complexos. Neste caso, é necessário o estabelecimento de como e quão freqüentemente os componentes do produto podem falhar, sendo então a análise estendida para avaliar os efeitos de tais falhas (AIChE, 2000).

Apesar de sua utilização ser geral, a FMEA é mais aplicável às indústrias de processo, principalmente quando o sistema em estudo possui instrumentos de controle, levantando necessidades adicionais e defeitos de projeto, definindo configurações seguras para os mesmos quando ocorrem falhas de componentes críticos ou suprimentos.

A FMEA é realizada primeiramente de forma qualitativa, quer na revisão sistemática dos modos de falha de um componente, na determinação de seus efeitos em outros componentes e ainda na determinação dos componentes cujas falhas têm efeito crítico na operação do sistema, sempre procurando garantir danos mínimos ao sistema como um todo. Posteriormente, pode-se proceder à análise quantitativa para estabelecer a confiabilidade ou probabilidade de falha do sistema ou subsistema, através do cálculo de probabilidades de falhas de montagens, subsistemas e sistemas, a partir das probabilidades individuais de falha de seus componentes. Seus resultados podem também ser utilizados para a determinação de como poderiam ser reduzidas estas probabilidades, através do uso de componentes com confiabilidade mais alta ou estabelecendo critérios de redundância e diversidade nos projetos.

Para aplicar a FMEA, bem como qualquer outra técnica correlata, é fundamental que se conheça e compreenda o sistema que está sendo analisado, suas funções e objetivos, as restrições sob as quais irá operar, além dos limites que correspondem ao seu sucesso ou à sua falha.

Com a FMEA podem ser analisados, de uma forma geral, os modos de falha de um produto. Porém, em um produto podem existir certos componentes ou conjunto deles que sejam particularmente críticos para a missão a que se destina o produto ou para a segurança do operador. Portanto, deve ser dada especial atenção a estes componentes críticos, sendo mais intensivamente analisados do

que outros. A análise, similar a FMEA, que se preocupa com a análise detalhada destes componentes críticos é conhecida como Análise de Criticalidade e Modos de Falha (*FMECA – Failure Modes and Criticality Analysis*).

Tanto a FMEA como a FMECA são bastante eficientes quando aplicadas a sistemas mais simples, com um número reduzido de componentes. Porém, quando a complexidade é maior, recomenda-se o uso de outras técnicas, como por exemplo, a Análise de Árvore de Falhas.

As etapas para elaboração de uma FMEA envolvem, geralmente (HELMAN & ANDERY, 1995):

- Identificação dos modos de falha;
- Identificação dos efeitos dos modos de falha;
- Determinação da gravidade;
- Identificação das possíveis causas;
- Determinação de probabilidade de ocorrência;
- Identificação dos controles de projetos ou processos;
- Identificação dos modos de detecção de falhas;
- Análise de risco; e
- Recomendações para redução dos riscos.

A utilização de diagramas de Ishikawa (também conhecidos como diagramas de “espinhas de peixe” ou diagramas de causa e efeito) auxilia na identificação dos modos e efeitos de falha. Para a identificação das causas também podem ser utilizadas Análises de Árvores de Falhas, caso existam informações disponíveis e equipe com proficiência na técnica.

As recomendações para a redução de risco devem incluir um plano de ação englobando (ABNT, 2004):

- Redução da probabilidade de ocorrência de uma falha;
- Redução da gravidade de um modo de falha; e

- Incremento da probabilidade de detecção.

O aumento dos controles não produz ações corretivas das mais eficientes e deve ser usado como um recurso extremo e temporário. Todos os esforços deverão ser orientados, preferencialmente, no sentido de diminuir a ocorrência de falhas (prevenir seus defeitos), mais do que detectá-los.

3.5.5 Análise Histórica de Eventos

Em muitos casos, as informações necessárias para a avaliação de risco podem ser obtidas diretamente de registros históricos. Os números de incidentes registrados podem ser divididos pela exposição (instalações.ano, metros de tubulação.ano) para a estimativa da frequência de falhas. A unidade de frequência é normalmente o número de eventos esperados por unidade de tempo, e a probabilidade é um número adimensional que pode ser usado para medir a possibilidade de um evento ocorrer durante um intervalo de tempo (por exemplo, um ano), ou a probabilidade que algum evento ocorra, dado que algum evento precursor tenha ocorrido (AIChE, 2000).

A abordagem histórica baseia-se nos registros e frequências de incidentes e tem a vantagem de não ser limitada pela capacidade do analista em imaginar mecanismos de falhas, como é o caso da Análise de Árvore de Falhas. Por outro lado, incidentes raros podem não ter ocorrido para um determinado tipo de instalação em análise, a menos que a exposição (a população de dados disponível) seja grande. Além disso, alguns critérios devem ser atendidos para que os dados históricos sejam significativos. Isto inclui a exatidão e o número suficiente dos dados disponíveis, bem como sua aplicabilidade à instalação em questão que está sendo analisada.

A técnica de Análise Histórica de Eventos aplica-se a diferentes fases da análise de riscos. É aplicável na fase de projeto, antes que os sistemas e salvaguardas estejam definidos. Técnicas mais elaboradas, como a Análise da Árvore de Falhas podem não ser aplicáveis neste estágio. Similarmente, a técnica é ideal para ser utilizada quando as causas são muito variadas e difíceis de serem previstas, como no caso de acidentes de transporte. No entanto, a técnica não se

limita aos estágios iniciais de projeto. Sua simplicidade, desde que os dados necessários estejam disponíveis, permite estimativa rápida e econômica.

A técnica de Análise Histórica de Eventos, ilustrada na Figura 3.7, consta das seguintes etapas (AIChE, 2000):

- 1. Definição do contexto:** A abordagem histórica pode ser aplicada a qualquer estágio de um projeto, conceitual, preliminar ou detalhado, ou a uma instalação existente. As fases da avaliação de risco, envolvendo a descrição dos sistemas e a identificação dos perigos, devem já ter sido realizadas, para que seja definida uma lista de eventos. O resultado desta etapa da aplicação da técnica é uma clara especificação dos incidentes para os quais serão obtidas as frequências ou as probabilidades de ocorrência.
- 2. Revisão da fonte de dados:** Todas as fontes relevantes de dados históricos devem ser consultadas, tanto os registros referentes à instalação que está sendo analisada, quanto de instalações similares ou contendo sistemas similares no país ou no exterior. É pouco provável que bancos de dados de confiabilidade de componentes sejam adequados para obtenção de frequência de acidentes de interesse nesta etapa da análise. As fontes de dados devem ser analisadas sob o ponto de vista de independência ou necessidade de complementação. Todas as listas de incidentes disponíveis são incompletas, em maior ou menor grau, e algum julgamento do analista deverá ser feito em relação a isto. O período histórico deve ser o suficientemente grande para se ter uma amostra significativa. Frequências de acidentes obtidas de listas que contêm somente um ou dois acidentes de um tipo particular têm muitas incertezas envolvidas. Quando forem utilizadas diferentes fontes de dados, incidentes registrados em duplicidade devem ser eliminados. Algumas vezes, fontes de dados fornecerão detalhes da instalação como um todo ou à exposição a que se referem (instalação.ano, por exemplo). Quando a exposição não está disponível, ela deve ser estimada a partir do número total de anos de operação ou de existência da instalação.
- 3. Verificação da aplicabilidade dos dados:** Os dados utilizados devem abranger um período de tempo de 5 ou mais anos. Como a tecnologia e a escala utilizadas pela instalação ou similares pode ter mudado no período aos

quais os dados se referem, deve ser feita uma revisão cuidadosa dos dados para verificar sua aplicabilidade. Além disso, instalações que utilizam novas tecnologias podem introduzir novos riscos que não aparecem nos registros históricos. É, então, às vezes necessária a análise dos dados de incidentes disponíveis, desconsiderando aqueles não são relevantes para a instalação em análise.

4. Cálculo da probabilidade: Ao ser feita a confirmação de que os dados disponíveis são aplicáveis e que os incidentes e a exposição são consistentes, a frequência histórica pode ser obtida dividindo o número de incidentes pelas instalações expostas. Apenas a título de ilustração, por exemplo, se ocorreram 5 vazamentos de proporções significativas em tanques de amônia pressurizados, em um universo de 2500 tanques.ano, a frequência de vazamento pode ser estimada em $2 \cdot 10^{-3}$ /tanque.ano. Nos casos em que os dados históricos e a instalação que está sendo analisada não são totalmente consistentes, é necessário fazer um julgamento, aumentando ou diminuindo os valores das frequências obtidas, em função das informações disponíveis. Isto pode ser feito mais facilmente se os dados forem estratificados segundo as causas das falhas, por exemplo. Somente os dados relacionados às diferenças entre as instalações de referência e a instalação que está sendo analisada é que são modificados. Se os dados, de uma maneira geral, não são apropriados, deve ser empregado um método alternativo como Análise de Árvore de Falhas.

5. Validação da probabilidade: É frequentemente possível comparar a probabilidade ou frequência de um evento, estimada com dados de outras instalações ou equipamentos existentes, no país ou no exterior, os quais não foram utilizados na obtenção da estimativa efetuada. Esta é uma validação bastante útil, pois pode evidenciar erros grosseiros na estimativa, ou indicar que alguma característica especial não recebeu tratamento adequado.

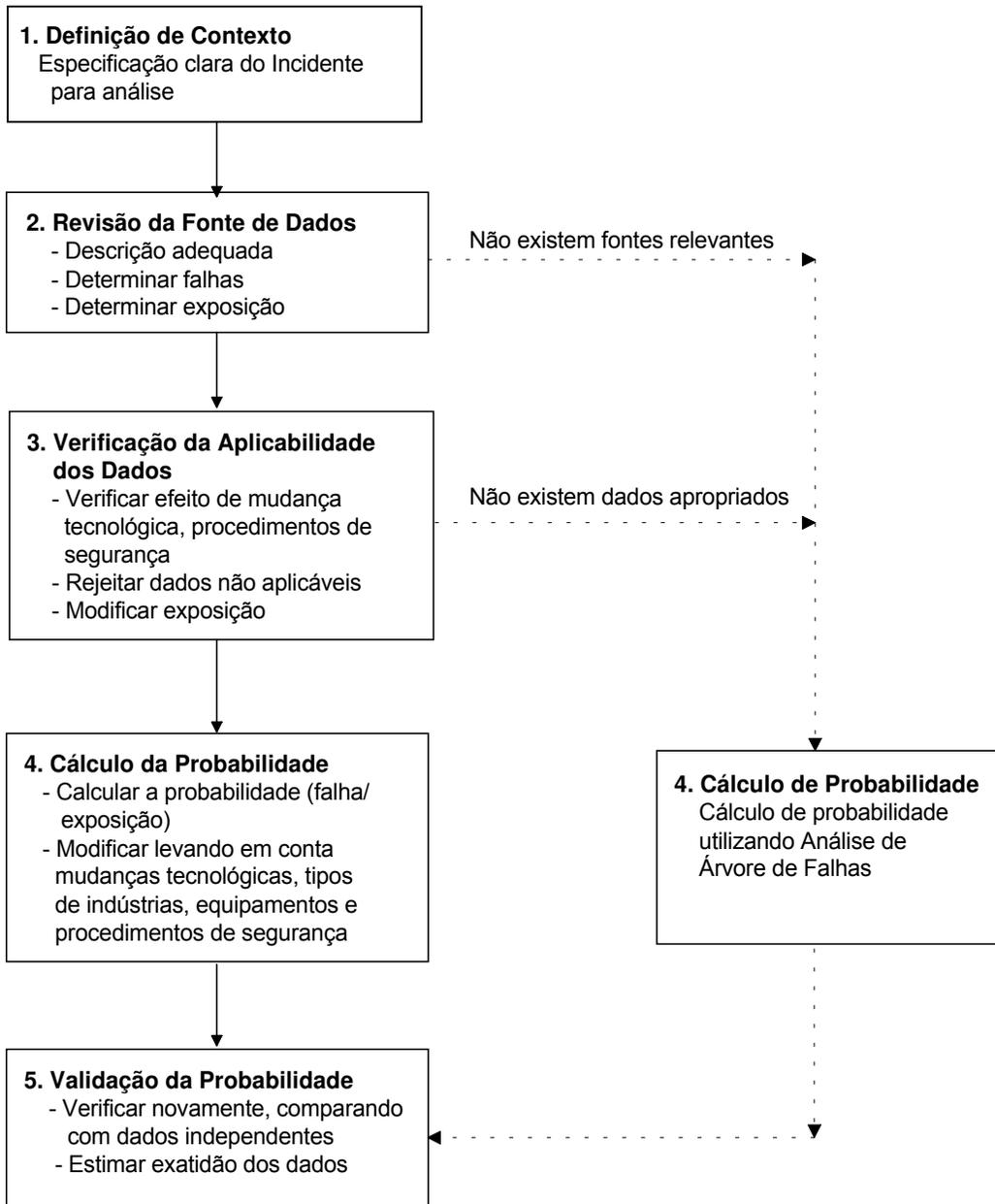


Figura 3.7 – Etapas da Técnica de Análise Histórica de Eventos (AIChE, 2000).

3.5.6 Análise de Árvore de Eventos - AAE

A Árvore de Eventos é uma metodologia analítica para identificar sistematicamente as conseqüências potenciais de um evento inicial, muitas vezes chamado de *evento iniciador* (VASCONCELOS, 1984).

O evento iniciador é um evento que provoca uma série de ações, por exemplo:

- Perda de energia elétrica em um sistema de computador;
- Cliente entra em uma loja;
- Incêndio em uma instalação;
- Entrada incorreta de dados em um formulário;
- Falha de um equipamento; e
- Erro humano.

A Análise da Árvore de Eventos (AAE) é uma técnica que utiliza o raciocínio lógico indutivo para identificar as várias e possíveis conseqüências resultantes de certo evento inicial. A técnica busca determinar as freqüências das conseqüências decorrentes dos eventos indesejáveis, utilizando encadeamentos lógicos a cada etapa de atuação do sistema.

Para o traçado da árvore de eventos as seguintes etapas devem ser seguidas (ALBERTON, 1996):

- Definir o evento inicial que pode conduzir ao acidente;
- Definir os sistemas de segurança (ações) que podem amortecer o efeito do evento inicial;
- Combinar em uma árvore lógica de decisões as várias seqüências de acontecimentos que podem surgir a partir do evento inicial; e

- Uma vez construída a árvore de eventos, calcular as probabilidades associadas a cada ramo do sistema que conduz a alguma falha (acidente).

A árvore de eventos serve para identificar os vários acidentes que podem ocorrer em uma instalação complexa, identificando seqüências de acidentes, isto é, diferenciar cenários de acidentes. Ela auxilia na identificação dos pontos fracos nos projetos e procedimentos. Além disso, a seqüência identificada pode ser usada para calcular a probabilidade de ocorrência de várias seqüências de acidentes após a ocorrência do evento inicial. Deve-se considerar cada decisão ou ação como tendo dois resultados: sim/não, sucesso/falha, vai/não vai, esquerda/direita, etc. A árvore de eventos é uma representação gráfica da seqüência lógica destes eventos.

Como ilustração é apresentada na Figura 3.8 uma árvore de eventos para o evento iniciador “Grande liberação de GLP causada por ruptura de um vaso pressurizado”, utilizando dados fictícios. (CAMACHO, 2004).

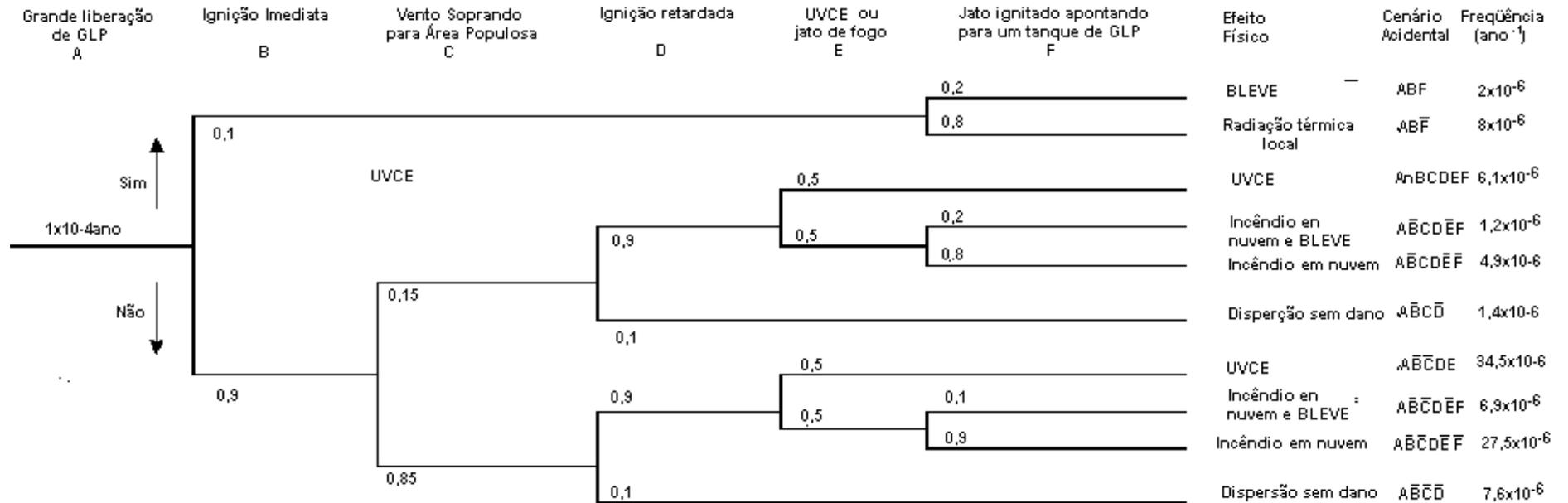


Figura 3.8 – Árvore de eventos para grande liberação de GLP, preenchida com valores de frequências. (CAMACHO, 2004).

A cada ramo da árvore é atribuída uma probabilidade de ocorrência, de tal forma que a frequência de ocorrência, de cada seqüência possa ser determinada. Cada seqüência caracteriza um cenário acidental, com diferente efeito físico. Na ilustração é caracterizado por BLEVE, radiação térmica local, explosão, incêndio em nuvem, disposição sem danos ou combinação destes. Na determinação das probabilidades de ocorrências técnicas como Análise Histórica de Eventos ou Análise de Árvores de Falhas, podem ser utilizadas.

3.5.7 Análise de Árvore de Falhas - AAF

A Análise da Árvore de Falhas – AAF é uma metodologia sistemática utilizada para avaliar a possibilidade ou obter a probabilidade de ocorrência um evento, por exemplo, uma falha específica de um sistema, denominado *evento topo*, a partir das relações lógicas de falhas de componentes e erros humanos que possam gerar este evento. A análise é realizada através da construção de uma árvore lógica e da sua avaliação qualitativa ou quantitativa (TEIXEIRA, 2004) (STAMATELATOS & VESELY, 2002).

A técnica foi desenvolvida pelos laboratórios da *Bell Telephone*, em 1961, para avaliar a segurança do sistema de controle de lançamento dos mísseis *Minuteman*. Sua utilização, hoje, abrange desde projetos de máquinas, equipamentos, análise de processos industriais ou administrativos, até análise de impactos ambientais de acidentes e de operações anormais, dentro de processos de licenciamento de instalações industriais (VASCONCELOS, 1984).

De uma maneira geral, uma AAF visa basicamente reduzir a probabilidade de ocorrência de um evento indesejável e minimizar suas conseqüências através da sua identificação nas fases iniciais de um projeto ou operação de uma instalação. É uma ferramenta bastante útil para lidar com *eventos raros*, isto é, eventos com baixa probabilidade de ocorrência dentro de uma determinada instalação. Como a frequência verificada deste tipo de evento é muito baixa, a análise pelos dados históricos é bastante difícil e uma técnica dedutiva, associando a probabilidade destes eventos com outras probabilidades de ocorrência, já conhecidas, é de grande valia (SENNE JR. et al, 2004).

Além da determinação de probabilidade de ocorrência do evento topo, uma AAF pode ser utilizada para:

- Estabelecer um método padronizado de análise de problemas ou de falhas, verificando como estes eventos ocorrem em um equipamento ou processo;
- Analisar a confiabilidade de produtos ou processos;
- Estabelecer a prioridade nas ações corretivas que deverão ser tomadas em cada instalação particular;
- Compreender as causas e modos de falha de um sistema por um processo dedutivo;
- Analisar o projeto e alternativas de projeto de sistemas de segurança;
- Auxiliar a elaboração de procedimentos de manutenção, testes e inspeções;
- Identificar os pontos fracos dos sistemas, isto é, os componentes mais críticos ou condições críticas de operação;
- Obter informações para treinamento na operação de equipamentos, em especial daqueles resultantes de novos projetos; e
- Auxiliar os processos de simplificação e otimização de equipamentos, o que pode ser feito ainda na fase de projeto.

Uma árvore de falhas é um modelo gráfico que permite mostrar, de uma forma clara e simples, o encadeamento de diferentes exemplos que podem resultar no *evento topo*. A análise se inicia a partir de uma falha ou problema particular que se deseja estudar, o *evento topo*, e continua com a elaboração de uma seqüência ou combinação de fatos capazes de conduzir a tal evento. Um *evento topo* pode ser definido como um estado do sistema considerado anormal.

A análise é conduzida até atingir os eventos ou situações básicas onde não é mais necessário aprofundar a análise. Estes eventos determinam o *limite de resolução* da árvore. A análise parte do evento topo e desce até as causas

básicas responsáveis por ela, denominadas de *causas primárias*. São avaliações tipicamente *top-down* (de cima para baixo).

A estrutura de uma árvore consiste de um evento indesejável, o evento topo, ligado a eventos mais básicos por meio de símbolos de *portas lógicas* (Figura 3.9) e *símbolos de eventos*. (Figura 3.10). Na Figura 3.11 é apresentado um exemplo de uma árvore de falhas para um sistema de alarme de fogo (PANDAGGIS, 2003).

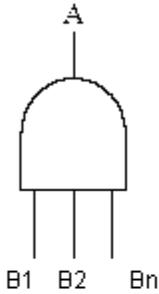
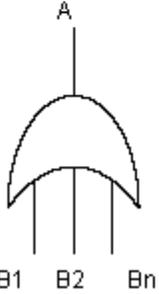
Símbolo	Nome:	Relação causal
	E	O evento de saída "A" ocorre se todos os eventos de entrada "B1, B2 ... Bn" ocorrerem simultaneamente.
	OU	O evento de saída "A" ocorre se pelo menos um dos eventos de entrada "B1, B2, ... Bn" ocorrerem.

Figura 3.9 - Símbolos de portas lógicas utilizadas na construção das árvores de falhas (PANDAGGIS, 2003)

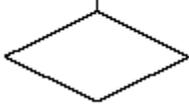
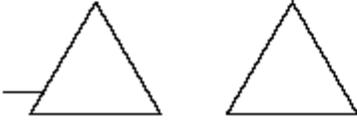
Símbolo	Descrição do evento
 <p>retângulo</p>	Evento representando combinação de outros eventos através de associação de portas lógicas
 <p>círculo</p>	Evento básico
 <p>losango</p>	Evento não desenvolvido
 <p>"transfer out" e "transfer in"</p>	Símbolo de transferência

Figura 3.10 - Símbolos de eventos, utilizados na construção das árvores de falhas (PANDAGGIS, 2003)

Árvore de Falhas para Sistema de Alarme de Fogo Domiciliar

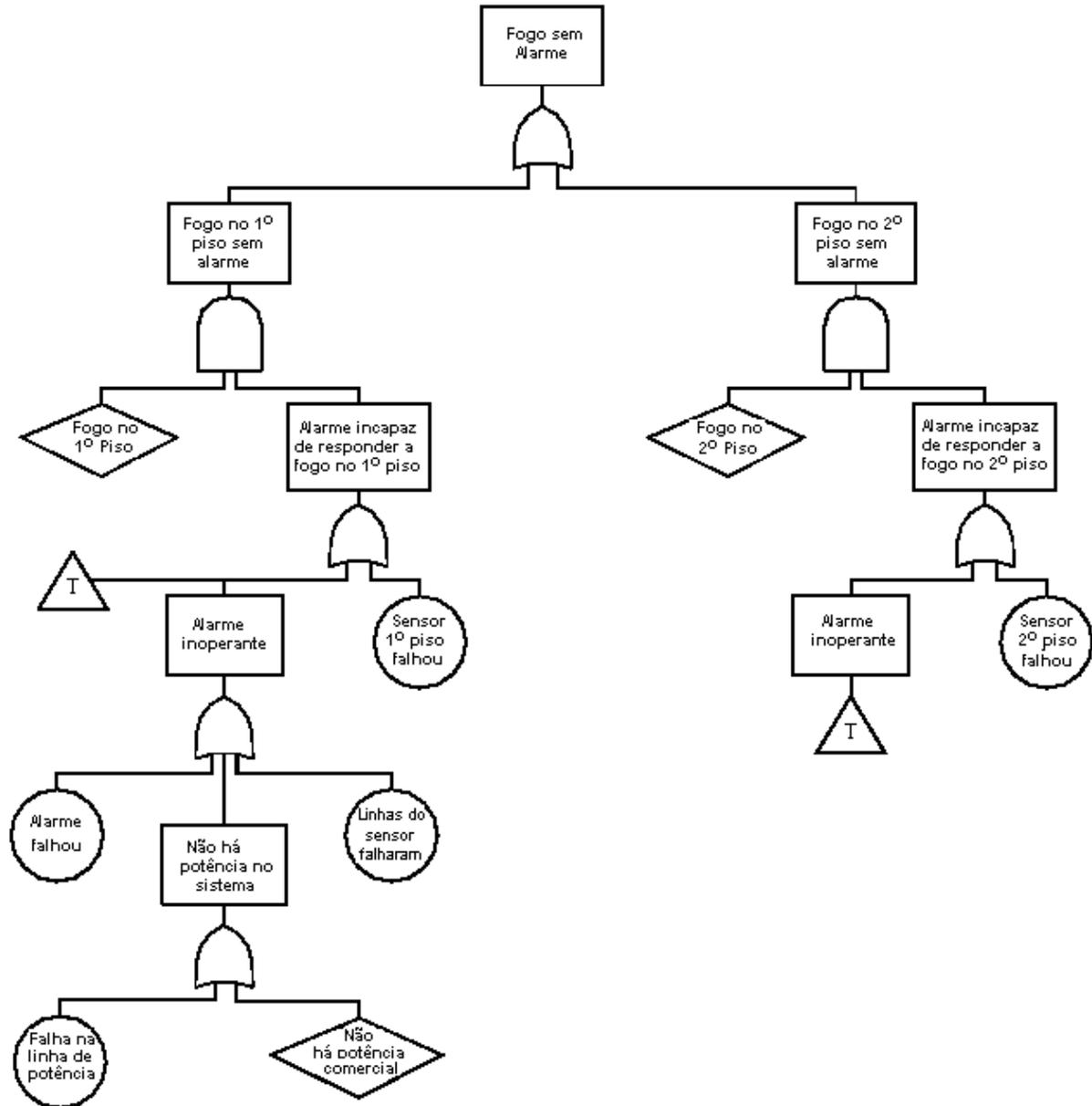


Figura 3.11 – Exemplo de árvore de falhas para um sistema de alarme de fogo (PANDAGGIS, 2003).

Na fase de avaliação quantitativa da árvore de falhas pode ser necessário o cálculo da probabilidade de falha do evento topo a partir dos dados das causas básicas ou primárias. Para isto devem ser atribuídos valores de probabilidades de falha a estes eventos a partir de dados técnicos de literatura, análise de históricos de falhas, análise de confiabilidade e dados de erros humanos. Um fator importante na avaliação quantitativa é a *propagação de incertezas*, i. e., a determinação da incerteza do evento topo a partir da incerteza dos dados obtidos para as causas primárias. Deve ser destacado que, na impossibilidade de realização de uma avaliação quantitativa da árvore de falhas, devido à ausência de dados sobre as causas primárias, uma avaliação qualitativa, envolvendo a determinação dos modos de falha do sistema e da relação funcional entre os eventos que conduzem ao evento topo é, muitas vezes, o suficiente para muitos propósitos. Podem ser identificados, por exemplo, os pontos fracos do sistema, servindo como base para ações corretivas e preventivas.

3.5.8 Comparação entre aplicações de algumas das técnicas de avaliação de risco e perigos apresentados

Na Tabela 3.2 a seguir são apresentadas exemplos de aplicações de algumas dessas técnicas (SCAPIN, 1999) (ALBERTON, 1996):

Tabela 3.2 – Técnicas para identificação de perigos e suas principais aplicações (SCAPIN, 1999) (ALBERTON, 1996).

Aplicação	Checklist	What-If	APR	FMEA	HazOp
Identificação de desvios em relação às boas práticas	X	X			
Identificação de perigos genéricos	X		X		
Identificação de causas básicas (eventos iniciadores)		X		X	X
Proposição de medidas mitigadoras dos riscos			X		X

Identificados os perigos da instalação em estudo, as hipóteses acidentais consideradas devem ser claramente descritas, devendo ser estudadas detalhadamente nas etapas posteriores do trabalho.

Para tanto, deve-se estabelecer claramente o critério considerado para a escolha das hipóteses acidentais consideradas relevantes, levando-se em conta a severidade do dano decorrente da falha identificada.

Assim, por exemplo, caso a técnica de identificação de risco utilizada tenha sido a *APR*, todos os perigos classificados em categorias de severidade III e IV deverão ser contemplados na lista de hipóteses acidentais a serem estudadas nas etapas posteriores do estudo. Já, na aplicação de outras técnicas, como HazOp, FMEA e *What If*, entre outras, o analista deve deixar claro qual o critério utilizado para a definição das hipóteses acidentais escolhidas como relevantes. (ALBERTON, 1996).

3.6 Programa de Gerenciamento de Riscos

As recomendações e medidas resultantes do estudo de análise e avaliação de riscos para a redução das freqüências e conseqüências de eventuais acidentes devem ser consideradas como partes integrantes do processo de gerenciamento de riscos. Entretanto, independentemente da adoção dessas medidas, uma instalação que possua substâncias ou processos perigosos deve ser operada e mantida, ao longo de sua vida útil, dentro de padrões considerados toleráveis, razão pela qual um *Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR)* deve ser implementado e considerado nas atividades, rotineiras ou não, de uma planta industrial.

O objetivo do *PGR* é prover uma sistemática voltada para o estabelecimento de requisitos contendo orientações gerais de gestão, com vista à prevenção de acidentes, razão pela qual deverá contemplar, dependendo do porte do empreendimento, os seguintes elementos de gestão (USEPA, 2004) (CETESB, 2003a) (FEPAM, 2001):

- Responsabilidades e atribuições (inclui auditorias);

- Informações sobre segurança do processo;
- Procedimentos operacionais;
- Análise de riscos (Revisão de riscos de processo);
- Manutenção e garantia de integridade de sistemas críticos;
- Treinamento;
- Gerenciamento de modificações;
- Plano de Ação de Emergência (PAE);
- Investigação de acidentes; e
- Comunicação e manutenção do PGR.

As recomendações e medidas resultantes do estudo de análise e avaliação de riscos para a redução das freqüências e conseqüências de eventuais acidentes devem ser consideradas como partes integrantes do processo de gerenciamento de riscos. Independentemente da adoção dessas medidas, uma instalação que possua substâncias ou processos perigosos deve ser operada e mantida, ao longo de sua vida útil, dentro de padrões de risco considerados toleráveis, razão pela qual deve ser implementado um *PGR*, envolvendo tanto as atividades rotineiras quanto as não rotineiras.

O detalhamento dos elementos de gestão, apresentado a seguir, é baseado nas sugestões de conteúdo apresentadas em USEPA (2004), CETESB (2003^a) e FEPAM (2001).

3.6.1 Responsabilidades e atribuições

Em última instância, a responsabilidade pelo gerenciamento dos riscos cabe à Gerência Superior da empresa. No entanto, para atender a este elemento de gestão, a prática recomendada neste caso consiste em se designar uma pessoa do mais alto nível de gerência sênior das instalações como responsável pela garantia de que o Programa de Gerenciamento de Riscos foi devidamente implementado e que está sendo seguido continuamente em todos os locais e

níveis operacionais da organização. Este profissional deverá ser o Coordenador Geral do *PGR*.

Cabe também ao Coordenador Geral reportar os resultados da implementação e do acompanhamento do *PGR*, bem como supervisionar o desenvolvimento e a revisão dos diversos sistemas de gerenciamento. Com relação à implantação do *PGR*, o Coordenador Geral deve assegurar que a capacitação de pessoas e os recursos necessários estejam disponíveis e adequados para o bom andamento das atividades previstas no programa.

Além da identificação do coordenador geral, deverá também constar deste item a estruturação organizacional do *PGR*, incluindo uma relação de todas as pessoas responsáveis pela implementação de cada um dos demais elementos de gestão do *PGR* nos diversos níveis operacionais pertinentes em cada caso.

Depois de implantado um *PGR*, deve-se assegurar que exista um processo de avaliação da sua eficácia e que sua atualização permanente seja garantida. A auditoria e as revisões periódicas reduzem os riscos de que ações do *PGR* não sejam realizadas ou que sejam empregadas ou operacionalizadas de forma inadequada, impedindo que os objetivos, as metas e os fins a que se destinam não sejam alcançados.

A auditoria é um processo sistemático de verificação, realizado periodicamente, que avalia, de forma objetiva, as evidências que determinam se as atividades, eventos, sistemas específicos, diretrizes, ações e informações relacionadas a um sistema estão em conformidade com o programado e se estão sendo implantados e mantidos de forma adequada. O grupo de trabalho para realização das auditorias deve ser devidamente orientado para trabalhar objetiva e imparcialmente. A frequência das auditorias deve ser determinada pela importância e a natureza da operação, bem como pelos aspectos funcionais, impactos e riscos potenciais. A auditoria das atividades mais importantes para os objetivos e metas de um sistema deve ser feita com maior frequência.

São atividades de auditoria o exame de documentos, registros e dados, as entrevistas e as inspeções realizadas na área de atuação do grupo de trabalho, ou ainda nos locais onde se realizam reuniões. Essas atividades são denominadas de

processo de obtenção de “evidências de auditoria”. Os trabalhos de auditoria finalizam-se com a apresentação de um relatório e uma apresentação formal à coordenação do PGR.

3.6.2 Informações sobre segurança de processo

Os responsáveis pela atividade deverão manter uma compilação de informações sobre segurança de processo pertinente para as suas instalações. Esta compilação deverá abranger:

- A)** Informações referentes aos perigos das substâncias reguladas utilizadas ou produzidas no processo; e
- B)** Informações referentes à tecnologia e aos equipamentos do processo.

No que se refere ao primeiro grupo de informações (Grupo A), deverão ser apresentados os seguintes dados:

- Informações das substâncias químicas do processo: incluem informações relativas aos perigos impostos pelas substâncias, inclusive intermediárias, para a completa avaliação e definição dos cuidados a serem tomados, quando consideradas as características perigosas relacionadas com inflamabilidade, reatividade, toxicidade, corrosividade, entre outros riscos. Assim, é de fundamental importância a disponibilidade de fichas de informação e orientações específicas sobre tais riscos. Deverão também ser fornecidos os limites permissíveis de exposição, os dados físicos das substâncias, os dados de estabilidade térmica e química e os efeitos perigosos de misturas inadvertidas de diferentes materiais existentes nas instalações.

No que se refere ao segundo grupo (Grupo B) deverão constar as seguintes informações:

- Tecnologia de processo: inclui informações do tipo diagrama de blocos, memorial descritivo das instalações, fluxogramas de processo, fluxogramas de engenharia, balanços de materiais e de energia,

contendo inventários máximos, limites superiores e inferiores, além dos quais as operações podem ser consideradas inseguras para parâmetros como temperatura, pressão, vazão, nível e composição, e respectivas conseqüências dos desvios desses limites;

- Equipamentos de processo e tubulações: inclui informações sobre os materiais de construção, diagramas de tubulações e instrumentação, descritivo do sistema de intertravamento (incluindo matriz de causa e efeito), classificação de áreas, projetos de sistemas de alívio e ventilação, descritivo dos sistemas de segurança (alívio, combate a incêndio, detecção de fogo e gás, etc.), *shut-down* e intertravamentos, normas técnicas e padrões de projeto empregados, nacionais e internacionais; e
- Procedimentos operacionais: esses procedimentos são partes integrantes das informações de segurança do processo, razão pela qual um plano específico deve estabelecer os procedimentos a serem seguidos em todas as operações desenvolvidas na planta industrial.

3.6.3 Procedimentos operacionais

Os responsáveis pela atividade deverão desenvolver e implementar procedimentos operacionais escritos, que forneçam indicações claras para a condução segura das atividades envolvidas em cada processo.

Todas as atividades e operações realizadas em instalações industriais devem estar previstas em procedimentos claramente estabelecidos, os quais devem contemplar, entre outros, os seguintes aspectos:

- Cargos dos responsáveis pelas operações;
- Instruções precisas que propiciem as condições necessárias para a realização de operações seguras, considerando as informações de segurança de processo;
- 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; e

- Limites operacionais.

Estes procedimentos operacionais deverão ser revisados tanto quanto necessários para refletir a prática operacional corrente, incluindo as modificações que resultem de mudanças nos processos químicos, mudanças de tecnologia e mudanças de equipamento. Os responsáveis pela atividade deverão certificar-se, pelo menos anualmente, de que os procedimentos existentes refletem as práticas operacionais.

Os responsáveis pela atividade regulamentada deverão desenvolver e implementar práticas seguras de trabalho para atividades tais como entrada em espaços confinados, abertura de equipamentos ou linhas de processo e trabalho a quente. Estas práticas seguras de trabalho deverão ser aplicadas tanto para trabalhos realizados por funcionários da empresa como por empregados de empresas terceirizadas.

3.6.4 Análise de riscos (revisão de riscos de processos).

As análises de risco realizadas no âmbito do Programa de Gerenciamento de Riscos deverão ser revisadas periodicamente (no máximo a cada 5 anos, ou quando forem executadas modificações significativas nas instalações analisadas), visando a sua atualização em função de mudanças nas instalações ou nos seus procedimentos operacionais e de manutenção, as quais ocorrem normalmente durante a operação de unidades de processamento. Estas revisões deverão considerar sempre os resultados de vistorias, inspeções ou auditorias.

A realização de qualquer alteração ou ampliação na instalação industrial, a renovação da licença ambiental ou a retomada de operações após paradas por períodos superiores a seis meses, são situações que requerem obrigatoriamente a revisão dos *Estudos de Análise de Riscos*, independentemente da periodicidade

definida no *PGR*, considerando-se sempre os critérios para a classificação de instalações industriais (categoria de risco).

3.6.5 Manutenção e garantia de integridade de sistemas críticos.

A prevenção dos acidentes nas instalações deve ser implementada através de um programa de manutenção e garantia da integridade e confiabilidade de sistemas considerados como críticos. Todos os sistemas e componentes nos quais falhas possam contribuir ou causar condições ambientais ou operacionais inaceitáveis devem ser considerados como críticos.

Os sistemas considerados críticos em instalações ou atividades perigosas, sejam estes equipamentos para processar, armazenar ou manusear substâncias perigosas, ou mesmo relacionados com sistemas de monitoração ou de segurança, devem ser projetados, construídos e instalados no sentido de minimizar os riscos às pessoas e ao meio ambiente.

O programa de manutenção deve incluir o gerenciamento e o controle de todas as inspeções e o acompanhamento das atividades associadas com os sistemas críticos para a operação, segurança e controle ambiental. Essas operações se iniciam com um programa de garantia da qualidade e terminam com um programa de inspeção física que trata da integridade mecânica e funcional. Dessa forma, os procedimentos para inspeção e teste dos sistemas críticos devem incluir, entre outros, os seguintes itens:

- Lista dos sistemas e equipamentos críticos sujeitos a inspeções e testes;
- Procedimentos de testes e de inspeção em concordância com as normas técnicas e códigos pertinentes;
- Documentação das inspeções e testes, a qual deverá ser mantida arquivada durante a vida útil dos equipamentos;
- Procedimentos para a correção de operações deficientes ou que estejam fora dos limites aceitáveis; e
- Sistema de revisão e alterações nas inspeções e testes.

São exemplos de itens de processo para os quais se aplicam este elemento do Programa de Gerenciamento de Riscos: vasos de pressão; tanques de estocagem; sistemas de alívio e de *venting*; sistemas de desligamento de emergência; sistemas de controle (incluindo sistemas de monitoração, alarme e intertravamento); bombas; compressores; e sistemas de controle de efluentes.

3.6.6 Treinamento

O objetivo do Programa de Treinamento é garantir que os empregados sejam periodicamente atualizados no desempenho de suas funções. A capacitação de recursos humanos é considerada uma etapa fundamental do PGR. O treinamento adequado é uma exigência básica para a realização de operações eficientes e seguras. Desse modo, todos os funcionários envolvidos devem conhecer detalhadamente suas tarefas, demonstrando a competência exigida na realização de suas funções.

O Programa de Treinamento deverá contemplar cursos específicos de acordo com as atividades desempenhadas, além de programas de capacitação sobre segurança, meio Ambiente e qualidade. Os treinamentos devem contemplar os procedimentos operacionais, incluindo eventuais modificações ocorridas nas instalações e na tecnologia de processo. Estes procedimentos devem ser definidos de modo a assegurar que as pessoas que operem as instalações possuam os conhecimentos e habilidades requeridas para o desempenho de suas funções, incluindo as ações relacionadas com a pré-operação e paradas, emergenciais ou não.

Os responsáveis pela atividade regulamentada deverão manter registros do treinamento de cada empregado envolvido com a operação do processo, contendo identidade do empregado, as datas do treinamento e os meios utilizados para verificar que o empregado entendeu e teve bom aproveitamento no treinamento.

O programa de treinamento a ser implementado deverá ser formado basicamente por três partes: treinamento inicial, retreinamento e treinamento após modificações.

Quando houver modificações nos procedimentos ou nas instalações, os funcionários envolvidos deverão, obrigatoriamente, ser treinados sobre as alterações implementadas antes do retorno às suas atividades.

3.6.7 Gerenciamento de modificações

O objetivo do gerenciamento de modificações é estabelecer e implementar procedimentos formais para a administração das operações sob responsabilidade da empresa, tanto no aspecto da tecnologia, como nas instalações.

As instalações industriais estão permanentemente sujeitas a modificações com o objetivo de melhorar a operacionalidade e a segurança, incorporar novas tecnologias e aumentar a eficiência dos processos. Assim, considerando a complexidade dos processos industriais, bem como outras atividades que envolvam a manipulação de substâncias químicas perigosas é imprescindível ser estabelecido um sistema gerencial apropriado para assegurar que os riscos decorrentes dessas alterações possam ser adequadamente identificados, avaliados e gerenciados previamente à sua implementação.

Dessa forma, o *PGR* deve estabelecer e implementar um sistema de gerenciamento contemplando procedimentos específicos para a administração de modificações na tecnologia e nas instalações. Portanto, estes procedimentos ou modificações só podem ser aplicados após uma minuciosa e detalhada análise das possíveis implicações que possam acarretar anormalidades na segurança das operações. Entre outros, esses procedimentos devem considerar os seguintes aspectos:

- Bases de projeto do processo para as alterações propostas;
- Análise das considerações de segurança e de meio ambiente envolvida nas modificações propostas, contemplando inclusive os estudos para a análise e avaliação dos riscos impostos por estas modificações, bem como as implicações nas instalações do processo à montante e à jusante das instalações a serem modificadas;

- O impacto da mudança sobre a segurança de processo e sobre a segurança ocupacional (a realização de uma Avaliação Preliminar de Risco - APR pode ser suficiente);
- O período de tempo necessário para a realização da mudança;
- Necessidade de alterações em procedimentos e instruções operacionais, de segurança e de manutenção;
- Documentação técnica necessária para registro das alterações;
- Formas de divulgação das mudanças propostas e suas implicações ao pessoal envolvido; e
- Obtenção das autorizações necessárias, inclusive licenças junto aos órgãos competentes.

3.6.8 Plano de Ação de Emergência (PAE)

Excluindo os eventos naturais, hoje em dia, os acidentes com produtos químicos são os mais significativos. O aumento da produção, da armazenagem e da utilização das substâncias químicas evidencia que é necessário o enfoque sistemático e bem definido do controle desses produtos para proteger a comunidade, o patrimônio público, privado e o meio ambiente (BECK, 1998).

As ocorrências com produtos químicos podem transformar-se em eventos agudos de poluição. Descargas acidentais e vazamentos geram atmosferas contaminadas, tóxicas, inflamáveis e explosivas, envolvendo uma ou mais substâncias perigosas, com potencial para causar, simultaneamente, múltiplos danos ao meio ambiente e à saúde dos trabalhadores e das comunidades expostas aos seus efeitos.

Os acidentes com produtos químicos também podem ampliar-se e causar grande número de óbitos. Numa explosão, a súbita liberação de energia pode causar efeitos locais. Porém, as explosões envolvendo produtos químicos tendem a apresentar repercussões mais graves sobre a saúde, uma vez que ocasionam incêndios e emissão de substâncias tóxicas perigosas. Em ambos os casos, há ainda a possibilidade da projeção de fragmentos que provocam queimaduras e

traumatismos, bem como sufocação nas pessoas, devido aos gases liberados após a explosão (GOW & KEY, 1988).

No caso de incêndios, o calor liberado pelas chamas pode causar danos a outros equipamentos, com a possibilidade de ocorrência de novos incêndios e explosões, intensificando os efeitos destrutivos. Além disso, dependendo de vários fatores, dentre eles a temperatura, as combustões incompletas das substâncias químicas podem gerar inúmeros poluentes indiretos. As emissões líquidas acidentais, que decorrem de vazamento ou derramamento, têm extensão determinada, entre outros fatores, pela existência de cursos d'água e barreiras naturais ou artificiais. A gravidade e a extensão dessas emissões dependem das propriedades físicas, químicas, toxicológicas e ecotoxicológicas das substâncias que as compõem, das condições atmosféricas e das características geológicas e geográficas. A exposição aos vapores tóxicos gerados pelas emissões líquidas acidentais pode provocar efeitos agudos e crônicos, como carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, e causar danos a órgãos específicos (CETESB, 2003b).

Com a finalidade de redução dos impactos e as conseqüências geradas por estes tipos de eventos é que devem ser elaborados os *Planos de Ação de Emergência – PAE*. Independentemente das ações preventivas previstas no *PGR*, um *PAE* deve ser elaborado e considerado como parte integrante do processo de gerenciamento de riscos.

O *PAE* deve se basear nos resultados obtidos no estudo de análise e avaliação de riscos, quando realizado, e na legislação vigente, devendo ter os seguintes itens (CETESB, 2003a) (FEPAM, 2001):

- Introdução;
- Estrutura do plano;
- Descrição das instalações envolvidas;
- Bases técnicas para a elaboração do Plano;
- Cenários acidentais considerados;

- Área de abrangência e limitações do plano;
- Estrutura organizacional, contemplando as atribuições e responsabilidades dos envolvidos;
- Fluxograma de acionamento;
- Designação de Centros de Controle de Emergência (principal e alternativo);
- Ações de resposta às situações emergenciais compatíveis com os cenários acidentais considerados (procedimentos e medidas de ação de emergência no decorrer do acidente), de acordo com os impactos esperados e avaliados no *Estudo de Análise de Riscos*, considerando procedimentos de avaliação, controle emergencial (combate a incêndios, isolamento, evacuação, controle de vazamentos, etc.) e ações de recuperação;
- Recursos humanos e materiais;
- Procedimentos e medidas de ação de emergência no decorrer do acidente;
- Procedimentos para revisão e atualização do Plano;
- Procedimentos para treinamento periódico dos empregados, divulgação, implantação, integração com outras instituições e manutenção do plano;
- Procedimentos para comunicação com autoridades competentes;
- Procedimentos para informação ao público potencialmente afetado;
- Tipos e cronogramas de exercícios teóricos e práticos, de acordo com os diferentes cenários acidentais estimados; e
- Documentos anexos: plantas de localização da instalação e *lay-out*, incluindo a vizinhança sob risco, listas de acionamento (internas e externas), listas de equipamentos, sistemas de comunicação e alternativos de energia elétrica, relatórios, etc.

As bases técnicas para elaboração do PAE deverão ser consistentes com os resultados da análise de riscos das instalações envolvidas, identificando claramente os cenários de acidente tomados como base para o desenvolvimento do Plano e contemplando procedimentos e medidas de ação de emergência específicas para o controle das emergências geradas por cada um dos cenários analisados ou por grupos de cenários que apresentem evoluções semelhantes.

3.6.9 Investigação de acidentes

Todo e qualquer incidente de processo ou desvio operacional que resulte ou possa resultar em ocorrências de maior gravidade, envolvendo lesões pessoais ou impactos ambientais deve ser investigado. Assim, o *PGR* deve contemplar as diretrizes e critérios para a realização dessas investigações, as quais devem ser devidamente analisadas, avaliadas e documentadas.

O objetivo da investigação de incidentes é obter o maior número possível de elementos que possam identificar as causas básicas do fato ocorrido, a fim de prevenir novas ocorrências similares. Incidentes que resultem ou possam resultar em não conformidades operacionais, danos à integridade física de pessoas, danos ao patrimônio ou impactos ambientais deverão ser, obrigatoriamente, investigados.

Todas as recomendações resultantes do processo de investigação devem ser implementadas e divulgadas na empresa, de modo que situações futuras e similares sejam evitadas.

A documentação do processo de investigação do acidente deve contemplar, entre outros, os seguintes aspectos:

- Natureza do incidente;
- Causas básicas e demais fatores que contribuíram para a sua ocorrência; e
- Ações corretivas e recomendações identificadas, resultantes da investigação.

3.6.10 Comunicação e manutenção do PGR

Constitui um item importante para o sucesso de qualquer empreendimento, promover a sua divulgação interna e externamente. O mesmo deve ocorrer também com um PGR, que deve ser conhecido por todos os envolvidos. Para isso devem ser identificados e mantidos contatos com os segmentos afetados pelo plano e ser feito um esforço para mobilizá-los e integrá-los. O PGR deve ser conhecido não só pelos a que atuam diretamente nele, mas também pela comunidade existente na área de atuação (FEPAM, 2001).

A comunidade deve ser informada sobre os riscos potenciais de qualquer complexo industrial instalado nas imediações. A divulgação das atividades de um sistema contribui para diminuir as preocupações existentes em relação ao empreendimento, mostrando as providências da empresa e demais envolvidos para reduzir os riscos de acidentes que poderão afetar a saúde pública, o meio ambiente e o patrimônio público e privado.

Diante do potencial de risco que uma comunidade esteja exposta, pode ser recomendada a conscientização e preparação dessa comunidade para situações de emergência. Assim sendo, poderá ser recomendável aconselhar a implantação do Programa de Conscientização e Preparação para Emergências a Nível Local – APELL, desenvolvido pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) <<http://www.uneptie.org/apell>> em uma comunidade situada na região circunvizinha à instalação. O APELL é um processo local de comunicação de risco. Os serviços de atendimento a emergências e de ações cooperativas visam intensificar a conscientização e a preparação da comunidade para situações de emergência. O eixo do APELL é o Grupo Coordenador, constituído por autoridades locais, líderes da comunidade, dirigentes industriais e outras entidades interessadas no assunto.

A implantação do APELL numa região visa conscientizar os moradores quanto aos possíveis riscos e impactos que estão expostos e os prepara para agirem de forma adequada em caso de acidente. Orienta, também, a preparação

das equipes de atendimento a emergências, que passam a dispor de sistemas de informações, procedimentos e coordenação adequados a desastres potenciais.

Deve ser também estabelecido um plano de divulgação interna, dotado de procedimentos para a comunicação entre seus integrantes, nos níveis hierárquicos e nos grupos de trabalho. Externamente deve ser promovida a divulgação nos segmentos envolvidos e na comunidade sobre as atividades do PGR, de forma a:

- Demonstrar o compromisso da administração pública com a segurança da comunidade e do meio ambiente;
- Tratar as preocupações e questões relativas aos aspectos de prevenção, preparação e respostas aos acidentes;
- Promover a divulgação dos objetivos, metas e diretrizes; e
- Informar as partes interessadas, interna e externamente, sobre o seu desempenho.

Para evitar a divulgação de informações incorretas ou conflitantes, que ponham em risco o trabalho, na fase de divulgação do plano ou na ocorrência de um acidente, é preciso escolher um porta-voz que centralize as informações. Esse profissional deve conhecer e divulgar todo o trabalho de um Sistema, em linguagem simples ao alcance do público.

3.7 Critério para a Classificação de Instalações Industriais quanto à Periculosidade (critério CETESB)

Existem inúmeras dificuldades do ponto de vista operacional no sentido de tomada de decisão quanto à necessidade ou não da realização dos *Estudos de Análise de Riscos*, quanto ao momento em que os mesmos devem ser solicitados e em que níveis de detalhamento devem ser realizados.

Para responder a estas questões a CETESB elaborou o “**Manual de orientação para a elaboração de Estudos de Análise de Riscos – Norma Técnica CETESB P4.261**” (CETESB, 2003a), com o objetivo de propor uma metodologia, para subsidiar a tomada de decisões no tocante a *quando* e *o quê* solicitar dos novos empreendimentos ou de ampliações de instalações existentes

no estado de São Paulo, durante o processo de licenciamento ambiental, com a finalidade de avaliar os seus riscos, do ponto de vista da ocorrência de acidentes ambientais.

Para os empreendimentos listados a seguir, *sempre* deverá ser solicitada a elaboração de *Estudos de Análise de Riscos* durante o processo de licenciamento ambiental, isto em função dos perigos existentes nessas atividades; assim, nesses empreendimentos não há a necessidade da aplicação do presente critério para a tomada dessa decisão. São eles:

- Sistemas de dutos, externos a instalações industriais, destinados ao transporte de petróleo, derivados, gases ou outras substâncias químicas; e
- Plataformas de exploração de petróleo e/ou gás.

O critério aplica-se às instalações que operam com substâncias inflamáveis e/ou tóxicas. Outras instalações que operem com substâncias com riscos diferenciados, como, por exemplo, explosivos ou reativos, deverão ser estudados caso a caso.

Da mesma forma, instalações ou atividades que possam impor riscos ambientais, como, por exemplo, derrames de produtos líquidos em corpos d' água, também deverão ser analisadas de forma específica, uma vez que os estudos para a análise e avaliação desses riscos devem ser definidos considerando a peculiaridade de cada instalação e das áreas vulneráveis.

No caso do licenciamento de empreendimentos de pequeno porte, a CETESB poderá estabelecer critérios técnicos específicos quando da avaliação da necessidade de elaboração de *Estudos de Análise de Riscos*. Estes casos são tratados como exceções ao referido critério.

Nos processos de licenciamento onde haja a necessidade de ser elaborado o *Relatório Ambiental Preliminar (RAP)*, o mesmo deverá contemplar uma análise

crítica do empreendimento do ponto de vista dos riscos a ele associados, bem como o escopo do estudo a ser elaborado nas etapas posteriores de licenciamento. Já nos *Estudos de Impacto Ambiental*, os *Estudos de Análise de Riscos*, quando necessários, deverão ser partes integrantes dos mesmos, podendo também ser complementados nas etapas posteriores do licenciamento. A metodologia do critério proposto baseia-se no seguinte princípio:

“O risco de uma instalação industrial 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 respectivas quantidades e à vulnerabilidade da região onde a instalação está ou será localizada”.

Assim, o princípio da metodologia pode ser representado esquematicamente pelo diagrama apresentado na Figura 3.12 (CETESB, 2003a).

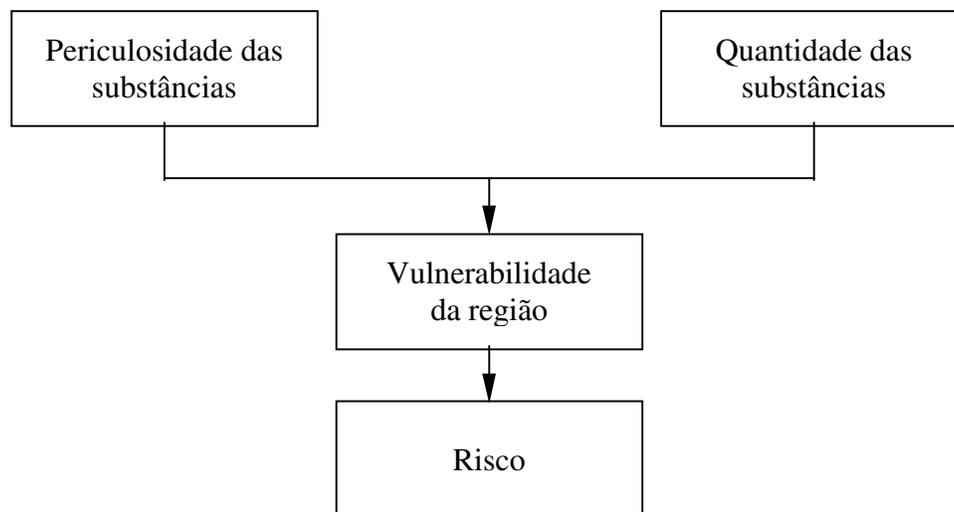


Figura 3.12 - Fatores que influenciam os *Estudos de Análise de Riscos* em instalações industriais (CETESB, 2003a).

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

Para a classificação das substâncias foram definidos quatro níveis (1, 2, 3 e 4) de toxicidade (praticamente não tóxica, pouco tóxica, tóxica e muito tóxica respectivamente), de acordo com a *Concentração Letal 50* - CL₅₀, ou de *Dose Letal 50* - DL₅₀.

Para efeito do critério, todas as substâncias classificadas nos níveis de toxicidade 3 e 4, foram consideradas como gases e líquidos tóxicos perigosos.

3.7.1 Classificação de gases e líquidos tóxicos

Para a classificação das substâncias, foram definidos quatro níveis de toxicidade, de acordo com a CL₅₀, via respiratória para rato ou camundongo, para substâncias que possuam pressão de vapor igual ou superior a 10 mmHg a 25°C, conforme apresentado na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Classificação de substâncias tóxicas (CETESB, 2003a).

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

C = concentração letal 50% (CL₅₀) em ppm multiplicada pelo tempo de exposição em horas.

Para as substâncias cujos valores de CL₅₀ não estavam disponíveis, foram utilizados os valores de DL₅₀, via oral para rato ou camundongo, considerando-se os mesmos valores de pressão de vapor, ou seja, pressão de vapor igual ou superior a 10 mmHg a 25 °C, conforme apresentado na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Classificação de substâncias tóxicas pelo DL₅₀ (CETESB, 2003a).

Nível de toxicidade	DL₅₀ (mg/Hg)
4 – Muito tóxica	DL ₅₀ ≤ 50
3 – Tóxica	50 < DL ₅₀ ≤ 500
2 – Pouco tóxica	500 < DL ₅₀ ≤ 5000
1 – Praticamente não tóxica	5000 < DL ₅₀ ≤ 15000

Para efeito deste trabalho, todas as substâncias classificadas nos níveis de toxicidade 3 e 4 foram consideradas como gases e líquidos perigosos. Deve-se ressaltar que esta classificação se aplica às substâncias tóxicas que possuam pressão de vapor igual ou superior a 10 mmHg nas condições normais de temperatura e pressão (25 °C e 1 atm) e também àquelas cuja pressão de vapor puder se tornar igual ou superior a 10 mmHg, em função das condições de armazenamento ou processo.

3.7.2 Classificação de gases e líquidos inflamáveis

Da mesma forma que para as substâncias tóxicas, foi adotada uma classificação (gás ou líquido altamente inflamável, líquido facilmente inflamável, líquido inflamável e líquido pouco inflamável) para as substâncias inflamáveis, segundo níveis de periculosidade de acordo com o ponto de fulgor (PF) e/ou ponto de ebulição (PE), conforme apresentado na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Classificação de substâncias inflamáveis (CETESB, 2003a).

Nível de inflamabilidade	Ponto de Fulgor (PF) e/ou Ponto de Ebulição (PE) [°C]
4 – Gás ou líquido altamente inflamável	PF ≤ 37,8 e PE ≤ 37,8
3 – Líquido facilmente inflamável	PF ≤ 37,8 e PE > 37,8
2 – Líquido inflamável	37,8 < PF ≤ 60
1 – Líquido pouco inflamável	PF > 60

Para efeito deste critério, todas as substâncias do nível 4, líquidas ou gasosas, e do nível 3, somente líquidas, foram consideradas substâncias inflamáveis perigosas.

3.7.3 Determinação das quantidades e distâncias seguras

Para as substâncias inflamáveis dos níveis 4, gasosas ou líquidas e 3, líquidas com pressões de vapor superior a 120 mmHg a 25 °C, foram realizadas estimativas de conseqüências visando estabelecer a distância máxima atingida pela sobrepressão decorrente da explosão de nuvem de vapor. Já para as substâncias inflamáveis do nível 3 que possuem pressão de vapor igual ou inferior a 120 mmHg a 25 °C, as estimativas de conseqüências foram realizadas visando estabelecer a distância máxima atingida pela concentração correspondente à metade do Limite Inferior de Inflamabilidade (LII).

Para as substâncias tóxicas foi estimada a distância máxima atingida pela concentração da nuvem tóxica, onde a probabilidade de morte é de até 1 %, ou seja, é praticamente nula. Dessa forma, o critério da CETESB correlacionou a quantidade da substância existente com a distância máxima para a não ocorrência de danos indesejáveis denominadas distância segura.

3.7.4 Hipóteses acidentais

Gases tóxicos ou inflamáveis

A hipótese acidental assumida para as substâncias gasosas, tóxicas ou inflamáveis, foi à ocorrência de um vazamento instantâneo de 20% da massa existente num recipiente. Tal cenário foi adotado com base no histórico de ocorrências atendidas pela CETESB, onde se constata na grande maioria dos casos, o vazamento de um recipiente envolveu massas menores que 20% da existente no mesmo.

Líquidos tóxicos ou inflamáveis

A hipótese acidental assumida para acidentes com essas substâncias foi a ocorrência de um vazamento instantâneo de todo o inventário existente num recipiente, de modo que toda a área da bacia de contenção fosse ocupada pela substância liberada.

O volume da bacia de contenção foi estimado considerando de acordo com os critérios apresentados na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Volume do tanque e altura do dique considerados (CETESB, 2003a).

Volume do tanque (m³)	Altura do dique (m)
≤ 100	0,5
101 a 1000	1,0
1001 a 10.000	1,5
10.001 a 100.000	2,0

Assim, foi possível, obter a área ocupada pela poça da substância, através da divisão do volume existente no recipiente pela altura média da bacia. As simulações foram realizadas variando-se a área ocupada pela substância vazada, o que significou variar o inventário existente num recipiente.

3.7.5 Valores de referência

Para as substâncias inflamáveis dos níveis 4, gasosas ou líquidas e 3, líquidas com pressões de vapor superior a 120 mmHg a 25 °C, a distância adotada foi aquela referente ao nível de sobrepressão de 0,1 bar decorrente da explosão de uma nuvem inflamável, cuja dispersão ocorreu até a concentração correspondente ao Limite Inferior de Inflamabilidade (LII). Já para as substâncias inflamáveis do nível 3 que possuem pressão de vapor igual ou inferior a 120 mmHg a 25 °C, a distância adotada foi a referente ao *flashfire* cuja dispersão ocorreu até a concentração correspondente à metade do Limite Inferior de Inflamabilidade (LII).

No caso das substâncias tóxicas, líquidas ou gasosas, a distância adotada foi àquela correspondente à probabilidade de morte de até 1 % da população

exposta. Nos Anexos C e D da Norma Técnica CETESB P4.261 (CETESB, 2003a) são apresentadas listagens com as relações entre as quantidades das substâncias, tóxicas e inflamáveis, e as respectivas distâncias seguras, de acordo com o critério descrito.

3.7.6 Aplicação do critério da CETESB

A aplicação do critério consiste em classificar as substâncias presentes na instalação em análise, relacionando as quantidades existentes nos recipientes com as distâncias seguras correspondentes. Uma vez obtidas essas distâncias, as mesmas devem ser comparadas com as distâncias reais dos diferentes recipientes à população fixa para subsidiar a tomada de decisão quanto à necessidade ou não de elaboração de um *Estudo de Análise de Riscos*. Os itens que se seguem detalham a aplicação deste critério passo a passo.

Etapa de Classificação

- a) Levantar todas as substâncias existentes na instalação em estudo ou em processo de licenciamento;
- b) Verificar se as substâncias constam das listagens presentes nos Anexos A ou B da Norma Técnica CETESB P4.261;
 - b.1) Caso as substâncias constem das citadas listagens, deve-se proceder da seguinte maneira:
 - b.1.1) Fazer o levantamento das quantidades presentes nos diferentes recipientes existentes na instalação. Para tanto, deve-se considerar a quantidade presente em cada recipiente (tanque, reator, tubulação, tambor, etc.) de forma individual; ou seja, não deverá ser realizado o somatório do inventário existente. Somente deverá ser realizado o somatório do inventário quando dois ou mais recipientes estiverem, de alguma forma, interligados e operando simultaneamente, podendo, dessa forma, ocorrer o vazamento de mais de um deles.
 - b.1.2) Obter a distância segura para a quantidade presente no recipiente, de acordo com os dados constantes das listagens dos Anexos C ou D da Norma Técnica CETESB P4.261.

- b.1.3)** Determinar a distância de cada recipiente à população fixa mais próxima e externa ao empreendimento.
- b.2)** Caso a substância não conste das listagens dos anexos, deve-se proceder da seguinte maneira:
- b.2.1)** Classificar a substância de acordo com o nível de toxicidade ou de inflamabilidade, considerando os critérios mencionados no item anterior (itens 4.1.1 ou 4.1.2 da Norma Técnica CETESB).
- b.2.2)** Proceder ao levantamento das quantidades presentes nos diferentes recipientes existentes na instalação. Deve-se considerar a quantidade presente em cada recipiente (tanque, reator, tubulação, tambor, etc.) de forma individual; ou seja, não deverá ser realizado o somatório do inventário existente. Somente deverá ser realizado o somatório do inventário quando dois ou mais recipientes estiverem, de alguma forma, interligados e operando simultaneamente, podendo, dessa forma, ocorrer o vazamento de mais de um deles.
- b.2.3)** Obter a distância segura para a quantidade presente no recipiente, estabelecida para a substância de referência correspondente ao nível de toxicidade ou de inflamabilidade similar à substância em análise, obtida nas Tabelas 3.4 e 3.5.
- b.2.4)** Determinar a distância de cada recipiente à população fixa mais próxima e externa ao empreendimento.

Observações

- Caso a quantidade exata da substância existente no recipiente não conste das listagens dos Anexos C ou D da Norma Técnica CETESB P4.261, deverá ser realizada a interpolação linear dos dados para a determinação da distância segura para a quantidade em questão.
- As listagens não contemplam todo o universo de substâncias existentes. Dessa forma, caso a substância em estudo não conste dos Anexos A ou B, a classificação deverá ser realizada considerando as distâncias

seguras definidas para as substâncias de referência equivalentes ao nível de toxicidade ou de inflamabilidade das substâncias em análise. Essas substâncias de referência foram selecionadas em função de pertencerem aos níveis de toxicidade e de inflamabilidade considerados perigosos. As Tabelas 3.4 e 3.5 apresentam, respectivamente, as substâncias, tóxicas e inflamáveis, de referência, de acordo com o estado físico.

Tabela 3.7 - Substâncias de referência para líquidos e gases tóxicos (CETESB, 2003a)

Nível de toxicidade	Estado físico	Substância de referência
4	Gás	Cloro
3	Gás	Amônia
4	Líquido	Acroleína
3	Líquido	Acrilonitrila

Tabela 3.8 - Substâncias de referência para líquidos e gases inflamáveis (CETESB, 2003a)

Estado físico	Substância de referência
Gás	Propano
Líquido dos níveis 4 e 3 com Pressão de vapor > 120 mmHg a 25 °C	n-Pentano
Líquido nível 3 com Pressão de vapor < ou = 120 mmHg a 25 °C	Benzeno

- Caso a substância possa ser classificada como tóxica e inflamável, deverá ser adotada a situação mais restritiva em termos de distanciamento.
- Para a maioria dos gases é possível a sua existência no estado líquido, bastando, para tanto, exercer pressão e/ou reduzir a temperatura. Cada estado físico poderá apresentar um comportamento diferente no momento do vazamento e, conseqüentemente, durante sua dispersão. As simulações realizadas mostraram que tanto para gases tóxicos como para inflamáveis, liquefeitos ou não, os resultados foram bastante

semelhantes. Dessa forma, as quantidades e as distâncias correspondentes deverão ser consideradas as mesmas, tanto para as substâncias no estado gasoso ou na condição liquefeita.

- O critério leva em consideração a presença de população fixa, como residências e/ou estabelecimentos, comerciais ou industriais, no entorno do empreendimento. Em casos onde existam vias de grande circulação de veículos, como rodovias, grandes avenidas e ruas movimentadas, estas devem ser consideradas como “população fixa”.

3.7.7 Avaliação dos Resultados da Aplicação do Critério

Uma vez obtida a distância segura (d_s) e a distância à população fixa (d_p), as mesmas devem ser comparadas entre si, sendo que, quando houver a presença de população fixa dentro dos limites determinados pela distância segura, deverá ser realizado um EAR a ser submetido à aprovação da CETESB.

Caso contrário, isto é, quando a distância da população fixa for maior que a distância segura, o que corresponde a dizer que não há população nos limites determinados pela distância segura, o empreendedor ficará dispensado da realização do *EAR*, devendo no entanto submeter à apreciação de um PGR.

O PGR poderá ter escopos diferentes, em consonância com o porte do empreendimento sob avaliação. Para empreendimentos de maior porte, como refinarias, dutos e bases de derivados de petróleo, entre outros, deverá ser requerido o PGR de acordo com o item 9.1 da Norma Técnica CETESB P4.261. No caso de empreendimentos de menor porte, entre os quais se podem citar como exemplos os usuários de Gás Liquefeitos de Petróleo (GLP) e de amônia anidra, deverá ser requerido o PGR, de acordo com o modelo do item 9.2 do referido documento (CETESB, 2003a).

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

- a.** Se $d_p < d_s$ => Realização de *Estudos de Análise de Riscos* (EAR);

- b.* Se $d_p > d_s$ => Dispensa do EAR e realização do Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR), de acordo com os critérios estabelecidos pela CETESB, considerando o porte do empreendimento.

3.8 Critério para a classificação de instalações industriais quanto à periculosidade (critério FEPAM)

O “Manual de Análise de Riscos Industriais”, da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler – FEPAM (2001), do Rio Grande do Sul (FEPAM, 2001), tem como principal objetivo estabelecer uma sistemática para servir de referência para os procedimentos internos da FEPAM no licenciamento de atividades ou instalações capazes de causar danos às pessoas ou ao meio ambiente, em pontos externos às instalações, em decorrência de liberações acidentais de substâncias perigosas ou energia de forma descontrolada, dentro de um contexto de análise de riscos industriais.

3.8.1 Classificação das instalações

As exigências ou isenções, relativas à análise de riscos, para obtenção de cada uma das licenças necessárias junto à FEPAM deverão ser feitas com base em uma classificação das instalações (ou atividades) definida a partir de um índice de risco. O risco industrial está diretamente ligado à intensidade de perigo e inversamente à quantidade de salvaguarda. O perigo pode ser representado pela quantidade de material perigoso capaz de ser liberado acidentalmente para o meio e as salvaguardas são combinações de fatores que tendem a minimizar os efeitos danosos de liberações acidentais. O principal fator de salvaguarda que deverá ser considerado para fins de classificação é a distância entre o ponto de liberação do material perigoso e a população.

Assim, pode-se estimar o risco como

$$Risco = \frac{Perigo}{Salvaguarda} \quad (3.6)$$

É definido um Fator de Perigo (FP) como sendo um quociente entre duas grandezas:

$$FP = \frac{MLA}{MR} \quad (3.7)$$

onde MLA é a massa liberada acidentalmente e
MR é a Massa de Referência.

A massa que pode ser liberada acidentalmente (MLA) é a maior quantidade de material perigoso capaz de participar de uma liberação acidental de substância perigosa devido a vazamento ou ruptura de tubulações, componentes em linhas, bombas, vasos, tanques, etc., ou por erro de operação, reação descontrolada ou explosão confinada, nas instalações em licenciamento. Na ausência de informações mais precisas para o valor de MLA a FEPAM considera este parâmetro igual a 20% (vinte por cento) da massa de material estocado ou em processo. Havendo sistemas de segurança automáticos ou procedimentos que justifiquem o uso de um tempo de vazamento menor do que o necessário para vazar menos do que 20% da massa do material considerado, a MLA poderá ser estimada com base neste tempo, desde que devidamente justificado. Substâncias perigosas que possam ter origem em outro tipo de acidente, tais como, produtos de decomposição em reação descontrolada ou gerados por combustão, devem também ser devidamente considerados.

A massa de referência (MR) é definida (em kg) para cada uma das substâncias perigosas conforme apresentado no Apêndice 1 do Manual da FEPAM (FEPAM, 2001). Esta massa pode ser entendida como a menor quantidade da substância capaz de causar danos a uma certa distância do ponto de liberação. No Apêndice 1 desta referência citada são apresentados os critérios para classificação das substâncias perigosas. As substâncias perigosas que devem ser consideradas não estão todas contempladas na listagem fornecida

neste Apêndice. Outras substâncias perigosas não incluídas lá, devem ser consideradas, com a classificação baseada nos parâmetros pressão de vapor, IDLH, ponto de fulgor e explosividade, combinados com os critérios de classificação. Havendo dúvidas, a FEPAM deve ser consultada.

Consideram-se situações graves aquelas onde se possa observar:

- Concentração no ar de substância tóxica capaz de causar morte em 1% das pessoas expostas durante um tempo de 30 minutos;
- Fluxo de radiação térmica capaz de causar morte em 1% das pessoas expostas durante um tempo de 60 segundos; e
- Explosão gerando combinação de sobrepressão e impulso capaz de causar morte em 1% das pessoas expostas.

O Fator de Perigo (FP) representa, portanto, uma medida da intensidade da fonte de risco. Quanto maior for a quantidade de material que puder ser liberada acidentalmente, maior será o perigo e, portanto maior será o risco.

No caso de vários tanques de estocagem de substâncias inflamáveis situadas no mesmo dique de contenção, os valores de FP de cada uma deverão ser somados, sendo o resultado considerado como o FP da área de estocagem.

É adotada a distância entre o local onde ocorre o acidente e o ponto de interesse como um elemento de salvaguarda. É definido, portanto, o Fator de Distância (FD) como o quociente entre duas distâncias: a menor distância entre o ponto de liberação e o ponto de interesse onde estão localizados os recursos vulneráveis (*distância* [m]) e a distância de 50 metros.

Assim:

$$FD = \frac{\text{distância}[m]}{50} \quad (3.8)$$

O fator FD mostra a capacidade de reduzir os efeitos danosos de liberações acidentais de substâncias perigosas. Quanto maior for a distância entre a fonte de perigo e o ponto onde se localizam os recursos vulneráveis, menores deverão ser os danos e, portanto, o risco.

Tipicamente, recursos vulneráveis a serem considerados são pessoas e recursos ambientais. Assim, áreas residenciais ou públicas devem ser consideradas como pontos contendo recursos vulneráveis. Rios, tomadas d'água para consumo humano, mangues, etc. são pontos a considerar quando o foco for recursos ambientais.

Associando os dois fatores FP e FD, de forma análoga à definição de risco pela equação 3.6, é definido um Índice de Risco (IR):

$$IR = \frac{FP}{FD} \quad (3.9)$$

Este índice serve de base para a classificação das instalações/atividades em categorias de risco conforme mostrado na Tabela 3.9 a seguir.

Tabela 3.9 – Classificação das instalações/atividades com base no Índice de Risco – IR (FEPAM, 2001).

Índice de Risco	Categoria de Risco
$IR \leq 1$	1
$1 < IR \leq 2$	2
$2 < IR \leq 4$	3
$IR > 4$	4

Estas categorias de risco correspondem a:

- a) Categoria de Risco 1:** Instalações/atividades que podem ser consideradas como de risco desprezível, por terem quantidades muito pequenas (ou não terem) de substâncias perigosas em processo ou armazenadas.
- b) Categoria de Risco 2:** Instalações/atividades que podem causar danos significativos em distâncias de até 100 m do local.
- c) Categoria de Risco 3:** Instalações/atividades que podem causar danos significativos em distâncias entre 100 m e 500 m do local.
- d) Categoria de Risco 4:** Instalações/atividades que podem causar danos significativos em distâncias superiores a 500 m do local.

3.8.2 Padrões de tolerabilidade de riscos adotados pela FEPAM

Somente as instalações cujo risco esteja dentro dos padrões de tolerabilidade definidos pela FEPAM poderão ser licenciadas. Os critérios de tolerabilidade de riscos apresentados a seguir devem ser entendidos como diretrizes para o julgamento dos resultados quantitativos obtidos a partir das *Análises Quantitativas de Riscos - AQRs* realizadas em consequência da aplicação dos procedimentos contidos no manual da FEPAM (2001). Os níveis indicados nos critérios não devem ser vistos como valores rígidos, mas devem servir apenas para o balizamento do julgamento da aceitabilidade dos riscos impostos por uma determinada atividade regulamentada. Outros elementos menos objetivos podem e devem ser também pesados neste processo de tomada de decisão. Fatores tais como, um grande benefício social decorrente da atividade e a impossibilidade ou impraticabilidade da adição de novas medidas de redução de risco, são fatores que tenderiam a flexibilizar os critérios no sentido de se permitir à instalação de atividades que não “passariam” pelos critérios se estes fossem aplicados de forma estrita. Por outro lado, um forte sentimento de rejeição da atividade pela comunidade local, em função da sua “percepção” dos riscos da atividade, ou um histórico de muitos acidentes em outras instalações da mesma empresa responsável pela atividade regulamentada, são claramente fatores que tendem a tornar mais rígida e exigente a aplicação destes critérios.

A filosofia adotada para o estabelecimento dos Critérios de Tolerabilidade de Riscos da FEPAM é a mesma que vem sendo empregada internacionalmente e que se baseia no estabelecimento de dois níveis de risco (USDOD, 2000) (BECK, 1998) (EVANS & VERLANDER, 1997):

- Um nível alto, acima do qual os riscos são considerados “intoleráveis” (denominado limite de intolerabilidade), e
- Um nível baixo, abaixo do qual os riscos são considerados “perfeitamente toleráveis” (denominado limite de tolerabilidade trivial).

Entre estes dois limites indicados acima, os resultados são julgados caso a caso, considerando-se o enfoque ALARA (tão baixo quanto razoavelmente

atingível), que significa que, em princípio, os riscos devem ser reduzidos, mas as medidas de redução devem ser implementadas, se os seus custos não forem excessivamente altos quando comparados aos benefícios em termos de segurança da população (redução marginal ou diferencial do risco) resultantes das respectivas implementações.

Do ponto de vista prático, a adoção de um enfoque ALARA significa que, se os riscos estiverem na chamada “região cinzenta”, entre os dois limites de tolerabilidade, os responsáveis pelo empreendimento sendo licenciado devem, pelo menos, discutir a possibilidade de adotar medidas adicionais de redução de risco, indicando as razões que as tornam impraticáveis ou ineficientes, caso estas não venham a ser adotadas e os resultados permaneçam na “região cinzenta”.

Os critérios de aceitabilidade de riscos sociais adotados pela FEPAM, sob a forma tradicional de gráficos F-N estão indicados na Figura 3.13. As curvas F-N, também chamadas de Curvas de Distribuição Acumulada Complementar, representam a frequência esperada de acidentes na instalação com N ou mais vítimas fatais.

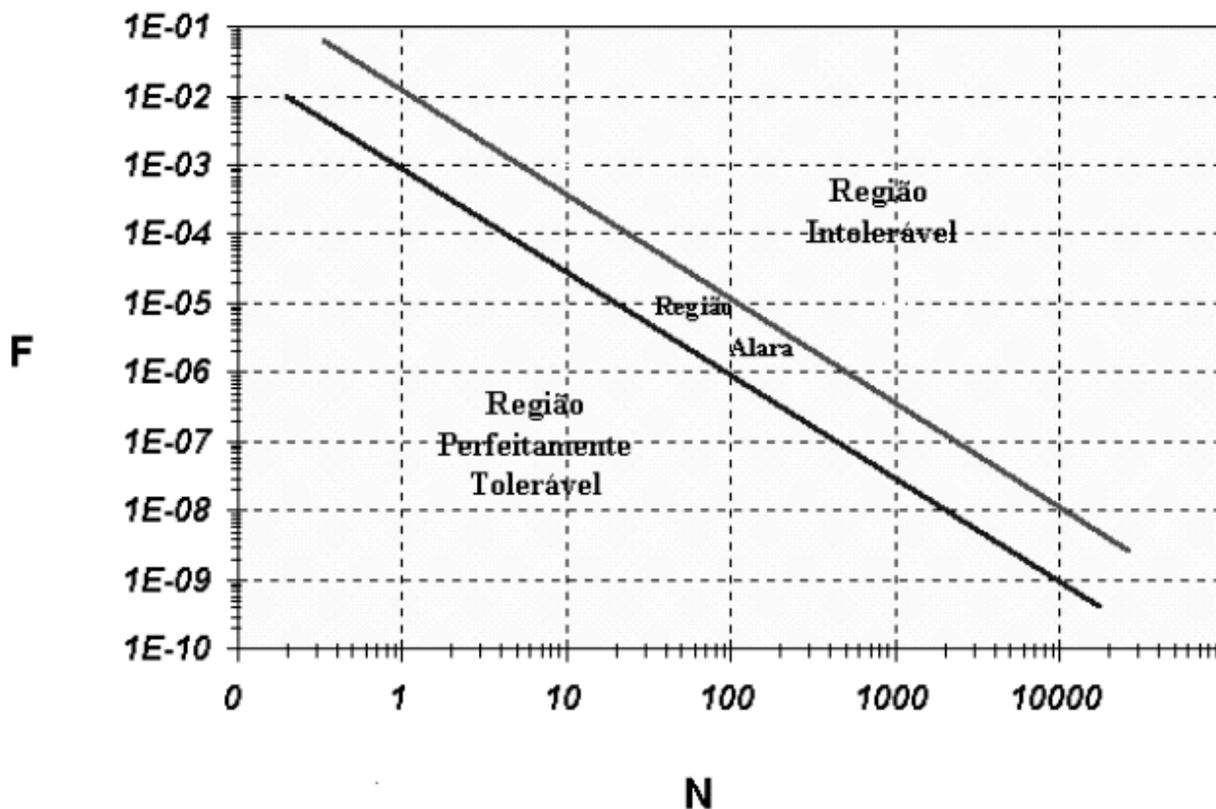


Figura 3.13 – Critérios de Tolerabilidade de Riscos Sociais adotados pela FEPAM (FEPAM, 2001)

O Critério de Tolerabilidade de Riscos Individuais adotado pela FEPAM está apresentado na Figura 3.14. Este limite foi estabelecido com vistas à proteção da população e pontos sensíveis do meio ambiente externos às instalações do empreendimento. Em princípio, este limite visa à proteção dos indivíduos pertencentes às populações de comunidades situadas nas proximidades de instalações industriais. De um modo geral, os funcionários de empresas vizinhas não pertencentes aos responsáveis pela atividade regulamentada, são considerados como membros da população externa. Esta consideração, no entanto, deve ser tomada reconhecendo que existe uma diferença sensível entre as características gerais das populações de residentes de comunidades próximas (compostas de crianças, adultos e idosos) e as dos membros de empresas próximas (formadas basicamente por adultos saudáveis).

A FEPAM considera, então, a possibilidade de que o Limite de Intolerabilidade de Riscos Individuais seja ligeiramente ultrapassado (até um valor

máximo de 10^{-4} /ano) em regiões ocupadas apenas por empresas. Esta consideração funciona também como uma compensação para o fato de que o risco individual deve ser calculado tomando por base a premissa de que o indivíduo permanece por 24 horas na região potencialmente afetada, o que sem dúvida, não ocorre para os empregados das empresas vizinhas.

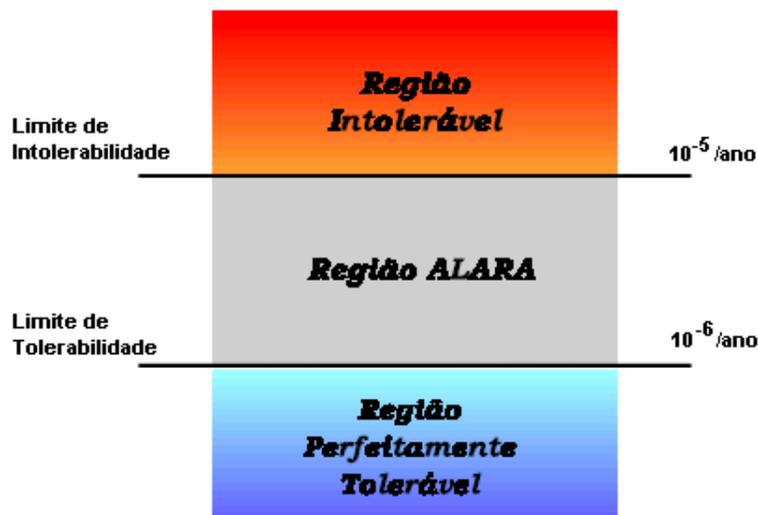


Figura 3.14 – Critérios de Tolerabilidade de Riscos Individuais adotados pela FEPAM (FEPAM, 2001)

A FEPAM considera que os dutos devem ser avaliados como um caso a parte, com critérios de tolerabilidade específicos. A tolerabilidade será avaliada com base somente no valor do risco individual tomando por base os seguintes limites:

- Risco negligenciável $< 1 \times 10^{-5}$ /ano
- Risco individual máximo tolerável $= 1 \times 10^{-4}$ /ano

3.8.3 Exigências para obtenção de licenças

Pelos critérios da FEPAM, somente as instalações cujo risco esteja dentro dos padrões de tolerabilidade definidos no item anterior poderão ser licenciadas. Dado que a Avaliação Quantitativa completa de Riscos de uma instalação poderia significar uma exigência descabida, no caso de instalações ou atividades de reconhecido baixo potencial de risco, as exigências com relação aos aspectos relativos aos riscos variam desde nenhuma até o nível máximo.

A FEPAM observa que a realização de qualquer alteração ou ampliação na instalação industrial ou retomada de operações depois de paradas por períodos superiores a seis meses, são situações que requerem obrigatoriamente a revisão dos *Estudos de Análise de Riscos*.

As exigências para obtenção das várias licenças (prévia, de instalação e de operação) são funções da categoria de risco, da seguinte forma:

Empreendimentos na categoria de risco 1: Instalações ou atividades classificadas na categoria de risco 1 ficam isentas de exigências no que diz respeito a riscos industriais.

3.8.3.1 Exigências para Licença Prévia (LP)

As exigências com relação a riscos, para concessão de licença prévia (LP), são o fornecimento de informações sobre:

- As substâncias perigosas que serão usadas nas instalações. A listagem contida no Apêndice 1 do Manual da FEPAM não cobre todo o espectro de possibilidades em termos de substâncias perigosas. As substâncias que não constem da referida listagem deverão ser acompanhadas das informações de pressão de vapor e IDLH para classificação conforme estabelecido no referido manual;
- As respectivas MLA's das substâncias perigosas;
- A listagem dos possíveis pontos de interesse ou vulneráveis; e
- As respectivas distâncias até o(s) ponto(s) de interesse mais próximo(s).

Estes dados permitirão o cálculo do valor do IR para o empreendimento e a determinação da sua categoria de risco. Os responsáveis pelo empreendimento podem apresentar argumentação devidamente documentada com os respectivos cálculos, para alterar esta classificação.

3.8.3.2 Exigências para Licença de Instalação (LI)

A licença de instalação (LI), a ser concedida pela FEPAM, dependerá da apresentação e aprovação de um *Estudo de Análise de Risco - EAR* cuja abrangência dependerá da categoria de risco definida na fase de concessão da licença prévia. A seguir o nível de abrangência do *EAR* é apresentado.

Empreendimentos na categoria de risco 2: O *EAR* deverá conter pelo menos uma Análise Preliminar de Riscos (*APR*), com indicação de todos os sistemas de proteção e procedimentos de segurança existente nas instalações analisada (USDOD, 2000). No Apêndice 4 do Manual da FEPAM é apresentado um termo de Referência para a realização de uma *APR*. O relatório deverá destacar claramente a relação de recomendações e de medidas mitigadoras identificadas pela *APR*. Os cenários de acidente identificados na *APR* deverão ser classificados em categorias de frequência e de severidade e indicados em uma matriz de risco que congregue essas duas categorias. Caso algum dos cenários de acidente seja classificado na categoria de severidade “catastrófica”, o empreendimento deverá ser considerado de categoria de risco 3, ficando sujeito às exigências indicadas a seguir.

Empreendimentos na categoria de risco 3: O relatório da análise de riscos deverá conter, além dos tópicos indicados para os empreendimentos de categoria de risco 2, também uma Análise de Vulnerabilidade para um conjunto de cenários de acidente considerados razoavelmente prováveis e representativos dos principais cenários de acidentes das instalações em questão. Os resultados da Análise de Vulnerabilidade deverão ser apresentados sob a forma de mapas da região com destaque para o layout das instalações analisadas, sobre os quais serão traçadas as curvas demarcatórias das áreas vulneráveis para cada tipo de acidente, abrangendo os seguintes níveis de efeitos físicos:

- Para ***nuvens tóxicas***: concentração igual ao IDLH da substância (quando a substância não tiver um valor próprio de IDLH, deverá ser

usado um valor equivalente calculado de acordo com o procedimento apresentado no Apêndice 1 do Manual) (FEPAM, 2001);

- Para **nuvens de substâncias inflamáveis**: concentração igual ao limite inferior de inflamabilidade da substância;
- Para **incêndios em poça e jato de fogo (tocha)**, deverá ser indicada a curva representativa do nível de fluxo térmico igual a 5 kW/m^2 ; e
- Para **explosões de qualquer natureza** (de nuvens de vapor, físicas, confinadas ou não e de substâncias explosivas) deverão ser indicadas as curvas representativas dos seguintes níveis de sobrepressão: 13 kPa (1% probabilidade de ruptura de tímpanos) e 7 kPa (danos estruturais em residências).

Caso as curvas de vulnerabilidade de qualquer um desses efeitos ultrapasse a distância de 500 metros, o empreendimento deverá ser considerado de categoria de risco 4, ficando sujeito às exigências indicadas a seguir.

Empreendimentos na categoria de risco 4: Deverá ser realizada uma *Análise Quantitativa de Risco - AQR* completa, cujo escopo encontra-se detalhado no Termo de Referência para Elaboração de Análise Quantitativa de Risco, apresentado no Apêndice 2 do Manual da FEPAM.

3.8.3.3 Exigência para obtenção da Licença de Operação (LO)

Para obtenção da licença de operação (LO), os empreendimentos deverão apresentar recursos para o gerenciamento de riscos compatíveis com a categoria de risco indicada nas fases anteriores, conforme o seguinte critério:

- Empreendimentos classificados na categoria de risco 1: estão isentos de qualquer exigência adicional.
- Empreendimentos classificados na categoria de risco 2: deverão apresentar um documento confirmando a implementação de todas as medidas de redução de riscos identificadas na *APR*.

- Empreendimentos classificados na categoria de risco 3: deverão apresentar um documento confirmando a implementação de todas as medidas de redução de riscos identificadas na *APR* e na Análise de Vulnerabilidade, bem como Plano de Ação de Emergência (PAE) que contemple os cenários avaliados na Análise de Vulnerabilidade.
- Empreendimentos classificados na categoria de risco 4: além dos documentos requeridos para os empreendimentos de categoria de risco 3, deverão apresentar um Programa de Gerenciamento de Riscos, cuja abrangência encontra-se definida no Apêndice 3 do Manual da FEPAM (FEPAM, 2001). Além disto, estes empreendimentos poderão ser sujeitos a auditorias de risco.

3.9 Análise de Riscos de Acidentes em Instalações Nucleares e Radiativas

O processo de licenciamento de instalações nucleares e radiativas exige que sejam elaborados Relatórios de Análise de Segurança - RAS (CNEN, 2002, 1998, 1997, 1989, 1980) (USDOE, 1994, 1992) (USNRC, 1998b, 1990, 1988) onde devem ser analisados, com profundidade, em um dos capítulos, os acidentes postulados. Devem ser identificados e analisados todos os acidentes de probabilidade não desprezível, desde os menores até os Acidentes Bases de Projeto, incluindo suas causas e conseqüências. Em cada caso, devem ser identificados os dispositivos e procedimentos apropriados que previnem ou atenuem as conseqüências do acidente.

Uma análise de risco de uma instalação nuclear ou radiativa deverá fornecer subsídios para que a CNEN avalie e verifique a segurança através do estudo detalhado do comportamento destas instalações e de seus processos de forma que:

- Identifique e avalie todos os perigos e os acidentes admissíveis (i. e. de probabilidades não desprezíveis) associados a desvios significativos em relação à operação normal ou ocorrências operacionais, eventos

iniciados internamente (por exemplo, incêndios, explosões, vazamentos, transbordos, etc.) e eventos iniciados externamente (por exemplo, inundações, ventos fortes, condições climáticas extremas, terremotos, etc.) que possam resultar em danos à propriedade e ao meio ambiente ou em exposição de trabalhadores e de indivíduos do público acima dos limites primários de dose equivalentes estabelecidos pela Norma CNEN-NN-3.01 (CNEN, 2005);

- Identifique os controles físicos e administrativos (itens importantes e itens relacionados com a segurança) de forma a estabelecer condições de segurança capazes de impedir e/ou minimizar eventuais conseqüências inaceitáveis decorrentes dos perigos identificados; e
- Forneça os critérios utilizados na identificação de estruturas, sistemas e componentes importantes para a segurança e seleção dos dispositivos técnicos de segurança.

Durante o processo de licenciamento o órgão regulador, por meio de avaliações e verificações das condições de segurança de uma instalação, concede, modifica, limita, prorroga, suspende ou revoga uma licença de autorização de construção, operação ou descomissionamento daquela instalação.

3.9.1 Análise Determinística de Segurança de Instalações Nucleares e Radiativas

A finalidade principal da análise e avaliação de segurança é verificar se as propostas do requerente estão em conformidade com os requisitos de segurança contidos em normas, códigos e outros documentos nacionais e internacionais, aceitos pela CNEN, a fim de que ela possa ter uma base para tomar suas decisões por ocasião da Licença de Construção e Autorização para Operação. Deste modo, a avaliação de segurança se caracteriza por uma avaliação crítica, independente e sistemática, de possíveis modos de falha de estruturas, sistemas e componentes e das conseqüências radiológicas associadas a essas falhas. Isto conduz à definição de Acidentes Bases de Projeto (CNEN, 1997). A metodologia para esta análise é primariamente determinística (NUNES & RAUSCH, 2005).

Adicionalmente, são recomendados o uso de métodos probabilísticos e as técnicas de análise de árvores de falhas e de eventos (USNRC, 1983). Existem, assim, duas possibilidades aceitáveis de tratamento: prevenção através do projeto; e conseqüências radiológicas menores que os limites primários de dose estabelecidos pela CNEN. Através da fiscalização, a CNEN verifica, por meio de inspeções e auditorias reguladoras, e faz cumprir, através de ações coercitivas, os requisitos aplicáveis à instalação ou atividade sob verificação (CNEN, 2005).

Quanto à abordagem determinística para a avaliação de segurança, esta é utilizada na análise dos Acidentes de Base de Projeto que são requeridos, de acordo com práticas internacionais, como uma demonstração da tolerância à falhas da planta, da efetividade de seus sistemas de segurança e com o propósito de determinar os limites para operação segura da planta. Para a finalidade de Acidentes de Base de Projeto, as incertezas nas análises de transitórios e de conseqüências radiológicas são cobertas pelo uso de conservantismos apropriados no tratamento. Este tipo de análise de segurança ficou conhecido como Análise Determinística de Segurança. Neste tipo de análise, o comportamento da instalação é simulado numericamente por meio de códigos computacionais, sob condições de operação normal e de acidentes postulados (CNEN, 1985).

Faz-se, então, um estudo para comprovar que a instalação é capaz de responder adequadamente ao acidente máximo previsível, e por indução se deduz que a planta também será capaz de responder aos demais acidentes considerados menores. Nestas simulações, as condições de contorno utilizadas são definidas por normas e diretrizes publicadas pela CNEN, tais como:

- Condições iniciais adversas;
- Eventos iniciadores;
- Indisponibilidade de sistemas ou subsistemas devido à falha postulada (falha simples); e
- Modelos físicos conservativos (que aumentam as conseqüências).

3.9.2 Análise Probabilística de Risco de Centrais Nucleares

As chamadas Avaliações Probabilísticas de Risco tiveram sua gênese na área nuclear no Estudo de Segurança de Reatores realizado pela NRC (*“Nuclear Regulatory Commission”* - órgão regulador nuclear americano) em 1975 (USNRC, 1975), para os reatores a Água Leve Pressurizada. Muitas das metodologias usadas atualmente em Análises de Risco foram introduzidas neste estudo pioneiro. Este estudo trouxe contribuições importantes para a avaliação determinística de segurança realizada até então para os estudos de segurança de reatores. A conclusão deste estudo foi de que as conseqüências e as freqüências estimadas para os acidentes nestes reatores estavam bem acima daqueles valores estimados até então considerando os critérios de Acidentes Bases de Projeto e critérios de defesa em profusão. Estes resultados foram utilizados nas duas décadas seguintes para subsidiar tanto argumentos a favor quanto contra a energia nuclear.

De 1975 a 1992 as Análises Probabilísticas de Risco foram utilizadas para subsidiar decisões da NRC quanto a: localização de centrais nucleares próximas a grandes centros populacionais; elaboração de Planos de Emergência; controvérsias sobre critério de projetos sísmicos; e análise do religamento de TMI-1 após o acidente de TMI-2. Durante este período muitos proprietários de centrais nucleares decidiram complementar suas avaliações determinísticas de segurança com Análise Probabilística de Risco visando a melhoria dos projetos de seus sistemas de segurança. A empresa *Northeast Utilities* utilizou as Análises Probabilísticas de Risco nas unidades de *Millstone* e *Connecticut* visando auxiliar na implementação de sua política de gerenciamento de risco. Esta política incluiu a identificação e redução de vulnerabilidades específicas e o uso da Análise Probabilística de Risco para priorizar a aplicação de recursos na melhoria das instalações. Uma descrição do estado da arte da tecnologia de Análise Probabilística de Risco nesta época é relatada no *“PRA Procedures Guide”* (USNRC, 1983). Avaliações subseqüentes da NRC em outras cinco centrais nucleares incorporaram avaliações de incertezas, apoiadas em um extenso programa de pesquisa nesta área (USNRC, 1990).

De 1992 a 1995 a NRC exigiu a realização de Análises Probabilísticas de Risco para as demais centrais americanas, incluindo aí a análise de eventos externos. A utilização dos resultados se limitava, no entanto, à identificação da vulnerabilidade a acidentes severos com pequena probabilidade de ocorrência. O escopo, nível de detalhe e profundidade entre as avaliações variavam bastante (USNRC, 1998a).

De 1995 até os dias de hoje as Análises Probabilísticas de Risco têm sido utilizados pela NRC no apoio aos processos de tomada de decisão. Pela primeira vez a NRC forneceu um critério claro para utilização dos resultados de análise de risco. Antes deste critério o proprietário da instalação utilizava os argumentos baseados em risco para justificar o não cumprimento de exigências regulatórias, quando isto fosse do seu interesse, devido à ausência de padrões (USNRC, 1998a).

Quanto à utilização atual da abordagem probabilística no processo de licenciamento de reatores nucleares, esta consiste em um processo complementar ao determinístico e produz uma estimativa numérica do risco decorrente do projeto a ser implementado. Desse modo, a avaliação de segurança baseada em métodos probabilísticos fornece uma análise lógica e compreensiva daquilo que pode ocorrer de errado em uma instalação e da atuação dos sistemas de segurança. Fornece, assim, um instrumento de gerenciamento dos riscos potenciais, através de uma ferramenta técnica que visa otimizar e garantir a operação da instalação com os padrões mínimos de segurança, representando a possibilidade de se atribuir a confiabilidade necessária aos processos e procedimentos operacionais.

Tanto a norma de aplicação geral para instalações nucleares, CNEN-NE-1.04 (CNEN, 2002), quanto a específica para reatores nucleares, CNEN-NE-1.26 (CNEN, 1997), requerem que seja realizada uma análise de risco dentro de seu processo de licenciamento. A Norma CNEN-NE-1.26 estabelece que a organização operadora deverá implementar, aplicar e permanentemente aperfeiçoar um modelo para o gerenciamento do risco associado às diversas configurações operacionais, incorporar a experiência operacional específica acumulada durante um período de tempo em que esses dados sejam

estatisticamente significativos e quantificar e utilizar, durante a operação, o impacto no risco total no processo de tomada de decisão.

Para regular o processo de licenciamento, a CNEN tem aproximadamente 40 normas em vigor, e outras em fase de elaboração. Dentre estas, aproximadamente 20 se aplicam aos reatores nucleares. Entretanto, nenhuma destas normas, nem as leis que regulamentam as atividades nucleares no Brasil, contêm quaisquer referências explícitas à utilização de Análise Probabilística de Risco na análise de segurança de centrais nucleoeletricas.

Apesar disso, a CNEN, como órgão regulador, e em linha com a prática internacional atual (USNRC, 2001), vem depositando um alto grau de confiança na utilização da metodologia de Análise Probabilística de Risco (NUNES & RAUSCH, 2005), em atendimento à Lei 6.189, (BRASIL, 1974). A CNEN entende que esta ferramenta é capaz de fornecer um procedimento formal, estruturado, e, bastante compreensivo, de uma Central Nuclear, para avaliar as conseqüências e falhas e obter estimativas quantitativas dos riscos em decorrência da operação da mesma, fornecendo garantia ao órgão regulador, de que este cumpriu com as exigências da Norma CNEN-NE-1.04 para a concessão da Autorização para a Operação Permanente.

3.9.3 Análise Probabilística de Risco das demais instalações nucleares

No caso do licenciamento das demais instalações nucleares pertencentes ao ciclo combustível, a utilização de metodologias probabilísticas, mesmo contando com um alto grau de confiança da CNEN, ainda é incipiente (NUNES & RAUSCH, 2005). Neste ponto, deve ser ressaltado que estas instalações diferem em relação aos reatores em vários aspectos importantes. Elas empregam uma maior diversidade de tecnologias e processos. Os materiais radioativos são processados ao longo de uma série de unidades interconectadas. Conseqüentemente, materiais fisséis, férteis e rejeitos são manuseados, processados, tratados e armazenados ao longo destas unidades, em vez de um lugar limitado, como nos reatores. A forma física e química dos materiais processados também pode variar dentro de uma mesma instalação.

Adicionalmente, estes processos utilizam grandes quantidades de substâncias químicas e gases perigosos que podem ser tóxicos, corrosivos, combustíveis ou sofrerem reações exotérmicas ou explosivas, ou que introduz exigências adicionais de segurança.

Uma característica adicional e distinta destas instalações são as freqüentes mudanças na operação, nos equipamentos e nos processos, requeridos por campanhas de produção, desenvolvimento de novos produtos, pesquisa e desenvolvimento e melhorias contínuas. As operações executadas nestas instalações necessitam de um nível maior de intervenção do operador, quando comparado com o caso dos reatores nucleares, expondo desta forma o mesmo a um risco comparativamente maior. Este fato contrasta com os perigos aos quais os indivíduos do público estão expostos na maioria das instalações do ciclo do combustível, que são, neste caso, menores que no caso dos reatores nucleares. Dadas estas diferenças, bem como, a variedade e tipos de perigos potenciais envolvidos, é necessária uma flexibilidade maior na implementação de requisitos básicos para assegurar que as restrições e proteções impostas à operação deste tipo de instalação sejam apropriadas. Neste ponto, deve ser ressaltado que não existe um consenso internacional sobre quais seriam os Acidentes Base de Projeto para este tipo de instalação (USNRC, 1998b, 1988).

Algumas tentativas, neste sentido, podem ser observadas nos documentos IAEA-DS317 (IAEA, 2005a), IAEA-DS316 (IAEA, 2005b) e IAEA-TECDOC-1267 (IAEA, 2002). Entretanto, muitos países não possuem guias e métodos específicos, entre eles o Brasil, para orientar o processo de avaliação de segurança (NUNES & RAUSCH, 2005). Tipicamente, nestes países, a avaliação de segurança tem sido efetuada caso a caso. Ainda que as análises predominantemente utilizadas como base para licenciamento em muitos países sejam determinísticas, recentemente a técnica de avaliação probabilística, vem sendo utilizada como uma ferramenta complementar e útil para embasar o processo decisório dentro do licenciamento. São exemplos desta iniciativa os documentos NUREG-1513 (USNRC, 2001), DOE-STD-3009-94 (USDOE, 1994) e DOE-STD (USDOE, 1992). Tanto a USNRC quanto o USDOE implementaram

diretrizes relacionadas com a identificação e tratamento sistemático de perigos de modo integrado, levando em consideração tratamento das incertezas.

O guia publicado pela USNRC em 2001, NUREG-1513 (USNRC, 2001), incorporando requisitos relativos à utilização de análise probabilística. Neste caso, a metodologia probabilística implementada foi denominada de Análise Integrada de Segurança e consiste em um exame sistemático dos processos, equipamentos, estruturas e das atividades desempenhadas pelos operadores na instalação para garantir que todos os perigos relevantes que possam resultar em consequência inaceitável foram adequadamente avaliados e que as medidas de proteção apropriadas foram identificadas.

3.10 Incertezas nos Estudos de Análise de Risco

Dentre as inúmeras incertezas envolvidas nas avaliações de risco, podem se destacar:

3.10.1 Incertezas nos dados de falhas

Nas avaliações das probabilidades ou freqüências de ocorrências dos eventos perigosos são necessários dados de taxas de falhas que trazem incertezas associadas. Podem não estar disponíveis dados específicos para os tipos de instalações, equipamentos ou componentes bem como dados de componentes nacionais ou com qualidade equivalente. Isto faz com que não se tenha valores exatos destes dados, mas distribuições estatísticas, as quais devem ser combinadas para as estimativas das freqüências desejadas, gerando propagação de erros e tornando indispensável este tipo de tratamento, sob pena de tornar sem sentido os resultados de freqüências de eventos obtidos. A área nuclear desenvolveu ferramentas de avaliação de incertezas, coletou bancos de dados genéricos e específicos, registrando os dados de forma que possam ser utilizados adequadamente nos Estudos de Análise de Riscos. Por envolver, em muitas situações, eventos raros, a área nuclear utiliza intensamente técnicas analíticas como Árvore de Falhas para obter freqüências de ocorrências através

de relações probabilísticas de eventos mais básicos que levam à ocorrência destes eventos (AIChE, 1989, 2000) (VASCONCELOS, 1984) (USNRC, 1975).

3.10.2 Incertezas nas avaliações de conseqüências

Nas estimativas das conseqüências dos eventos inúmeras incertezas estão envolvidas, a destacar: incertezas nos modelos de avaliação de conseqüências (modelos simplificados, ausência de parâmetros, etc.), nos dados meteorológicos (velocidade preferencial e direção do vento no instante do acidente, condições de estabilidade atmosférica, umidade, etc.), no termo fonte (quantidade envolvida, tamanho de vazamento, eficiência de reações, etc.), no cenário do acidente (local, seqüência do acidente, efeito dominó, etc.) e nos fatores de mitigação (blindagem, confinamento, evacuação, resistência de estruturas, etc.) (AIChE, 2000).

3.10.3 Incertezas nos dados sobre os erros humanos

Os erros humanos, por sua imprevisibilidade e dependência de fatores como treinamento, cultura, índole, estados emocionais e psíquicos, fatores externos e inúmeros outros fatores intangíveis, apesar da importância na ocorrência de eventos anormais ou acidentais, apresentam um grau enorme de incertezas. Na área nuclear os estudos de Confiabilidade Humana tiveram desenvolvimentos consideráveis e seus resultados e metodologias podem ser utilizadas para os demais Estudos de Risco. (SENNE JR., 2003) (AIChE, 1992) (USNRC, 1975).

Todas estas incertezas, aliadas à ocorrência de falhas de modo ou causa comum, (AIChE, 2000) (VASCONCELOS, 1984) fazem com que, se não forem utilizadas técnicas, modelos ou dados adequados, resultados equivocados ou muito distantes da realidade podem ser obtidos, tornando estes estudos meros jogos de números sem utilidade. Pelo maior rigor nas avaliações de risco da área nuclear, exigido pela opinião pública sempre atenta a este tema polêmico, o tratamento de incerteza foi bastante desenvolvido neste setor.

4 METODOLOGIA PARA DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

A abordagem para o desenvolvimento desta dissertação de mestrado é apresentada de forma esquemática na Figura 4.1. Inicialmente são identificados os tipos de instalações a serem avaliadas quanto a exigências de *Análise de Risco de Acidentes*. São selecionados também os tipos de materiais perigosos que representem as instalações mais comuns, com potencial de colocarem em risco o meio ambiente e a população em geral. Diferentes categorias de materiais (tóxicos, inflamáveis, explosivos e radioativos), em diferentes quantidades processadas ou armazenadas nas instalações, bem como, diferentes distâncias de população são consideradas.

Por representarem diferentes abordagens quanto a exigências de análises de risco, foram analisados tipos de instalações para dois setores, o nuclear envolvendo as instalações nucleares e radiativas, e o setor convencional, envolvendo as demais instalações. Para este último são exigidos Estudos de Análise de Risco - EAR por diferentes órgãos dos níveis federal, estadual e municipal. Para o setor nuclear, a responsabilidade da CNEN pelo licenciamento é um fator adicional no processo de licenciamento envolvendo os demais órgãos ambientais.

São identificadas a legislação e a regulamentação existente relativa a exigências de análise de risco para o setor nuclear. Constam, basicamente, de normas da CNEN e de normas internacionais adotadas, a juízo da CNEN, em áreas que não existem normas nacionais aplicáveis. O passo seguinte é a identificação do escopo e abrangência das análises de risco exigidas dentro dos Relatórios de Análise de Segurança - RAS das instalações nucleares e radiativas. É também realizado o levantamento das técnicas para identificação dos cenários de acidentes e estimativa de frequência de ocorrência destes eventos, necessárias para o atendimento às exigências de licenciamento. Da mesma

forma, são identificadas as técnicas e modelos de cálculo necessários para a estimativa das conseqüências dos acidentes potenciais identificados.

Para as instalações do setor convencional, são identificadas a legislação e a regulamentação nos níveis federal, estadual e municipal, que tratam das exigências de EARs. São selecionados dois órgãos ambientais estaduais, utilizados como referência em outros estados da federação, para comparar seus respectivos critérios e abrangência dos EARs. São realizados cálculos e plotados gráficos entre distância da população e quantidade de material perigoso, com a finalidade de comparar a classificação das instalações quanto à periculosidade nos dois órgãos estaduais selecionados, verificando em quais situações um é mais conservativo do que o outro, em termos de exigência e abrangência de EAR. São também identificadas e descritas as diferentes técnicas, qualitativas quantitativas, de análise de risco, utilizadas para atendimento às exigências do setor convencional.

É também necessária, a identificação e comparação das diferentes definições, terminologias e conceituações utilizadas na área de análise de risco nos diferentes setores e órgãos envolvidos. Através da comparação entre as exigências e abrangência em relação à análise de risco, dos diferentes órgãos ambientais e da CNEN, bem como da seleção de técnicas de identificação de cenários de acidentes, estimativa de freqüência de ocorrência destes eventos e cálculo de suas conseqüências, é proposta uma abordagem geral para a elaboração de Análise de Risco de Acidentes, dentro dos processos de licenciamento das diferentes instalações. Esta abordagem proposta se apóia no Princípio da Precaução, para auxiliar nos processos de tomada de decisão com relação ao escopo e abrangência destes estudos.

Para a classificação das instalações de acordo com o critério exigido pela CETESB, foi adotado o procedimento descrito no item 3.7 deste trabalho. Identificada a substância perigosa e as quantidades analisadas, são definidas as distâncias seguras e comparadas com a distância da população. Para o caso das substâncias explosivas, que não se encontram listadas no Manual da CETESB

(2003a), é utilizado, para estimar a distância segura, o modelo descrito no item 3.4.3 para um nível de sobrepressão de 0,1 bar decorrente da explosão.

Para a classificação das instalações em Categorias de Risco 1, 2, 3 e 4, de acordo com o critério exigido pela FEPAM (2001), foi adotado o procedimento descrito no item 3.8. Foram elaboradas planilhas de cálculo, utilizando as equações 3.6, 3.7, 3.8 e 3.9, determinando as distâncias da população, a partir das quais ocorre a mudança da classificação entre as categorias de risco 1, 2, 3 e 4. Estes valores foram plotados em escala logarítmica para facilitar a comparação entre os diferentes critérios, para diferentes substâncias perigosas, presentes em diferentes quantidades.

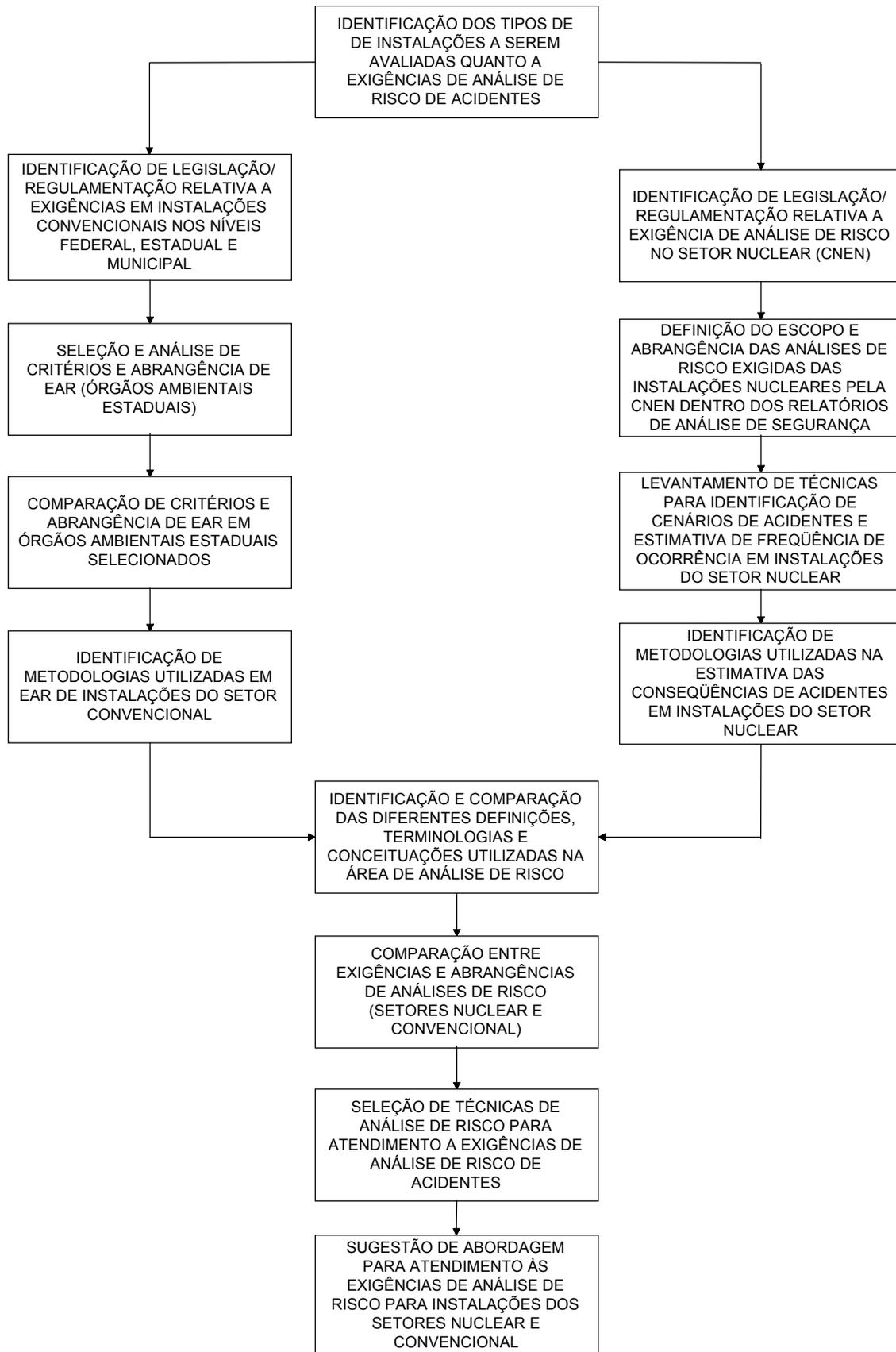


Figura 4.1 - Abordagem para o desenvolvimento do trabalho.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Adotando a metodologia de cálculo descrita no item anterior, os seguintes resultados, com as respectivas discussões, são destacados a seguir.

Para a avaliação das exigências quanto a Análise de Risco de Acidentes, foram selecionadas as instalações nucleares, as radiativas e as instalações de processamento químico que utilizam substâncias que possam colocar em risco os trabalhadores, o meio ambiente e a população em geral. Estas instalações englobam atividades ou empreendimentos que operam com produtos perigosos (substâncias químicas tóxicas, inflamáveis, explosivas ou radioativas). Foram selecionados, como substâncias representativas tóxicas, o HF e a amônia, como substâncias inflamáveis, o acetileno e o metanol, e como substância explosiva o TNT, em diferentes quantidades manipuladas, para comparar critérios de diferentes estados da Federação. Foram selecionadas também, para comparação, diferentes distâncias de população mais próxima.

Quanto às exigências da legislação/regulamentação do setor nuclear (instalações nucleares e radiativas) a responsabilidade da CNEN pelo licenciamento é um fator adicional no processo de licenciamento envolvendo os demais órgãos ambientais. Além das exigências de Estudos de Análise de Risco, feita pelos órgãos ambientais, existe a exigência da CNEN de realização de uma análise de risco de acidentes, dentro dos Relatórios de Análise de Segurança.

A todas as instalações, o Princípio da Precaução se aplica, pois a exigência constitucional de Estudo Prévio de Impacto Ambiental demonstra a preocupação com os casos em que os empreendimentos impliquem em risco potencial de danos, mesmo diante de incertezas quanto à sua magnitude.

5.1 Aplicação do Princípio da Precaução na Elaboração dos Estudos de Análise de Risco

Supondo que o Princípio da Precaução remeta a uma fase anterior à quantificação do risco, onde são definidos quais efeitos adversos, ele poderia assumir a seguinte função: verificada ainda na fase de percepção de risco,

mediante o senso comum ou por pareceres isolados de especialistas, a possibilidade de danos tidos como sérios ou irreversíveis, as incertezas envolvidas não poderiam ser utilizadas como justificativas para adiar medidas imediatas (eficazes e economicamente viáveis) para prevenir a degradação ambiental. Assim, essa antecipação de ameaça de dano, baseada em uma percepção, poderia ser suficiente para a adoção imediata de medidas de prevenção da degradação ambiental prevista.

Considerando-se que o Princípio da Precaução se aplique à fase de Análise de Risco propriamente dita, podem ser construídas também distintas interpretações. A Análise de Risco em sentido estrito, com o objetivo de quantificação do risco representado por um empreendimento pode ser caracterizada como uma metodologia empregada na previsão de efeitos sociais e ambientais do empreendimento. Ou seja, nesses casos, a Análise de Risco culminaria na formulação de previsões (geralmente estatísticas) sobre a ocorrência futura de efeitos adversos para o meio ambiente, para a sociedade ou para a saúde humana. Este processo de Análise de Risco é bastante complexo, multidisciplinar, envolve a disponibilidade de danos muitas vezes inexistentes para a instalação em análise. As incertezas envolvidas limitam a utilização dos resultados da Análise de Risco.

Quando parte das informações necessárias para a Análise de Risco não está disponível surge o dilema entre fazer a previsão sem teorias e dados suficientes – em benefício da agilidade do processo regulatório – ou procrastinar as estimativas até que esse conhecimento esteja disponível, comprometendo, muitas vezes, a rapidez e eficácia do processo regulatório.

Ressalta-se, também, que as previsões sobre efeitos do empreendimento devem considerar todos os insumos, produtos e subprodutos envolvidos no funcionamento normal, como também em casos de falha. Além disso, os efeitos ambientais e sociais interagem entre si, de modo que, mesmo que a previsão pretendida seja apenas sobre um determinado tipo de efeito, a previsão sobre o outro tipo não devem ser desconsideradas.

Portanto, uma Análise de Risco idealmente considerada deveria abranger todos os tipos de previsão, para só então propor uma quantificação do risco. Contudo, pelo excessivo tempo e pelo elevado montante de recursos que essas avaliações demandam, a Análise de Risco normalmente desconsidera um ou vários desses aspectos da previsão.

Assim, imaginando a aplicação de Princípio da Precaução a essa fase específica, ele poderia informar que, havendo a percepção anterior de ameaça de danos sérios ou irreversíveis, a ausência de absoluta certeza científica de que um determinado agente A causará um dano D não poderia ser utilizado como razão para adiar a conclusão dessa etapa de quantificação do risco, com o intuito de obtenção de mais dados, estudos ou testes de hipóteses, retardando a adoção de medidas de precaução contra a degradação ambiental antecipada.

Pensando na aplicação do Princípio da Precaução à fase de Gestão de Risco, há diferentes entendimentos possíveis. Primeiro poder-se-ia compreender que a intenção do Princípio da Precaução seria a de simplesmente evitar que a incerteza inerente à quantificação do risco – que inclusive deve ser avaliada – pudesse representar algum tipo de obstáculo para a adoção de medidas de proteção ambiental contra a ameaça de dano estimada.

Se a Análise de Risco apontar um risco elevado (probabilidade próxima a 1) de que um determinado agente cause danos ambientais sérios ou irreversíveis, o Princípio da Precaução poderia ser invocado na fase de Gestão de Risco para evitar argumentos que buscassem adiar ou evitar a adoção de medidas preventivas ou mitigadoras com base na “ausência de absoluta certeza científica” do resultado fornecido por essa Análise de Risco, ou seja, nesse caso, a ameaça de danos seria indicada pela Análise de Risco.

Em outro caso, admite-se uma Análise de Risco que apresente uma probabilidade de dano próxima a zero. Dada a incerteza inerente à quantificação do risco, poderia, nesse caso, se argumentar que a Análise de Risco conclui por uma “ausência de absoluta certeza científica” de que um determinado agente não causará danos ambientais sérios ou irreversíveis. O Princípio da Precaução poderia ser, então, aplicado para impedir que essa Análise de Risco que

apontasse risco próximo a zero fosse utilizada como razão para postergar, na fase de Gestão de Risco, medidas de precaução contra um dano ambiental inicialmente percebido.

Este princípio já vem sendo utilizado, em processos de tomada de decisão em relação à gerência de risco, pela maioria dos órgãos reguladores de países desenvolvidos como, por exemplo, o Canadá (WILSON, et. al., 2006).

5.2 Exigências de Estudos de Risco para Instalações Nucleares e Radiativas

Apesar das exigências de Estudos de Risco regidos pelos textos legais:

- Quanto ao licenciamento ambiental, através das Leis nº 6.938, de 31/08/1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274 (BRASIL, 1990), e as Resoluções CONAMA nº 237 (CONAMA, 1997) e nº 01 (CONAMA, 1986a); e
- Quanto ao licenciamento nuclear, as Leis nº 4.118 (BRASIL, 1962), nº 6.189 (BRASIL, 1974), e nº 6.571 (BRASIL, 1978), bem como as normas da CNEN aplicáveis, a exigência e escopo destes estudos não é claramente definida.

Quanto à repartição de competências, cabe destacar que, no que tange à competência comum relativa à questão ambiental:

- Quando a competência for privativa da União, do Estado ou do Município, existe, conforme o caso, a prevalência do órgão federal, estadual ou municipal. Contudo com base na competência comum de proteção ao meio ambiente, não se retira a possibilidade de eventual competência por parte das outras pessoas jurídicas, sem invalidar a prevalência adotada; e
- Quando a competência for comum, é preciso definir a existência de interesse, nacional, regional ou local, para aí definir a competência material.

Para o caso do licenciamento das instalações nucleares e radiativas, em janeiro de 1991 foi assinado um convênio entre a CNEN e o IBAMA, objetivando regular a ação conjunta destes dois órgãos, no sentido de otimizar o exercício de suas competências quanto aos procedimentos de licenciamento, acompanhamento e controle das instalações nucleares, no que se refere aos aspectos ambientais. Existem, inclusive, iniciativas de elaboração de Termos Referências em conjunto por parte destes dois órgãos (IBAMA, 2002).

As exigências e aplicações de Análises de Risco entre as diversas instalações do setor nuclear variam desde Análise Determinística de Segurança até Análise Probabilística de Risco. De uma maneira geral, a CNEN estabelece em suas normas que as Análises de Riscos de Acidentes em seus documentos de licenciamento devem contemplar tanto eventos considerados como operações anormais, quanto acidentes, para os quais devem ser apresentados (CNEN, 2002, 1998, 1997, 1989, 1980) (VASCONCELOS et al, 2004):

➤ **Identificação do Evento**

Deve ser identificado o evento, o tipo da falha ou mau funcionamento, a sua localização ou a parte da instalação ou sistemas envolvidos.

➤ **Causa Postulada do Evento**

Devem ser descritas as seqüências de ocorrências passíveis de iniciar o evento e as bases para a determinação da previsibilidade ou probabilidade de cada ocorrência na seqüência, fornecendo os seguintes dados:

- Hipóteses e condições iniciais;
- Seqüência, fase por fase, do curso de cada ocorrência, identificando os sistemas de proteção exigidos para funcionar em cada fase; e
- Identificação das ações necessárias do pessoal de operação.

Deve ser analisado o curso inteiro do evento, mostrando quando devem funcionar os sistemas de proteção, o efeito de falhas de funções protetoras, o desempenho de sistemas auxiliares de proteção e os créditos

atribuídos aos dispositivos de segurança, ao funcionamento de outros sistemas e às conseqüências de falhas. Devem ser fornecidas informações e dados suficientes para permitir uma avaliação independente da adequação dos sistemas de proteção relacionados com o evento, na qual os resultados possam servir para identificação das funções, sistemas, intertravamento, e controles relacionados à segurança, e para definição das ações exigidas do operador sob condições de ocorrências operacionais previstas e de acidente.

➤ **Detecção do Evento**

Devem ser analisados os meios ou métodos previstos para detecção do evento através de alarmes visuais ou audíveis, ou de inspeções de rotina com frequência pré-estabelecida, fornecendo para cada caso uma avaliação do tempo de resposta.

➤ **Análise de Conseqüências**

Devem ser analisados os efeitos do evento, fornecendo:

- Os modelos, métodos, hipóteses e condições adotadas na estimativa do curso do evento e na avaliação das suas conseqüências;
- A identificação da taxa de liberação de material perigoso que pode escapar para o meio ambiente;
- A indicação, para cada sistema, da margem de proteção apropriada para limitar a extensão do evento ou as suas conseqüências;
- A discussão do grau de interdependência de sistemas (de confinamento ou outros dispositivos de segurança) que contribuem, direta ou indiretamente para controlar ou limitar vazamentos dos sistemas de confinamento ou de outras fontes, como é o caso da contribuição dos sistemas de ar de confinamento, sistemas de purificação e limpeza do ar.

➤ **Ações Corretivas e Mitigadoras**

Indicar, para cada evento em consideração, as ações corretivas necessárias para o retorno à normalidade e as ações mitigadoras, a serem adotadas para reduzir as suas conseqüências.

Apesar do escopo da análise exigida apontar para uma abordagem probabilística (envolve probabilidades, na análise da causa postulada do evento), na prática a CNEN tem exigido, no seu processo de licenciamento, uma Análise Determinística de Segurança. A abordagem probabilística, principalmente no processo de licenciamento de reatores nucleares, tem sido utilizada muito mais como um processo complementar ao determinístico, fornecendo um instrumento de gerenciamento dos riscos potenciais, através de um conjunto de ferramentas técnicas que visam otimizar e garantir a operação segura da instalação e melhoria dos processos e procedimentos operacionais (NUNES & RAUSCH, 2005).

No caso do licenciamento das demais instalações pertencentes ao ciclo do combustível nuclear, mesmo sabendo que a CNEN tem uma grande confiança na aplicação das técnicas probabilísticas, sua utilização ainda é incipiente. As operações nestas instalações utilizam uma maior diversidade de tecnologias e processos, quando comparadas aos reatores nucleares. Os materiais físséis, férteis e rejeitos são manuseados, processados, tratados e armazenados em diferentes unidades, em vez de em um lugar limitado, como nos reatores. Os materiais variam bastante em termos de forma física e química, envolvendo gases perigosos, substâncias químicas, tóxicas, corrosivas, inflamáveis e explosivas, introduzindo exigências adicionais de segurança. Neste aspecto, o licenciamento destas instalações se aproxima mais do licenciamento de instalações convencionais. Também não existe, a nível internacional, um consenso sobre quais seriam os Acidentes Bases de Projeto para este tipo de instalação, dificultando a abordagem determinística (USNRC, 1998b, 1988).

Para comparar as exigências em relação à Análise de Risco das instalações nucleares e radioativas com as exigências dos órgãos ambientais é necessário ressaltar que, no caso do licenciamento pela CNEN além dos capítulos do Relatório de Análise de Segurança – RAS, diretamente relacionados com risco (análise de acidentes e operações anormais), outros itens do RAS podem ser comparados com as exigências de EAR e PGR, como, por exemplo, Planos de Emergência, Programas de Treinamento, etc. (CNEN, 2002, 1998, 1997, 1989, 1980).

5.3 Exigências de Estudos de Risco para Instalações Convencionais

Para o caso de instalações convencionais, o que se nota é uma diversidade de critérios para a exigência de Estudos de Análise de Risco (BRASIL, 2003), incluindo a variabilidade de abrangência e escopo destes estudos, ou exigência de apenas Programas de Gerenciamento de Risco (cujo escopo também varia, de acordo com o estado da federação e porte do empreendimento). Foram selecionados, para comparação, os critérios adotados pela CETESB (2003a) e pela FEPAM (2001), pelo fato de São Paulo e Rio Grande do Sul solicitarem com mais freqüência estes estudos, tendo produzido até normas para sua elaboração. Além disso, outros estados adotam estes manuais para elaboração de seus Estudos de Análise de Risco (por exemplo no estado de Minas Gerais a FEAM adota o procedimento da CETESB).

Para as quantidades de substâncias tóxicas, inflamáveis e explosivas selecionadas, foram obtidos os dados apresentados a seguir na forma de tabelas e figuras.

As substâncias perigosas e quantidades selecionadas foram: tóxicas - o HF e a amônia (quantidades de 250, 500, 2.500 e 25.000 kg); inflamáveis - o acetileno (quantidades de 12.500, 125.000, 250.000 e 500.000 kg) e o metanol (quantidades de 25.000, 50.000, 100.000, 250.000 e 500.000 kg); e explosiva – TNT (50, 100, 500, 1.000 e 5.000 kg). As distâncias seguras, calculadas pelo critério da CETESB, e distância da população onde ocorre mudança de classificação de instalações para diferentes quantidades das substâncias perigosas selecionadas, bem como as distâncias para as quais ocorrem as mudanças de categorias de risco 1 para 2 (classe 1-2), 2 para 3 (classe 2-3) e 3 para 4 (classe 3-4), são mostradas nas Tabelas 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 e 5.5, calculadas pelos critérios da FEPAM. Estes dados são também mostrados nas Figuras 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 e 5.5, para efeito de comparação. Na ausência de informações mais precisas para estimar a Massa Liberada Acidentalmente – MLA, no cálculo pelos critérios da FEPAM, foi considerado que este parâmetro é igual a 20% (vinte por cento) da massa de material estocado ou em processo.

Seja, por exemplo, o caso de empreendimentos que manipulam ou processam HF, na faixa de quantidade mostrada na Figura 5.1. Pelo critério da CETESB, naqueles casos situados abaixo da reta no gráfico $\log \times \log$ ($d_p < d_s$) é exigida a apresentação de um Estudo de Análise de Risco – EAR. Naqueles casos acima da reta ($d_p > d_s$) é dispensada a apresentação do EAR e exigida a apresentação de um Programa de Gerenciamento de Risco – PGR, de acordo com critérios estabelecidos pela CETESB, considerando o porte do empreendimento.

Comparando com os critérios da FEPAM, utilizando as retas que definem as mudanças de categorias de risco 1 para 2 (classe 1-2), 2 para 3 (classe 2-3) e 3 para 4 (classe 3-4), o quanto um critério é mais conservativo que o outro depende das faixas de quantidade de HF presente e de distância da população. Isto é devido a fato da reta que representa o critério da CETESB não ser paralela às retas do critério FEPAM, cruzando-as em três pontos, formando diferentes regiões com diferentes níveis de exigências por parte dos dois órgãos. No exemplo da Figura 5.1, na região I, pelo critério da CETESB é exigida a apresentação de um EAR, enquanto que pelo critério da FEPAM (categoria 4), deverá ser realizada uma Análise Quantitativa de Risco – AQR, para a obtenção da Licença de Instalação – LI, além de um PGR, para obtenção da Licença de Operação – LO. Na região II, pelo critério da CETESB é exigido EAR, mas pelo critério da FEPAM, são exigidos uma Avaliação Preliminar de Risco – APR, uma Análise de Vulnerabilidade e um Plano de Ação de Emergência – PAE (categoria de risco 3). Na Região III, pelo critério CETESB é exigido o EAR e pelo critério FEPAM (categoria de risco 2) é apenas exigido a apresentação de uma APR. Na região IV, pelo critério CETESB, continua a exigência de apresentação de EAR, enquanto pelo critério FEPAM (categoria de risco 1) o empreendimento é isento de exigências no que diz respeito a riscos industriais. Nota-se que, para empreendimentos de menores categorias de risco, o critério da CETESB é, em geral, mais restritivo que o critério da FEPAM. Assim, nas regiões V, VI, VII e VIII, pelo critério CETESB é exigido apenas a apresentação de um PGR, cujo

conteúdo, escopo, abrangência e detalhamento, varia de acordo com o porte do empreendimento. Já pelo critério FEPAM os documentos exigidos são AQR e PGR (região V), APR, Análise de Vulnerabilidade e PAE (região VI), APR (região VII) e nenhuma exigência em relação a riscos industriais (região VIII). Nota-se que a escolha do critério mais conservativo deve ser feita caso a caso, de acordo com o porte do empreendimento, a substância perigosa manipulada ou processada e a distância à população mais próxima. Não se deve esquecer também que os Termos de Referência variam bastante, o que também dificulta a comparação de critérios. Enquanto que no caso da CETESB o PGR varia de acordo com o porte do empreendimento, no caso da FEPAM o termo de referência para o PGR descreve apenas um conteúdo mínimo para os elementos de gestão. A análise dos demais casos apresentados nas Figuras 5.2 a 5.4 e Tabelas 5.3 a 5.5 é análoga àquela apresentada para o caso do HF.

Tabela 5.1 - Distância de população onde ocorre mudança de classificação de instalações para diferentes massas de HF [kg] (substância tóxica) calculada pelos critérios da CETESB e da FEPAM

Massa [kg]	Distância CETESB [m]	FEPAM Classe1-2 [m]	FEPAM Classe2-3 [m]	FEPAM Classe3-4 [m]
250	79	50	25	13
500	98	100	50	25
2500	157	500	250	125
5000	194	1000	500	250
25000	316,5	5000	2500	1250

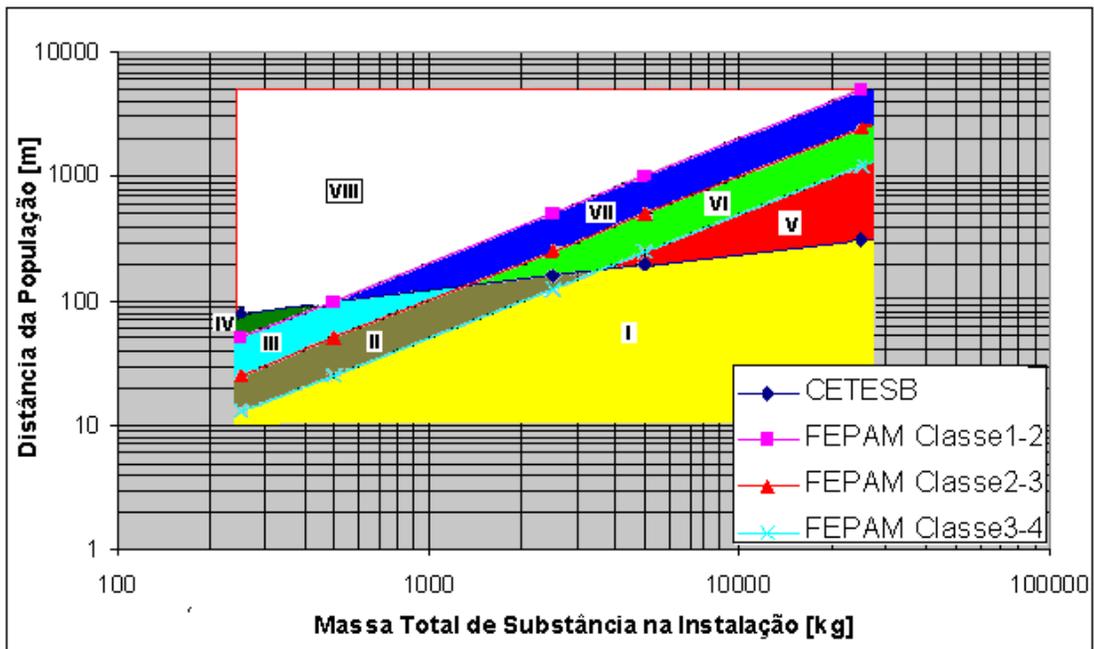


Figura 5.1 - Distância de Referência [m] x Massa de HF [kg] (substância tóxica) calculada pelos critérios da CETESB e da FEPAM para as quatro categorias de risco

Tabela 5.2 - Distância de população onde ocorre mudança de classificação de instalações para diferentes massas de amônia [kg] (substância tóxica) calculada pelos critérios da CETESB e da FEPAM

Massa [kg]	Distância CETESB [m]	FEPAM Classe1-2 [m]	FEPAM Classe2-3 [m]	FEPAM Classe3-4 [m]
250	115	25	13	6
500	143	50	25	13
2500	244	250	125	63
5000	307	500	250	125
25000	548,25	2500	1250	625

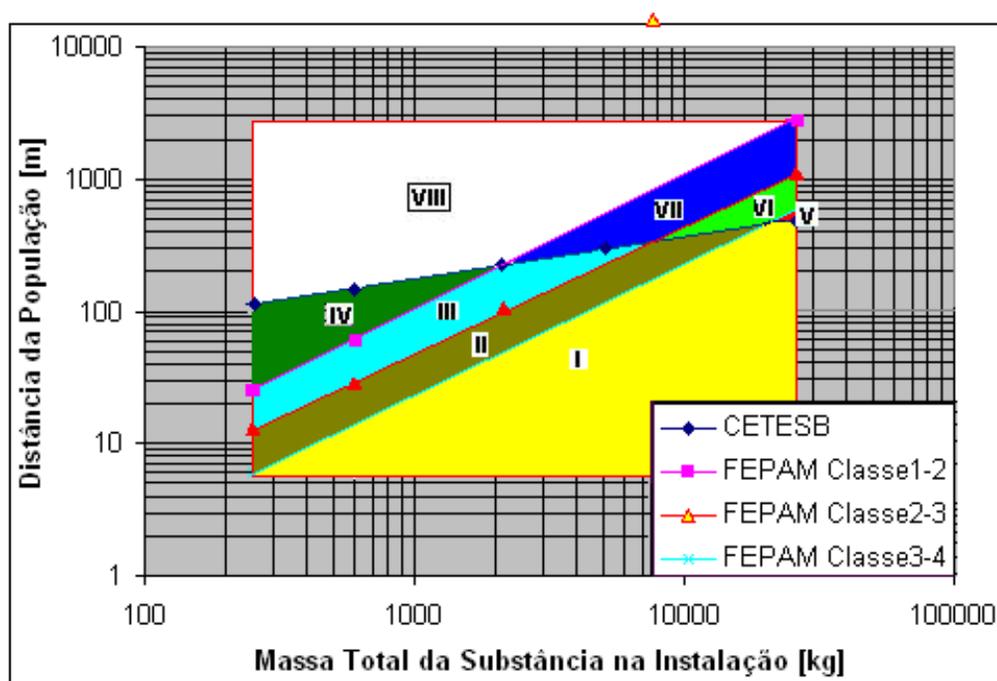


Figura 5.2 - Distância de Referência [m] x Massa de amônia [kg] (substância tóxica) calculada pelos critérios da CETESB e da FEPAM para as quatro categorias de risco

Tabela 5.3 - Distância de população onde ocorre mudança de classificação de instalações para diferentes massas de acetileno [kg] (substância inflamável) calculada pelos critérios da CETESB e da FEPAM

Massa [kg]	Distância CETESB [m]	FEPAM Classe1-2 [m]	FEPAM Classe2-3 [m]	FEPAM Classe3-4 [m]
12500	125,3	50	25	13
25000	160,5	100	50	25
125000	275	500	250	125
250000	353	1000	500	250
500000	442	2000	1000	500

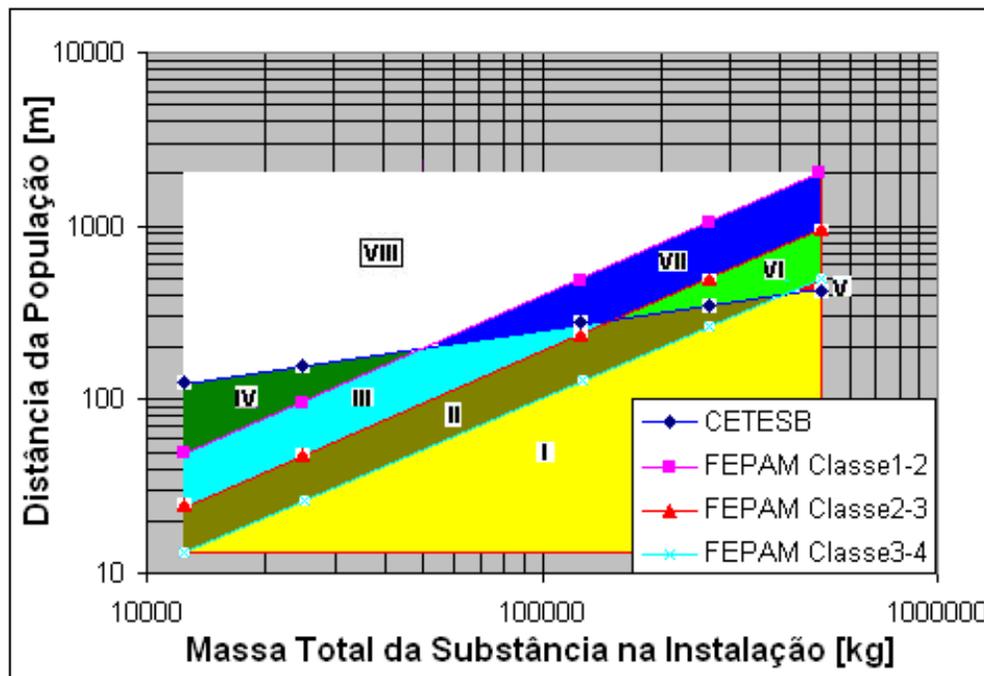


Figura 5.3 - Distância de Referência [m] x Massa de acetileno [kg] (substância inflamável) calculada pelos critérios da CETESB e da FEPAM para as quatro categorias de risco

Tabela 5.4 - Distância de população onde ocorre mudança de classificação de instalações para diferentes massas de metanol [kg] (substância inflamável) calculada pelos critérios da CETESB e da FEPAM

Massa [kg]	Distância CETESB [m]	FEPAM Classe1-2 [m]	FEPAM Classe2-3 [m]	FEPAM Classe3-4 [m]
25000	13	25	13	6
50000	15	50	25	13
100000	18	100	50	25
250000	26	250	125	62
500000	37	500	250	125

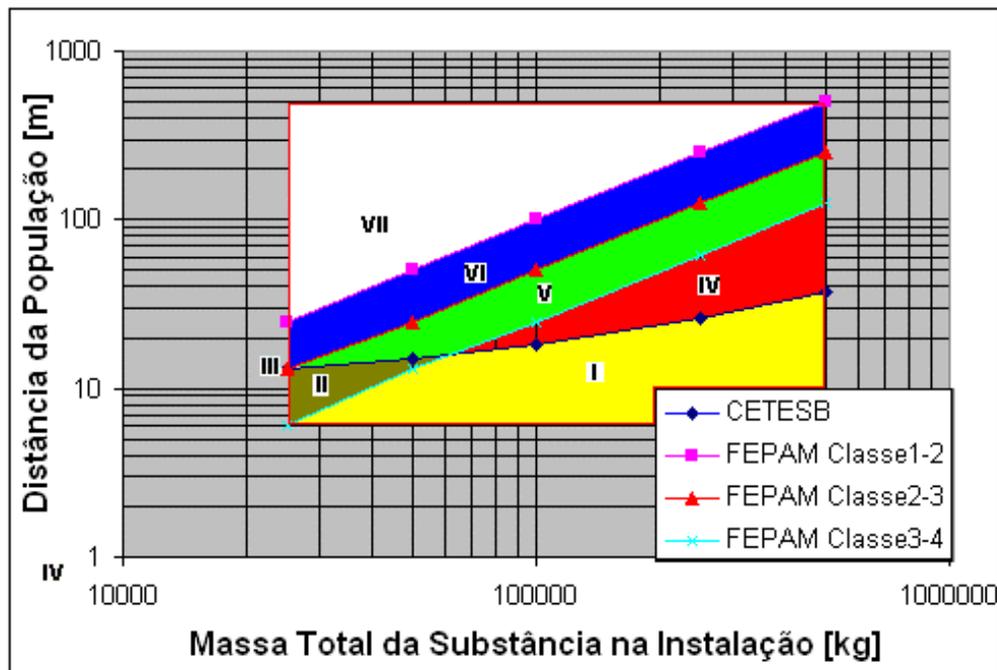


Figura 5.4 - Distância de Referência [m] x Massa de metanol [kg] (substância inflamável) calculada pelos critérios da CETESB e da FEPAM para as quatro categorias de risco

Tabela 5.5 - Distância de população onde ocorre mudança de classificação de instalações para diferentes massas de TNT [kg] (substância explosiva) calculada pelos critérios da CETESB e da FEPAM

Massa [kg]	Distância CETESB [m]	FEPAM Classe1-2 [m]	FEPAM Classe2-3 [m]	FEPAM Classe3-4 [m]
50	49,4	50	25	13
100	62,2	100	50	25
500	106,4	500	250	125
1000	134	1000	500	250
5000	229	5000	2500	1250

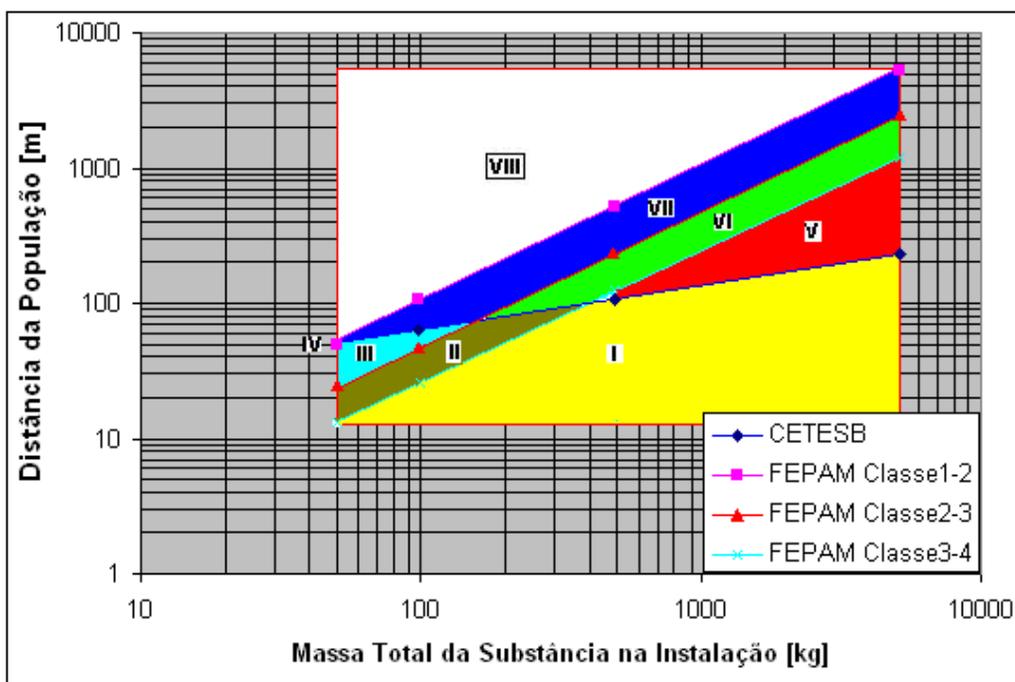


Figura 5.5 - Distância de Referência [m] x Massa de TNT [kg] (substância explosiva) calculada pelos critérios da CETESB e da FEPAM para as quatro categorias de risco

5.4 Abordagem proposta para Atendimento às Exigências de EAR

Uma abordagem geral para o atendimento às exigências de Estudos de Análise de Risco, proposta após as análises apresentadas nos itens anteriores, é a seguinte:

A – Verificar se é uma instalação nuclear ou radiativa.

Em caso afirmativo, realizar uma Análise Determinística de Segurança - ADS, em atendimento às normas da CNEN;

B – Verificar se o órgão ambiental competente tem definido um Termo de Referência para Estudos de Análise de Risco - EAR.

Em caso afirmativo, adotar este Termo;

Caso contrário, adotar Termo de Referência de órgãos ambientais de estados da Federação com tradição/experiência no estabelecimento e avaliação de Estudos de Análise de Risco. Sugere-se a escolha entre os critérios da CETESB e da FEPAM, aquele que for mais conservativo;

C – Realizar EAR, em atendimento aos órgãos ambientais, fazendo a sua complementação com informações da ADS elaborada para a CNEN, quando for o caso;

D – Complementar ADS para a CNEN, quando for o caso, com informações do EAR realizado para o órgão ambiental;

E – Aplicar Princípio da Precaução para avaliar escopo, abrangência, detalhamento, profundidade e conclusões da Avaliação Determinística de Segurança e do Estudo de Análise de Risco;

Caso estes documentos sejam avaliados como insuficientes, inadequados ou incompletos, realizar novos estudos, e adotar novas medidas para gestão dos riscos.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As exigências de Análise de Risco de Acidentes de empreendimentos que envolvem atividades ou instalações que operam com produtos perigosos (substâncias químicas, tóxicas, inflamáveis, explosivas ou radioativas) variam bastante.

Não há uma uniformidade de entendimento quanto à obrigatoriedade de realização destes estudos, nem do escopo, abrangência, detalhamento e profundidade de suas análises. Depende tanto do tipo da instalação e do porte do empreendimento, quanto do órgão ambiental do estado da Federação ao qual se deve reportar o requerente.

As instalações nucleares e radiativas, instalações militares e atividades extrativas, são empreendimentos que possuem riscos diferenciados das instalações convencionais e são regidas por legislações específicas, aplicadas pela CNEN, Ministério do Exército e Departamento Nacional da Produção Mineral -DNPM, respectivamente.

O licenciamento das atividades do setor nuclear, sob o ponto de vista ambiental, conforme determina a legislação vigente, é realizada pelo IBAMA, após considerar o exame técnico procedido pelos órgãos ambientais dos estados envolvidos. Assim sendo, a exigência de Estudos de Análise de Risco – EAR é feita de forma similar às instalações convencionais. Sob o ponto de vista de segurança nuclear, proteção física, controle mineral e radiológico, o licenciamento destas atividades é realizado pela CNEN. Neste aspecto, a abordagem da CNEN para o licenciamento é essencialmente determinístico, através da definição dos Acidentes Bases de Projeto e das avaliações dentro dos Relatórios de Análise de Segurança, documentos exigidos para a obtenção das Licenças de Construção e de Operação. Isto é particularmente verificado no licenciamento dos reatores nucleares, no qual a abordagem probabilística tem sido utilizada muito mais como um processo complementar, fornecendo um instrumento de gerenciamento dos riscos potenciais, através do conjunto de ferramentas da análise de risco.

Para o caso das demais instalações do ciclo do combustível nuclear não existe um consenso internacional sobre uma definição dos Acidentes Bases de Projeto, o que dificulta uma abordagem determinística. Por outro lado, apesar do alto grau de confiança depositado pela CNEN e pelo setor nuclear internacional nas Análises Probabilísticas de Risco, não existe em nenhuma das mais de 40 normas da CNEN e leis que regulamentam o setor, quaisquer referências a este tipo de avaliação. Apesar disso, a similaridade dos processos, bem como dos estados físicos e químicos das substâncias perigosas envolvidas nestas instalações, quando comparadas com as instalações convencionais, tornam as exigências de Estudo de Análise de Risco entre estes dois tipos de instalação bastante similares.

Comparando os critérios da CETESB e da FEPAM quanto às exigências de EAR, constatou-se que, de acordo com a substância, a quantidade envolvida e a distância da população mais próxima, um critério pode ser mais ou menos conservativo (restritivo) que o outro.

De uma maneira geral constata-se que, para empreendimentos de menores categorias de risco o critério da FEPAM é menos restritivo que o da CETESB. Para categoria de risco 1 a FEPAM não faz quaisquer exigências em relação a riscos industriais, enquanto que a CETESB exige, para estes casos, pelo menos a elaboração de um PGR, de acordo com o porte do empreendimento.

Por isso, a abordagem para o atendimento a essas exigências proposta neste trabalho, em estados da Federação que ainda não possuem Termos de Referência específicos para Estudos de Análise de Risco, sugere que seja adotado um destes dois critérios, após a avaliação de qual é o mais conservativo para a situação específica. Na abordagem proposta é também sugerido que os Estudos de Análise Risco exigidos pelos órgãos ambientais e as Avaliações de Segurança exigidas pela CNEN, para as atividades do setor nuclear, sejam realizadas de forma complementar e que seu escopo, abrangência e conclusões sejam avaliados utilizando o Princípio da Precaução.

Para trabalhos futuros, complementando esta dissertação, sugere-se:

- Realizar estudo exaustivo, em todos os órgãos da Federação, nos órgãos ambientais nas três esferas de governo (federal, estadual e municipal) analisando e comparando as exigências de Estudos de Análise de Risco;
- Desenvolver Termo de Referência padronizado, levando em consideração a experiência dos diversos órgãos, para elaboração de Estudos de Análise de Risco, para empreendimentos que lidam com substâncias perigosas.
- Propor Termo de Referência conjunto entre IBAMA e CNEN para elaboração de Estudos de Análise de Risco, eliminando duplicações de esforços destes órgãos e do requerente, além de melhorar a qualidade das análises e alternativas de gestão de risco, na conclusão destes estudos;
- Padronizar e sistematizar o uso do Princípio da Precaução na avaliação do escopo, abrangência e conclusões dos Estudos de Análise Risco; e
- Trabalhar pela elaboração de dispositivos legais unificados e uniformes que obriguem os empreendimentos de maior risco de acidentes a desenvolver Estudos de Análise de Risco, bem como os respectivos Planos de Emergência.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO 14.001: Sistemas de gestão ambiental - Requisitos com orientações para uso*. Rio de Janeiro, 2004. 27 p.

AICHe - AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS. Center for Chemical Process Safety. *Guidelines for chemical process quantitative risk analysis*. New York, 2.ed, AICHe, 2000. 800 p.

AICHe - AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS. Center for Chemical Process Safety. *Guidelines for evaluation the characteristics of vapour cloud explosions, flash fires, and BLEVEs*. New York, AICHe, 1994. 387 p.

AICHe - AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS. Center for Chemical Process Safety. *Guidelines for hazard evaluation procedures - with worked examples*. New York, 2. ed., AICHe, 1992. 461 p.

AICHe - AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS. Center for Chemical Process Safety. *Guidelines for process equipment reliability data*. New York, AICHe, 1989. 303 p.

ALBERTON, A. *Uma metodologia para auxiliar no gerenciamento de riscos e na seleção de alternativas de investimento em segurança*. 1996, Dissertação (Mestrado em Gestão da Qualidade e Produtividade). Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo - USP, São Carlos, 1996.

ATTANASIO JR., M. R.; ATTANASIO, G. M. C. Análise do Princípio da Precaução e suas implicações no Estudo de Impacto Ambiental. In: II ENCONTRO ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS GRADUAÇÃO E PESQUISA EM AMBIENTE E SOCIEDADE. 2004. Indaiatuba, São Paulo, 26 a 29 de maio de 2004. *Anais...* Campinas: ANPPAS – Associação Nacional de Pós Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade. 2004. Disponível em: <www.anppas.org.br/encontro/segundo/Papers/papers.html#9>. Acesso em: 29 junho 2006.

BECK, U. *Risk society: towards a new modernity*. London: Sage Publications Ltd., 1998. 272 p.

BENJAMIN, A. H. *Dano ambiental: prevenção, reparação e repressão*. São Paulo: 3. ed., Editora Revista dos Tribunais, 1993. 470 p.

BOSCH, C. J. H.; WETERINGS, R. A. P. M.; COMMITTEE FOR THE PREVENTION OF DISASTERS CAUSED BY DANGEROUS SUBSTANCES. *Methods for the calculation of physical effects: due to releases of hazardous materials (liquids and gases)*. “Yellow Book” . 3. ed. Den Haag: The Netherlands Organization of Applied Scientific Research, 1997. 825 p.

BOSCH, C. J. H.; TWILT, L.; MERX, W. P. M.; COMMITTEE FOR THE PREVENTION OF DISASTERS CAUSED BY DANGEROUS SUBSTANCES. *Methods for the determination of possible damage: to people and objects resulting from releases of hazardous materials*. "Green Book". Den Haag: The Netherlands Organization of Applied Scientific Research, 1992. 336p.

BOUBEL, R. W. et al. *Fundamentals of air pollution*. San Diego: Academic Press, 1994, 564 p.

BRASIL. *Constituição da República Federativa do Brasil*. São Paulo: 35^a. ed., Editora Saraiva, 2005. 422p.

BRASIL. TCU – Tribunal de Contas da União. *Ata de seção ordinária de plenário*. Ata nº 32, de 20 de agosto de 2003. Relator: Lincoln Magalhães da Rocha. Acórdãos nºs 1.157 a 1.204, 1.210 1 1.212 (27/08/2003). Publicada em 01 de setembro de 2003.

BRASIL. Lei n. 9.605, de 12/02/1998. *Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências*.

BRASIL. Decreto nº 99.274, 06/06/1990. *Regulamenta a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõem, respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências*.

BRASIL. Lei nº 7.804, 18/07/1989. *Altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, a Lei nº 7.735, de 22 de fevereiro de 1989, a Lei nº 6.803, de 2 de julho de 1980, e dá outras providências*.

BRASIL. Lei n. 6.938, 31/08/1981. *Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente*.

BRASIL. Lei nº 6.571, 30/09/1978. *Dispõe sobre o regime jurídico do pessoal da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e dá outras providências*.

BRASIL. Lei nº 6.189, 16/12/1974. *Altera a Lei nº 4.118, de 27 de agosto de 1962, e a Lei nº 5.740, de 1º de dezembro de 1971, que criaram, respectivamente, a Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN e a Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear - CBTN, que passa a denominar-se Empresas Nucleares Brasileiras S/A. - NUCLEBRÁS, e dá outras providências*.

BRASIL. Lei nº 4.118, 27/08/1962. *Dispõe sobre a Política Nacional de Energia Nuclear, cria a Comissão Nacional de Energia Nuclear e dá outras providências*.

CAMACHO, E. E. *Uma proposta de metodologia para análise quantitativa de riscos ambientais*. 2004, 140 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia

Civil), Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.

CAVALCANTI, T. R. Avaliação de impactos ambientais e seus desafios no Brasil - Estrutura dos órgãos de meio ambiente. In: VI Encontro da Seção Brasileira da IAIA, São Paulo, 1997. *Proceedings...* Fargo, USA: International Association for Impact Assessment – IAIA, 1997.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Manual de orientação para a elaboração de Estudos de Análise de Riscos*. Secretaria de Estado de Meio Ambiente, São Paulo, 2003a, 120 p. (Norma Técnica CETESB P4.261).

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. *Sistema integrado de gestão para prevenção, preparação e resposta aos acidentes com produtos químicos: Manual de orientação*. Secretaria de Estado de Meio Ambiente, São Paulo, 2003b.

CEZAR, F. G.; ABRANTES, P. C. C. Princípio da precaução: considerações epistemológicas sobre o princípio e sua relação com o processo de análise de risco. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*. Brasília, v. 20, n. 2, p. 225-262, maio/ago. 2003.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *CNEN-NN-3.01: Diretrizes básicas de proteção radiológica*. Rio de Janeiro, 2005. 25 p.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *CNEN-NE-1.04: Licenciamento de instalações nucleares*. Rio de Janeiro, 2002. 20 p.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *CNEN-NE-6.02: Licenciamento de instalações radiativas*. Rio de Janeiro, 1998. 26 p.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *CNEN-NE-1.26: Segurança na operação de usinas nucleoeletricas*. Rio de Janeiro, 1997. 18 p.

CNEN – COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *CNEN NE-1.11: Licenciamento de minas e usinas de beneficiamento de minérios de urânio e/ou tório*. Rio de Janeiro, 1989. 90 p.

CNEN – COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *CNEN NE-1.19: Qualificação de programas de cálculo para análise de perda de refrigerante em reatores a água pressurizada*. Rio de Janeiro, 1985. 16 p.

CNEN – COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *CNEN NE-1.09: Formato padrão para relatórios de análise de segurança de fábricas de elementos combustíveis*. Rio de Janeiro, 1980. 89 p.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 237, de 18/12/1997. *Dispõe sobre Licenciamento Ambiental*.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 001, de 23/01/1986a. *Dispõe sobre o Uso e Implementação da Avaliação de Impacto Ambiental.*

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 006, de 24/01/1986b. *Dispõe sobre a aprovação de modelos para publicação de pedidos de licenciamento.*

COVELLO, V. T.; MUMPOWER, J. Risk analysis and risk management: an historical perspective. *Risk Analysis*. Malden, v. 5, p. 103-120, 1985.

CPRH - AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS; GTZ - DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR ZUSAMMENARBEIT. *Manual de diretrizes para avaliação de impactos ambientais*. Recife: 2ª ed. Editora Bip Comunicação e Arte, 2000.

EVANS, E. W.; VERLANDER, N. Q What is wrong with criterion FN-lines for judging the tolerability of risk?. *Risk Analysis*., v. 17, n. 2, p. 157-168, 1997.

FERRARI, R. M. M. N. *A defesa e a proteção do meio ambiente no contexto da federação brasileira*. Revista Diálogo Jurídico, Salvador, CAJ - dentro de Atualização Jurídica, v. I, nº 6, setembro, 2001. Disponível em: <<http://www.direitopublico.com.br>>. Acesso em: 14 de maio de 2006.

FEEMA- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE, *Análise de risco – conceitos básicos*. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <www.feema.rj.gov.br/analise_risco.htm>. Acesso em: 18 novembro 2004.

FEPAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE ROESSLER. *Manual de análise de riscos*. Rio Grande do Sul, 2001. 45 p. (Norma Técnica FEPAM 01/01).

FREITAS, V. P. *Direito ambiental em evolução*. Curitiba: Editora Juruá, 2005. v. 4, 364 p.

GOW & KEY, R. W. *Emergency planning for industrial hazards*. London, Elsevier Applied Science, 1988. 387 p.

HELMAN, H.; ANDERY, P. R. P. *Análise de falhas (Aplicação dos métodos de FMEA – FTA)*. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1995, 156 p.

IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Guide on safety of uranium fuel fabrication facilities*. Draft Safety Guide, Vienna, 2005a. 57 p. (IAEA-DS317).

IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Safety of fuel cycle and isotope production facilities*. Draft Safety Guide, Vienna, 2005b. 87 p. (IAEA-DS316).

IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Procedure for conducting probabilistic safety assessment for non-reactor nuclear fuel facilities*. Vienna, 2002. 65 p. (IAEA-TECDOC-1267).

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Centro de Licenciamento Ambiental Federal. *Procedimento de licenciamento ambiental*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <www2.ibama.gov.br/web/slaf/slafweb/>. Acesso em 29 junho 2006.

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. *Guia de procedimentos do licenciamento ambiental*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2002. 133p.

KIRCHHOFF, D. *Avaliação de risco ambiental e o processo de licenciamento. O caso do gasoduto de distribuição gás brasileiro, trecho São Carlos – Porto Ferreira*. 2004, 137 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo - USP, São Carlos, 2004.

LEES, F. P. *Loss prevention in the process industries: hazard identification, assessment and control*. Oxford: 2.ed., Butterworth-Heinemann, 1996. 3 v. 3500 p.

MACHADO, P. A. L. *Direito ambiental brasileiro*. São Paulo: 14^a ed., Editora Malheiros, 2006. 1094 p.

MILARÉ E. *Direito do ambiente: doutrina, prática, jurisprudência, glossário*. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais; 2000. 687 p.

MIRRA, Á. L. V. *Direito ambiental: o Princípio da Precaução e a sua aplicação judicial*. *Revista de Direito Ambiental*. São Paulo, v. 21, p. 92-102, 2001.

MISHIMA, J.; SCHWENDIGAN, L. C. *Fractional airborne release of uranium (representing plutonium) during the burning of contaminated wastes*. Richland: Battelle Pacific Northwest Labs, 1973. 20p. (BNWL-1730).

MPO - MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO. Secretaria Especial de Políticas Regionais. Departamento de Defesa Civil. *Glossário de defesa civil, estudos de riscos e medicina de desastres*. Brasília: 2^a ed., Imprensa Nacional, 1998. 283 p.

NUNES, M. E. C.; RAUSCH, J. C. *Discussão sobre a Nota Interna NI-SN1-09/04 – CDTN – “Metodologias para análise de risco de acidentes”*. Rio de Janeiro: CDTN/CGLC. 2005. 16 p. (Relatório de Atividades RA-SEASE-02/05).

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente – ECO 92*. Rio de Janeiro, 3-14 jun. 1992. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./gestao/index.html&cont_eudo=./gestao/artigos/rio92.html>. Acesso em: 23 maio 2006.

PANDAGGIS, L. R. *Uma leitura da árvore de causas no atendimento de demanda do poder judiciário: Um fluxograma de antecedentes*. 2003, 151 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo –USP, São Paulo, 2003.

SCAPIN, C. A. *Análise sistêmica de falhas*. Belo Horizonte: EDG – Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999, 132 p.

SEBRAE/RJ – SERVIÇO DE APOIO ÀS PEQUENAS E MÉDIAS EMPRESAS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. *Manual de licenciamento ambiental - Guia de procedimentos passo a passo*. Rio de Janeiro, 2004. 23 p.

SENNE JR., M. *Abordagem sistemática para avaliação de riscos de acidentes em instalações de processamento químico e nuclear*. 2003. 214 p. Tese (Doutorado em Sistemas de Processos Químicos e Informática). Faculdade de Engenharia Química, Universidade de Campinas – UNICAMP, Campinas, 2003.

SENNE JR., M.; VASCONCELOS, V. *Análise de conseqüências de acidentes em instalações nucleares*. In: 3º ENCONTRO DE APLICAÇÕES NUCLEARES, 1995. Águas de Lindóia. *Anais...* Belo Horizonte: CNEN/CDTN, 1995. v.2, p. 1061-1066.

SENNE JR. M.; VASCONCELOS, V.; SACRAMENTO, A. M. *Metodologias para análise de risco de acidentes*. Belo Horizonte: CDTN/CNEN. 2004. 68 p. (Nota Interna NI-SN1-09/04).

SILVA, J. A. *Direito ambiental constitucional*. São Paulo: 5ª ed., Editora Malheiros, 2003. 349 p.

SLADE, H. D. *Meteorology and atomic energy*. Washington: U. S. Atomic Energy Commission, 1968. 445 p.

STAMATELATOS, M.; VESELY, W. *Fault tree handbook with aerospace applications*. Washington: NASA, 2002, 205 p.

TEIXEIRA, C. A. R. *A confiabilidade como fator de valor na melhoria de produtos. Estudo de caso: sistema de embreagem automotiva*. 2004, 110 p. Dissertação (Mestrado em Gestão da Qualidade Total). Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Campinas – UNICAMP, Campinas. 2004.

USDOD – U. S. Department of Defense. *Standard practice for system safety*. Washington: 2000. (MIL-STD-882D).

USDOE – U. S. DEPARTMENT OF ENERGY. *Preparation guide for US Department of Energy non-reactor nuclear facility safety analysis reports*. Washington, 1994 (DOE-STD-3009-94).

USDOE – U. S. DEPARTMENT OF ENERGY. *Hazard categorization and accident analysis techniques for compliance with DOE Order 5480.22, Nuclear Safety Analysis Report*. Washington, 1992 (DOE-STD1027-92).

USEPA - U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *General guidance for Risk Management Programs (40 CFR Part 68)*. Chemical Emergency Preparedness and Prevention Office, Washington, 2004. Disponível em: <<http://yosemite.epa.gov/oswer/ceppoweb.nsf/content/EPAguidance.htm#General>> Acesso em: 23 maio 2006.

USNRC – U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. *Integrated Safety Analysis Guidance Document*. Washington, 2001 (NUREG-1513).

USNRC – U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. *An approach for using Probabilistic Risk Assessment in Risk-informed Decisions on plant specific changes to the current licensing basis*. Washington, 1998a (Regulatory Guide 1.174).

USNRC – U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. *Nuclear fuel cycle facility accident analysis handbook*. Washington, 1998b (NUREG-6410).

USNRC – U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. *Severe accident risks: an assessment for five U.S. nuclear power plants*. Washington, 1990 (NUREG-1150).

USNRC – U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. *Nuclear fuel cycle accident analysis handbook*. Washington, 1988 (NUREG-1320).

USNRC – U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. *PRA procedures guide: a guide to the performance of Probabilistic Risk Assessment of nuclear power plants*. Washington, 1983 (NUREG/CR 2300, Vols. 1-2).

USNRC – U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. *Reactor Safety Study: an assessment of accident risks in U. S. commercial nuclear power plants*. Washington, 1975 (WASH-1400).

VASCONCELOS, V. *Aplicação da metodologia da árvore de falhas na análise de risco em sistemas complexos*. 1984, 143 p. Dissertação. (Mestrado em Ciências e Técnicas Nucleares). Departamento de Engenharia Nuclear, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte. 1984.

VASCONCELOS, V.; REIS, H. G.; M.; JORDÃO, E.; REIS, S. C. Análise de riscos de acidentes em empreendimentos ligados ao setor energético. In: X CBE – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA. Rio de Janeiro, 26 a 28 de Outubro de 2004. *Anais...* Rio de Janeiro: UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.

WCED - WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (CMMAD - COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO). *Nosso Futuro Comum*. Rio de Janeiro: FGV - Fundação Getúlio Vargas, 1988.

WILSON, K.; LEONARD, B.; WRIGHT, R.; GRAHAM, I.; MOFFET, J. PLUSCAUSKAS, M.; WILSON, M. Application of the precautionary principle by senior policy: results of a Canadian survey. *Risk analysis*. V.26, n.4, p.981-8, 2006.

ANEXO I - ATIVIDADES OU EMPREENDIMENTOS SUJEITOS AO LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE ACORDO COM RESOLUÇÃO CONAMA Nº 237/97

ATIVIDADES OU EMPREENDIMENTOS SUJEITOS AO LICENCIAMENTO AMBIENTAL:

Extração e Tratamento de Minerais

- Pesquisa mineral com guia de utilização;
- Lavra a céu aberto, inclusive de aluvião, com ou sem beneficiamento;
- Lavra subterrânea com ou sem beneficiamento;
- Lavra garimpeira;
- Perfuração de poços e produção de petróleo e gás natural.

Indústria de Produtos Minerais não Metálicos

- Beneficiamento de minerais, não metálicos, não associados à extração;
- Fabricação e elaboração de produtos minerais não metálicos tais como: produção de material cerâmico, cimento, gesso, amianto e vidro, entre outros.

Indústria Metalúrgica

- Fabricação de aço e de produtos siderúrgicos;
- Produção de fundidos de ferro e aço/ forjados / arames / relaminados com ou sem tratamento de superfície, inclusive galvanoplastia;
- Metalurgia dos metais não-ferrosos, em formas primárias e secundárias, inclusive ouro;
- Produção de laminados / ligas / artefatos de metais não-ferrosos com ou sem tratamento de superfície, inclusive galvanoplastia;
- Relaminação de metais não - ferrosos, inclusive ligas;
- Produção de soldas e anodos;
- Metalurgia de metais preciosos;

- Metalurgia do pó, inclusive peças moldadas;
- Fabricação de estruturas metálicas com ou sem tratamento de superfície, inclusive galvanoplastia;
- Fabricação de artefatos de ferro / aço e de metais não-ferrosos com ou sem tratamento de superfície, inclusive galvanoplastia;
- Têmpera e cementação de aço, recozimento de arames, tratamento de superfície.

Indústria Mecânica

- Fabricação de máquinas, aparelhos, peças, utensílios e acessórios com ou sem tratamento térmico e/ou de superfície.

Indústria de Material Elétrico, Eletrônico e Comunicações

- Fabricação de pilhas, baterias e outros acumuladores;
- Fabricação de material elétrico, eletrônico e equipamentos para telecomunicação e informática;
- Fabricação de aparelhos elétricos e eletrodomésticos.

Indústria de Material de Transporte

- Fabricação e montagem de veículos rodoviários e ferroviários, peças e acessórios;
- Fabricação e montagem de aeronaves;
- Fabricação e reparo de embarcação e estruturas flutuantes.

Indústria de Madeira

- Serraria e desdobramento de madeira;
- Preservação de madeira;
- Fabricação de chapas, placas de madeira aglomerada, prensada e compensada;
- Fabricação de estruturas de madeira e de móveis.

Indústria de Papel e Celulose

- Fabricação de celulose e pasta mecânica;
- Fabricação de papel e papelão;
- Fabricação de artefatos de papel, papelão, cartolina, cartão e fibra prensada.

Indústria de Borracha

- Beneficiamento de borracha natural;
- Fabricação de câmara de ar e fabricação e acondicionamento de pneumáticos;
- Fabricação de laminados e fios de borracha;
- Fabricação de espuma de borracha e de artefatos de espuma de borracha, inclusive látex.

Indústria de Couros e Peles

- Secagem e salga de couros e peles;
- Curtimento e outras preparações de couros e peles;
- Fabricação de artefatos diversos de couros e peles;
- Fabricação de cola animal.

Indústria Química

- Produção de substâncias e fabricação de produtos químicos;
- Fabricação de produtos derivados do processamento de petróleo, de rochas betuminosas e da madeira;
- Fabricação de combustíveis não derivados de petróleo;
- Produção de óleos / gorduras / ceras vegetais-animais / óleos essenciais vegetais e outros produtos da destilação da madeira;
- Fabricação de resinas e de fibras e fios artificiais e sintéticos e de borracha e látex sintéticos;
- Fabricação de pólvora / explosivos / detonantes / munição para caça-desporto, fósforo de segurança e artigos pirotécnicos;
- Recuperação e refino de solventes, óleos minerais, vegetais e animais;
- Fabricação de concentrados aromáticos naturais, artificiais e sintéticos;

- Fabricação de preparados para limpeza e polimento, desinfetantes, inseticidas, germicidas e fungicidas;
- Fabricação de tintas, esmaltes, lacas, vernizes, impermeabilizantes, solventes e secantes;
- Fabricação de fertilizantes e agroquímicos;
- Fabricação de produtos farmacêuticos e veterinários;
- Fabricação de sabões, detergentes e velas;
- Fabricação de perfumarias e cosméticos;
- Produção de álcool etílico, metanol e similares.

Indústria de Produtos de Matéria Plástica

- Fabricação de laminados plásticos;
- Fabricação de artefatos de material plástico.

Indústria Têxtil, de Vestuários, Calçados e Artefatos de Tecidos

- Beneficiamento de fibras têxteis, vegetais, de origem animal e sintéticos;
- Fabricação e acabamento de fios e tecidos;
- Tingimento, estamparia e outros acabamentos em peças do vestuário e artigo diversos de tecidos;
- Fabricação de calçados e componentes para calçados.

Indústria de Produtos Alimentares e Bebidas

- Beneficiamento, moagem, torrefação e fabricação de produtos alimentares;
- Matadouros, abatedouros, frigoríficos, charqueadas e derivados de origem animal;
- Fabricação de conservas;
- Preparação de pescados e fabricação de conservas de pescado;
- Preparação, beneficiamento e industrialização de leite e derivados;
- Fabricação e refinação do açúcar;
- Refino / preparação de óleo e gorduras vegetais;
- Produção de manteiga, cacau, gorduras de origem animal para alimentação;

- Fabricação de fermentos e leveduras;
- Fabricação de rações balanceadas e de alimentos preparados para animais;
- Fabricação de vinhos e vinagre;
- Fabricação de cervejas, chopes e maltes;
- Fabricação de bebidas não alcoólicas, bem como engarrafamento e gaseificação de águas minerais;
- Fabricação de bebidas alcoólicas.

Indústria de Fumo

- Fabricação de cigarros / charutos / cigarrilhas e outras atividades de beneficiamento do fumo.

Indústrias Diversas

- Usinas de produção de concreto;
- Usinas de asfalto;
- Serviços de galvanoplastia.

Obras Civis

- Rodovias, ferrovias, hidrovias, metropolitanos;
- Barragens e diques;
- Canais para drenagem;
- Retificação de curso de água;
- Abertura de barras, embocaduras e canais;
- Transposição de bacias hidrográficas;
- Outras obras de arte.

Serviços de Utilidades

- Produção de energia termoelétrica;
- Transmissão de energia elétrica;
- Estações de tratamento de água;

- Interceptores, emissários, estação elevatória e tratamento de esgoto sanitário;
- Tratamento e destinação de resíduos industriais (líquidos e sólidos);
- Tratamento / disposição de resíduos especiais tais como: de agroquímicos e suas embalagens usadas e de serviço de saúde, entre outros;
- Tratamento e destinação de resíduos sólidos urbanos, inclusive aqueles provenientes de fossas;
- Dragagem e derrocamentos em corpos d'água;
- Recuperação de áreas contaminadas ou degradadas.

Transporte, Terminais e Depósitos

- Transporte de cargas perigosas;
- Transporte por dutos;
- Marinas, portos e aeroportos;
- Terminais de minérios, petróleo e derivados, e produtos químicos;
- Depósitos de produtos químicos e produtos perigosos.

Turismo

- Complexos turísticos e de lazer, inclusive parques temáticos e autódromos.

Atividades Diversas

- Parcelamento do solo;
- Distrito e pólo industrial.

Atividades Agropecuárias

- Projeto agrícola;
- Criação de animais;
- Projetos de assentamentos e de colonização.

Uso de Recursos Naturais

- Silvicultura;
- Exploração econômica da madeira ou lenha e subprodutos florestais;

- Atividade de manejo de fauna exótica e criadouro de fauna silvestre;
- Utilização do patrimônio genético natural;
- Manejo de recursos aquáticos vivos;
- Introdução de espécies exóticas e/ou geneticamente modificadas;
- Uso da diversidade biológica pela biotecnologia.