

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo

ANÁLISE DE RISCO EM BARRAGENS: UM
ÍNDICE DE PRIORIZAÇÃO.

Monica Soares Resio Zuffo

CAMPINAS
2010

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo

ANÁLISE DE RISCO EM BARRAGENS: UM
ÍNDICE DE PRIORIZAÇÃO.

Arq. Monica Soares Resio Zuffo

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Ana Inés Borri Genovez

Tese de Doutorado apresentada à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, na área de concentração de Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais.

CAMPINAS – SP
Julho/2010

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

Z83a	Zuffo, Monica Soares Resio Análise de risco em barragens: um índice de priorização / Monica Soares Resio Zuffo. --Campinas, SP: [s.n.], 2010. Orientador: Ana Inés Borri Genovez. Tese de Doutorado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. 1. Barragens. 2. Avaliação de riscos. 3. Riscos. I. Genovez, Ana Inés Borri. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.
------	--

Título em Inglês: Risk analysis for dams: an index prioritization

Palavras-chave em Inglês: Dams, Risk assessment, Risks

Área de concentração: Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais

Titulação: Doutor em Engenharia Civil

Banca examinadora: Afonso Celso Moruzzi Marques, José Rodolfo Scarati Martins,
José Gilberto Dalfré Filho, Tiago Zenker Girelli

Data da defesa: 28/07/2010

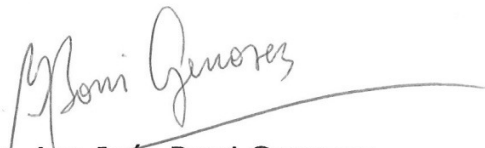
Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO**

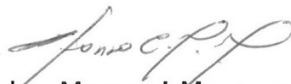
**ANÁLISE DE RISCO EM BARRAGENS: UM ÍNDICE DE
PRIORIZAÇÃO**

MONICA SOARES RESIO ZUFFO

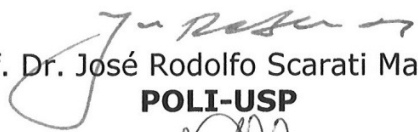
Tese de Doutorado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



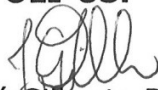
Profª. Dra. Ana-Inês Borri Genovez
Presidente e Orientador(a)/FEC-UNICAMP



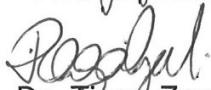
Dr. Afonso Celso Moruzzi Marques
ENGECORPS



Prof. Dr. José Rodolfo Scarati Martins
POLI-USP



Prof. Dr. José Gilberto Dalfré Filho
FEC-UNICAMP



Prof. Dr. Tiago Zenker Girelli
FEC-UNICAMP

Campinas, 28 de julho de 2010

Aos meus filhos e marido.

AGRADECIMENTOS

A DEUS pela dádiva da vida e a possibilidade de aprendizado e aprimoramento constantes.

À professora Ana Inés Borri Genovez pela confiança, atenção e paciência durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Antonio Carlos Zuffo e José Rodolfo Scarati Martins pela amizade, companheirismo e pelas diversas oportunidades de discussão deste trabalho, que forneceram ferramentas indispensáveis para sua realização.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa oferecida, que proporcionou a viabilidade do meu estudo.

Aos amigos da Engecorps pelo apoio e discussão de estudos prévios realizados e relacionados ao tema em questão, em especial aos engenheiros Afonso Celso Moruzzi Marques, Alberto Lang Filho, Ary Paulo Rodrigues, Danny Dalberson de Oliveira, à geógrafa Christiane Spörl, à geóloga Renata Augusta Rocha N. Oliveira e aos “programadores visuais” Cristiano Roberto de Souza e Renato Francischinelli.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, em especial à minha mãe.

A todos os contribuintes brasileiros que possibilitaram meu ensino superior gratuito.

RESUMO

ZUFFO, Monica Soares Resio. **Análise de Risco em Barragens: um índice de priorização.** Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, 2010, 291 p. Tese, Doutorado.

A análise de risco em barragens trata da primeira iniciativa em direção à avaliação de risco oferecido por este tipo de estrutura. É parte constituinte de uma nova área de conhecimento denominada de Gerenciamento de Risco. O modelo baseado em risco procura dar segurança ao decisor, propiciando uma compreensão das implicações dos riscos e das incertezas associadas. Avaliações de risco por índices são valiosas, pois permitem uma avaliação de diferentes aspectos, informam um possível comprometimento da segurança da barragem e possibilitam um diagnóstico global das condições de segurança da estrutura. Devem, preferencialmente, refletir o risco métrico das chances de ocorrência e suas consequências, a fim de propiciar um aumento na compreensão das questões de segurança obtida por meio da aplicação de métodos tradicionais de avaliação da segurança de barragens, os quais são fundamentais para manter as barragens seguras. Contudo, podem não ser muito úteis na ocasião de hierarquizar as estruturas. O objetivo desse estudo é elaborar um índice de priorização de risco para pequenas barragens de material solto, denominado de IPRB. Seu algoritmo está fundamentado na Teorema das Probabilidades Totais, leva em consideração a avaliação de dez subcritérios relacionados às barragens e combina os atributos de avaliação com cinco modos de falha. Como estudo de caso, selecionou-se 28 pequenas barragens de material solto situadas na Bacia do Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ), no Estado de São Paulo. A fim de auferir seus resultados, utilizou-se uma metodologia por índice de avaliação de risco probabilístico-determinístico e os resultados de uma avaliação tradicional de segurança, realizada a partir de um método determinístico *Ad Hoc*. O resultado do índice de priorização ofereceu a vantagem de conseguir uma hierarquização inicial para barragens que constam em um mesmo portfólio. Desta forma, a aplicação permite nortear a ordem das barragens que necessitam de estudos posteriores mais aprofundados ou para ajudar a estabelecer requerimentos de vigilância e monitoramento. Constata-se que é uma ferramenta eficaz, que auxiliará o gerenciamento dos riscos, e, assim, mostrou-se eficiente, seguindo as recomendações do que deve ser um índice de priorização de risco na análise de risco em barragens. O IPRB pode ser considerado como uma tentativa original em desenvolver tais ferramentas, pois é a única que é puramente semi-probabilística em sua determinação, característica muito desejada nas análises de risco.

Palavras Chave: pequenas barragens, análise de risco, índice de priorização de risco.

ABSTRACT

ZUFFO, Monica Soares Resio. **Risk Analysis for Dams: an index prioritization.** Campinas: College of Civil Engineering, Architecture and Urbanism of the University of Campinas, 2010, 291 p. Thesis, Doctorate.

The risk analysis for dams is the first step towards the accomplishment of a dam safety risk assessment. It is part of a new area of knowledge known as Risk Management. The risk-based model is to reassure the decision-making process, propitiating an understanding of the implications of the risks and uncertainties associated to dam safety issues. Risk analysis by indexes tools are valuable once they allow the evaluation of different aspects, inform a probable occurrence of hazards of the dam safety and permit a general overview of the dam safety conditions. Indexes prioritization shall incorporate a risk metric chance of occurrence of a dam incident/accident and its consequences, in order to allow a better understanding of the results given by the traditional dam safety approaches; its use is fundamental to keep a dam safety. However, the traditional approach methods are not very useful to rank dams. The purpose of this study is to elaborate an index prioritization for small embankment dams, named IPD. Its algorithm is based on the Total Probabilities Theorem and it considers 10 different criteria, linked to five failure modes. In order to develop this work, 28 small embankment dams, located at the *Piracicaba*, *Capivari* and *Jundiaí* river basin, in São Paulo state, Brazil, were chosen. A risk-based deterministic-probabilistic methodology and also the results obtained by a deterministic *ad hoc* method were employed to check on the results given by the IPD. The IPD results propitiated an initial hierarchy of dams belonging to a same portfolio. This way, its employment is useful to rank dams, which need further detailed studies, or to help establish monitoring and vigilance requirements. It can be considered as an effective tool that takes into account all the characteristics that an index prioritization must have and will certainly assist the risk management. The IPD is an original tool since it is the only one found purely on a probabilistic basis, which is a desired characteristic in risk analysis tools.

Key Words: small dams, risk analysis, index prioritization.

SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS.....	XI
LISTA DE ABREVIATURAS.....	XIV
LISTA DE FIGURAS.....	XVIII
LISTA DE TABELAS.....	XXII
1) INTRODUÇÃO.....	01
2) OBJETIVOS.....	05
3) O RISCO SOCIOLÓGICO.....	07
3.1) O Risco e sua Percepção.....	07
3.2) Os Tipos de Risco.....	21
3.3) Os Riscos nas Sociedades Desenvolvidas, Emergentes e Pobres.....	24
3.4) Sistema Brasileiro de Proteção contra Riscos.....	29
3.5) Sistema Brasileiro de Previsão de Cheias.....	43
4) GERENCIAMENTO, AVALIAÇÃO E ANÁLISE DE RISCO EM BARRAGENS.....	55
4.1) Conceitos básicos relacionados ao Gerenciamento, Avaliação e Análise de Risco em barragens.....	55
4.2) Finalidade da Avaliação e Análise de Risco.....	62
4.3) Natureza da Avaliação e Análise de Risco.....	68
4.4) Benefícios e Desafios da Avaliação e Análise de Risco.....	80
4.5) Diretrizes para a Avaliação e Análise de Risco.....	88
4.6) A Política Brasileira de Defesa contra Riscos Oferecidos por Barragens.....	95

5)	METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE RISCO EM BARRAGENS.....	101
5.1)	As Metodologias de Avaliação de Segurança Baseadas em Risco: um breve histórico.....	101
5.2)	As Metodologias Tradicionais e de Risco: uma clara distinção.....	106
5.3)	Ferramentas Utilizadas para a Avaliação de Risco	110
5.4)	Tipos e Níveis de Avaliação de Risco.....	116
5.4.1)	As Análises Qualitativas e Semi-quantitativas de Risco.....	117
5.4.2)	As Análises Quantitativas de Risco.....	121
5.4.3)	Os Níveis de Metodologias de Risco.....	124
5.5)	Um Exemplo de Índice de Risco para Barragens: o RIC.....	127
5.5.1)	Importância da Barragem no Inventário.....	127
5.5.2)	Importância Relativa das Condições Físicas.....	130
5.5.3)	Inspeção para Analisar as Condições Físicas Atuais.....	134
5.5.4)	Cômputo do Índice de Risco.....	137
5.6)	Conceitos sobre Distribuições de Probabilidades para Avaliação dos Atributos.....	138
5.6.1)	Considerações Iniciais.....	138
5.6.2)	Exemplos de Distribuições de Probabilidade.....	140
6)	METODOLOGIA.....	147
6.1)	O Índice de Priorização de Risco para Barragens (IPRB).....	147
6.1.1)	Generalidades.....	147
6.1.2)	Algoritmo do IPRB.....	148
6.1.3)	Critérios e Subcritérios do IPRB.....	151
6.1.4)	Modos de Falha no IPRB.....	162
6.2)	Determinação das Funções Probabilísticas do IPRB.....	167

6.3)	A Determinação do IPRB.....	177
6.4)	Estudo de Caso.....	180
7)	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	193
7.1)	Resultados.....	193
7.1.1)	Aplicação do IPRB nos Barramentos em Estudo.....	193
7.1.2)	Aplicação do RIC nos Barramentos em Estudo.....	206
7.1.3)	Aplicação de uma Metodologia <i>Ad Hoc</i> nos Barramentos em Estudo – Abordagem Tradicional de Segurança de Barragens.....	217
7.2)	Discussão dos Resultados.....	228
8)	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	237
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	243
	ANEXO A – LISTA DAS FALHAS DE BARRAGENS.....	249
	ANEXO B – LEI Nº 168.....	253

LISTA DE SÍMBOLOS

- a – elementos de conjuntos finitos ($M^0 L^0 T^0$);
- A – conjuntos finitos ($M^0 L^0 T^0$);
- C – condição física da barragem ($M^0 L^0 T^0$);
- CI – consequências de um incidente ($M^0 L^0 T^0$);
- CV – coeficiente de variação ($M^0 L^0 T^0$);
- D – valor global de uma ação ($M^0 L^0 T^0$);
- D₁ – subcritério de projeto, do IPRB, TR dos Órgãos de Descarga da barragem ($M^0 L^0 T^0$);
- D₂ – subcritério de projeto, do IPRB, Condições Gerais da barragem ($M^0 L^0 T^0$);
- D_n – Característica do Projeto da Barragem ($M^0 L^0 T^0$);
- E₁ – subcritério extrínseco do IPRB Idade ($M^0 L^0 T^0$);
- E₂ – subcritério extrínseco do IPRB Risco Sociológico ($M^0 L^0 T^0$);
- E_n – Características Extrínsecas da barragem ($M^0 L^0 T^0$);
- ER – barragem de enrocamento;
- F – falha de barragem ($M^0 L^0 T^0$);
- f_{dp} – $f_x(x)$ - densidade de probabilidade ($M^0 L^0 T^0$);
- f_{pa} – $F_x(x)$ - função densidade de probabilidade
- GAR – grau de aceitação de risco ($M^0 L^0 T^0$);
- I – importância da barragem ($M^0 L^0 T^0$);
- I₁ – subcritério intrínseco do IPRB Altura da barragem ($M^0 L^0 T^0$);
- I₂ – subcritério intrínseco do IPRB Volume do Reservatório ($M^3 L^0 T^0$);
- I₃ – subcritério intrínseco do IPRB Comprimento da barragem ($M^0 L^0 T^0$);
- I₄ – subcritério intrínseco do IPRB Tipo de Material da barragem ($M^0 L^0 T^0$);

I_5 – subcritério intrínseco do IPRB Tipo de Fundação da barragem ($M^0 L^0 T^0$);

I_6 – subcritério intrínseco do IPRB Tipo de Vertedor da barragem ($M^0 L^0 T^0$);

I_n – Características Intrínsecas da barragem ($M^0 L^0 T^0$);

∞ - infinito ($M^0 L^0 T^0$);

IPRB – índice de priorização de risco para barragens ($M^0 L^0 T^0$);

MF – modo de falha ($M^0 L^0 T^0$);

n – nome de uma variável ($M^0 L^0 T^0$);

P – probabilidade de ocorrência ($M^0 L^0 T^0$);

P'' – probabilidade condicionada ($M^0 L^0 T^0$);

$P_{d/fi}$ – probabilidade de morrer em um acidente “tecnológico” ($M^0 L^0 T^0$);

P_{fi} – probabilidade de aceitação social ($M^0 L^0 T^0$);

PG – barragem de concreto por gravidade ($M^0 L^0 T^0$);

$P(x)$ - propriedade satisfeita ($M^0 L^0 T^0$);

R – rocha ($M^0 L^0 T^0$);

RI – importância relativa da condição física da barragem ($M^0 L^0 T^0$);

RIC –Índice de Condição de Risco ($M^0 L^0 T^0$);

S – solo ($M^0 L^0 T^0$);

S/R – misto de solo e rocha ($M^0 L^0 T^0$);

t – termo linguístico ($M^0 L^0 T^0$);

T – conjunto de termos linguísticos ou escala linguística ($M^0 L^0 T^0$);

TE – barragem de terra ($M^0 L^0 T^0$);

V - vulnerabilidade ($M^0 L^0 T^0$);

x – elemento qualquer de um universo de valores ($M^0 L^0 T^0$);

X – universo de valores ($M^0 L^0 T^0$);

X_i – presença de atributo que contribua com um modo de falha ($M^0 L^0 T^0$);

z – variável reduzida ($M^0 L^0 T^0$).

α – constante maior que zero ($M^0 L^0 T^0$);

β – constante ($M^0 L^0 T^0$);

β_1 – IDH-M – Índice de Desenvolvimento Humano médio ($M^0 L^0 T^0$);

β_2 – GAR – grau de aceitação de risco ($M^0 L^0 T^0$);

β_3 – CI – consequências de um incidente ($M^0 L^0 T^0$);

β_i – fator de tolerância ao risco ($M^0 L^0 T^0$);

η – parâmetro de forma da função Gamma ($M^0 L^0 T^0$);

ϕ – função característica ($M^0 L^0 T^0$);

Γ – função Gamma ($M^0 L^0 T^0$);

$\Gamma(\eta)$ – função Gamma completa ($M^0 L^0 T^0$);

γ – coeficiente de assimetria ($M^0 L^0 T^0$);

ξ – variável Gamma padrão ($M^0 L^0 T^0$);

λ – assimetria da amostra ($M^0 L^0 T^0$);

μ – média amostral ($M^0 L^0 T^0$);

σ – desvio padrão ($M^0 L^0 T^0$);

Σ – somatório ($M^0 L^0 T^0$);

θ – parâmetro de escala da função Gamma ($M^0 L^0 T^0$);

θ_1 – esperança ($M^0 L^0 T^0$);

θ_2 – variância ($M^0 L^0 T^0$).

LISTA DE ABREVIATURAS

AHP - *Analytical Hierarchy Process* ou Matriz de Prioridades;

AL – Alagoas;

ALARP - *As Low As Reasonable Possible* ou “tão baixo quanto possível”;

ANA – Agência Nacional de Águas;

ANCOLD – *Australian Committee on Large Dams* ou Comitê Australiano de Grandes Barragens;

AP – Atributos Probabilísticos;

AQR – Avaliação Quantitativa de Risco;

AR – Avaliação de Risco em Segurança de Barragens;

ARMA - modelo linear auto-regressivo do tipo média móvel;

AT – Abordagem Tradicional de Avaliação de Segurança de Barragens;

BA – Bahia;

CC – Condições de Criticidade;

CEDEC – Coordenadoria Estadual de Defesa Civil;

CENAD – Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres;

CEOPS - Centro de Operação do Sistema de Alerta da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí-Açú;

CF – Condição de Funcionalidade da barragem;

CG – Comitê Gestor das Ações Federais de Emergência;

CGE – Comitês Federais nos Estados;

COBAM – Comissão Especial de Planejamento e Execução de Providências e Serviços para atender aos efeitos de enchentes do Baixo Amazonas;

CODAR – Conselho Nacional de Defesa Civil, a Codificação de Desastres, Ameaças e Riscos;

CODECIPA - Comissão de Defesa Civil do Estado da Paraíba;

CODECIPE – Comissão de Defesa Civil do Estado de Pernambuco;

CODECIRN - Comissão de Defesa Civil do Rio Grande do Norte;

COMDEC – Coordenadorias Municipais de Defesa Civil;

CONDEC – Conselho Nacional de Defesa Civil;

CNPGB – Comissão Nacional Portuguesa das Grandes Barragens;

CORDEC – Coordenação de Recursos para a Defesa Civil;

COTEDEC/AP – Comissão Territorial de Defesa Civil do Território Federal do Amapá;

COTEDEC/RR – Comissão Territorial de Defesa Civil do Território de Rorâima;

CPRM - Serviço Geológico do Brasil;

CPTEC - Centro de Previsões de Tempo e Estudos Climáticos;

D – projeto da barragem;

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo;

DC – Defesa Civil;

DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra a Seca;

DRT – Departamento de Respostas aos Desastres e Reconstrução;

E – características Extrínsecas da barragem;

ECP – Estado de Calamidade Pública;

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária;

EPA – Elemento Primário de Avaliação;

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina;

ETA – *Event Tree Analysis* ou Análise por Árvore de Eventos;

FCTH - Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica;

FEMA - *Federal Emergency Management Agency* ou Agência Federal de Gerenciamento de Emergências;

FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis* ou Análise e Efeitos dos Modos de Falha;

FMECA – *Failure Mode, Effect and Critically Analysis* ou Análise, Efeitos e Severidade dos Modos de Falha;

FUNCAP – Fundo Especial para Calamidades Públicas;

FTA – *Faulty Tree Analysis* ou Análise por Árvore de Falhas;

GEACAP – Grupo Especial para Assuntos de Calamidades Públicas;

GPS - *Global Positioning System*;

ha – hectares;

HAZOP – *Hazard and Operability Analysis* ou Análise das Áleas e da Operacionalidade;

I – características Intrínsecas da barragem;

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

ICOLD – *International Commission on Large Dams* ou Comitê Internacional de Grandes Barragens;

IMF – Identificação de Modos de Falha;

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais;

IP – Índice de Priorização;

IPA – Instituto Agrônomo do Pernambuco;

IPRB – Índice de Priorização de Risco para Barragens;

ISB – Índice de Segurança de Barragens;

LDO – Lei das Diretrizes Orçamentárias;

LOA – Lei Orçamentária Anual;

m – metros;

m³/s – metros cúbicos por segundo;

MACBETH – *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique* ou Medição da Atratividade por Técnica Categórica de Avaliação;

MAUT – *Multi Attribute Utility Theory* ou Teoria da Utilidade Multiatributo;

MG – Minas Gerais;

MIN – Ministério de Integração Social;

Nn – Níveis;

P – Probabilidades de falha relacionados aos atributos da barragem;

PAR – Portfólio de Avaliação de Risco;

PD – Potencial de Dano;

PE – Pernambuco;

PER – População em Risco;

PI – Piauí;

PNSB – Política Nacional de Segurança de Barragens;

PR – Paraná;

PVE – Perda de Vidas Esperada;

REDEC – Coordenadorias Regionais de Defesa Civil;

RIC – *Risk Index Condition* ou Índice de Condição de Risco;

RJ – Rio de Janeiro;

RNA - Redes Neurais Artificiais;

SAISP - Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo;

SC – Santa Catarina;

SE - Situação Excepcional;

SEDEC – Secretaria Nacional de Defesa Civil;

SIN – Sistema Interligado Nacional;

SINDEC – Sistema Nacional de Defesa Civil;

SNISB – Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens;

SP – São Paulo;

SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste;

SWT - *Surrogate Worth Trade off Method* ou Método da Substituição do Valor de Compensação;

TR – Tempo de Retorno em anos;

V – vulnerabilidade;

UHE – Usina Hidrelétrica;

USACE - *United States Army Corps of Engineers* ou Corpo de Engenheiros do Exército Americano;

USBR - *United States Bureau of Reclamation*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Escala de variação dos atributos de Risco Temido.....	09
Figura 3.2. Escala de graus ou atributos de Risco Desconhecido.....	09
Figura 3.3. Localização de 35 “tecnologias” quantificada a partir do cruzamento dos fatores 1 e 2.....	10
Figura 3.4. Atividades quanto ao grau de regulamentação desejado.....	11
Figura 3.5. A articulação entre especialistas e decisão.....	14
Figura 3.6. A articulação entre os atores da sociedade civil.....	14
Figura 3.7. Um modelo de impacto de eventos indesejáveis.....	16
Figura 3.8. Principais fatores geradores de riscos.....	17
Figura 3.9. As relações entre riscos e crises; os ensinamentos do acúmulo de experiência.....	19
Figura 3.10. Organograma do CONDEC.....	35
Figura 3.11. Operacionalização da Sala de Situação da ANA.....	44
Figura 3.12. Hipóteses clássicas de previsão de chuvas.....	50
Figura 3.13. Localização dos postos pluviométricos e fluviométricos na área em estudo.....	53
Figura 4.1. Inter-relação entre os componentes do Gerenciamento de Risco.....	57
Figura 4.2. A Avaliação de Risco e suas fases.....	58
Figura 4.3. Fatores contribuintes para falhas estática ou hidrológica.....	63
Figura 4.4. Processo típico de avaliação de risco em barragens.....	82
Figura 4.5. Processo típico de um portfólio de avaliação de risco.....	89
Figura 5.1. A avaliação de risco e a abordagem tradicional.....	107
Figura 5.2. Exemplos de incertezas associadas à análise de risco em barragens.....	109
Figura 5.3. Benefícios do raciocínio focado em valores.....	114
Figura 5.4. Exemplo de Árvore de Decisão.....	122

Figura 5.5. Exemplo de Diagrama de Influência.....	123
Figura 5.6. Resumo da Metodologia RIC.....	127
Figura 5.7. Modelo esquemático de uma árvore de falha e de eventos.....	139
Figura 5.8. Um exemplo do método da árvore de falha.....	139
Figura 5.9. Função de densidade de probabilidade e função acumulada de probabilidade da distribuição normal, com $\theta_1=8$ e $\theta_2=1$	141
Figura 5.10. Exemplos de funções de densidade de probabilidade Log-Normal.....	143
Figura 5.11. Funções densidade de probabilidade e funções de probabilidades acumuladas para $\theta=2$ e $\theta=4$	144
Figura 5.12. Exemplos de funções densidades de probabilidades da distribuição Gamma..	146
Figura 6.1. Etapas para elaboração do IPRB.....	151
Figura 6.2. Aceitação de riscos involuntários em função dos benefícios à comunidade.....	159
Figura 6.3. Guia para risco social para barragens existentes.....	160
Figura 6.4. Guia para risco social para novas barragens.....	161
Figura 6.5. Funções probabilidades acumuladas para as distribuições Empírica, Normal, Log-Normal e Gamma para o subcritério Altura (I_1).....	168
Figura 6.6. Distribuição probabilidade acumulada da distribuição Gamma, para o subcritério I_1	168
Figura 6.7. Função de valor probabilística para o subcritério I_1 - Altura da Barragem, descrita pela distribuição Gamma.....	169
Figura 6.8. Funções de probabilidades acumuladas para a série de volumes dos reservatórios, para as distribuições Log-Gamma, Log-Normal, Log-Exponencial e Log-Empírica.....	170
Figura 6.9. Função de valor probabilística para o subcritério I_2 – Volume do Reservatório, representada pela densidade de probabilidade para a distribuição Log-Normal.....	170
Figura 6.10. Função de probabilidade acumulada para as distribuições empírica e exponencial para o subcritério I_3 - Comprimento da barragem.....	171

Figura 6.11. Função de valor probabilística para subcritério I_3 - Comprimento da Barragem, representada por uma distribuição exponencial.....	172
Figura 6.12. Função de valor probabilística para o subcritério I_4 - Tipo de Material.....	172
Figura 6.13. Função de valor probabilística para o subcritério I_5 - Tipo de Fundação.....	173
Figura 6.14. Função de valor probabilística para o subcritério I_6 - Tipo de Vertedor.....	174
Figura 6.15. Funções de probabilidades acumuladas para as distribuições: Empírica, Log-Normal e Log-Exponencial para o subcritério E_1 - Idade da barragem.....	175
Figura 6.16. Função de valor probabilística para o subcritério E_1 - Idade da barragem, descrita pela distribuição Log-Normal.....	175
Figura 6.17. Função de valor probabilística pra o subcritério D_2 - Condições Gerais.....	176
Figura 6.18. Estrutura constituinte do IPRB.....	178
Figura 6.19. Porcentagem de barramentos em estudo por localidade.....	180
Figura 6.20. Localização dos barramentos em estudo.....	182
Figura 6.21. As sub-bacias dos barramentos em estudo.....	183
Figura 6.22. Imagem de satélite da área em estudo.....	184
Figura 6.23. IDH-M das localidades.....	188
Figura 6.24. Finalidade construtiva dos barramentos em estudo.....	189
Figura 6.25. Uso e ocupação do solo a jusante dos barramentos em estudo.....	189
Figura 6.26. TR dos órgãos de descarga dos barramentos em estudo.....	190
Figura 6.27. Causa das condições anômalas dos barramentos em estudo.....	191
Figura 7.1. Os barramentos em estudos localizados no mapa litológico da região.....	198
Figura 7.2. Distribuição geográfica da sismicidade com magnitude superior a 5 para o período 1980-1999 que ilustram quais são as zonas tectonicamente ativas.....	207
Figura 7.3. Classificação de risco das barragens estudadas na bacia do PCJ.....	222
Figura 7.4. Causas da classificação de risco das barragens estudadas no PCJ.....	222

Figura 7.5. Causa da classificação de risco das barragens estudadas do PCJ por categoria de risco.....	223
Figura 7.6. Classificação de risco das barragens em estudo.....	227
Figura 7.7. Causas da classificação de risco das barragens em estudo.....	227
Figura 7.8. Causa da classificação de risco das barragens em estudo por categoria de risco.....	228

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Hierarquização dos Riscos Percebidos.....	08
Tabela 3.2. Glossário de termos sobre o tema Risco.....	13
Tabela 3.3. Alguns fatores de Vulnerabilidade.....	19
Tabela 3.4. Órgãos integrantes do plenário do CONDEC.....	36
Tabela 3.5. Intensidade dos danos humanos.....	39
Tabela 3.6. Intensidade dos danos materiais.....	39
Tabela 3.7. Intensidade dos danos ambientais.....	39
Tabela 3.8. Ponderação dos prejuízos econômicos.....	40
Tabela 3.9. Ponderação dos prejuízos sociais.....	40
Tabela 3.10. Desastre Nível 1 – Pequena Intensidade ou Acidente.....	41
Tabela 3.11. Desastre Nível 2 – Média Intensidade.....	41
Tabela 3.12. Desastre Nível 3 – Grande Intensidade.....	41
Tabela 3.13. Desastre Nível 4 – Muito Grande Intensidade.....	41
Tabela 4.1. Glossário dos principais termos relacionados ao Gerenciamento de Risco em Segurança de Barragens.....	56
Tabela 4.2. Os Participantes no Gerenciamento de Risco e seus Papéis.....	59
Tabela 4.3. Os diferentes atores e questões a serem respondidas no processo de avaliação de risco em barragens.....	60
Tabela 4.4. Exemplos de descrições verbais de incertezas.....	67
Tabela 4.5. Aspectos de segurança relacionados à fatores humanos.....	76
Tabela 4.6. Classificação das falhas humanas.....	76
Tabela 4.7. Impactos Incomensuráveis.....	92
Tabela 4.8. Impactos Intangíveis.....	93
Tabela 5.1. Abordagens de Avaliação de Risco em Barragens.....	108

Tabela 5.2. Estratégias para identificar os Elementos Primários de Avaliação (EPAs).....	115
Tabela 5.3. Resumo dos Pontos Fortes e Fracos da IMF.....	119
Tabela 5.4. Resumo dos Pontos Fortes e Fracos do IP.....	120
Tabela 5.5. Resumo dos Pontos Fortes e Fracos do PAR.....	120
Tabela 5.6. Resumo dos Pontos Fortes e Fracos da AQR.....	123
Tabela 5.7. Níveis de Avaliações de Risco.....	124
Tabela 5.8. Níveis de <i>inputs</i> de engenharia necessários à avaliação de risco.....	125
Tabela 5.9. Níveis das conseqüências avaliadas das avaliações de risco.....	126
Tabela 5.10. Métodos de Avaliação de Risco.....	126
Tabela 5.11. Características Intrínsecas (I_1 =Altura da Barragem).....	128
Tabela 5.12. Características Intrínsecas (I_2 =Tipo de Barragem).....	128
Tabela 5.13. Características Intrínsecas (I_3 =Tipo de Fundação).....	129
Tabela 5.14. Características Intrínsecas (I_4 =Capacidade do Reservatório).....	129
Tabela 5.15. Características Extrínsecas (E_1 =Idade da Barragem).....	129
Tabela 5.16. Características Extrínsecas (E_2 =Sismicidade).....	129
Tabela 5.17. Características de Projeto (D_1 =Adequação dos Órgãos de Descarga).....	130
Tabela 5.18. Características de Projeto (D_2 = Instabilidade do Maciço).....	130
Tabela 5.19. Algumas condições físicas que podem levar barragens de material solto a falhar.....	131
Tabela 5.20. Probabilidades prévias para os modos de falha.....	131
Tabela 5.21. Probabilidades condicionadas dos atributos.....	132
Tabela 5.22. Cálculo hipotético de importância relativa das condições físicas.....	133
Tabela 5.23. Escalas de Condição de Funcionalidade.....	134
Tabela 5.24. <i>Checklist</i> para a inspeção da condição da capacidade do vertedor.....	134
Tabela 5.25. <i>Checklist</i> para a inspeção da perda de borda livre.....	135

Tabela 5.26. <i>Checklist</i> para a inspeção da perda de funcionalidade da descarga de fundo.....	135
Tabela 5.27. <i>Checklist</i> para a inspeção de erosão no vertedor.....	135
Tabela 5.28. <i>Checklist</i> para a inspeção da perda de material da superfície de proteção do maciço.....	136
Tabela 5.29. <i>Checklist</i> para a inspeção de <i>piping</i> no maciço.....	136
Tabela 5.30. <i>Checklist</i> para a inspeção de <i>piping</i> na fundação.....	136
Tabela 5.31. <i>Checklist</i> para a verificação de movimentação do maciço.....	137
Tabela 5.32. <i>Checklist</i> para a verificação de movimentação do maciço e fundação.....	137
Tabela 6.1. Critérios e subcritérios de avaliação do IPRB.....	152
Tabela 6.2. Parâmetros de valoração do subcritério I_5 – Tipo de Fundação.....	154
Tabela 6.3. Valoração do grau de aceitação do risco.....	156
Tabela 6.4. Valoração das consequências de um incidente/acidente com o barramento....	157
Tabela 6.5. 15 Maiores probabilidades de morte.....	158
Tabela 6.6. Condições Gerais a serem observadas para valorar o atributo D_2	162
Tabela 6.7. Probabilidades de ocorrência associadas a cada Modo de Falha para o cálculo do IPRB.....	163
Tabela 6.8. Associação dos subcritérios aos modos de falha.....	164
Tabela 6.9. Atribuição das Probabilidades dos subcritérios associadas aos modos de falha.....	166
Tabela 6.10. Série histórica utilizada para a determinação das funções de valor probabilísticas.....	167
Tabela 6.11. Descritivo das categorias das Condições Gerais.....	176
Tabela 6.12. Associação das condições gerais à descrição das categorias.....	177
Tabela 6.13. Informações relativas as barragens em estudo necessárias ao cálculo do IPRB.....	179
Tabela 6.14. Localização dos barramentos em estudo.....	181

Tabela 6.15. Atributos dos barramentos em estudo.....	185
Tabela 7.1. Valoração do grau de aceitação de risco para os barramentos em estudo.....	193
Tabela 7.2. Valoração das consequências de um incidente/acidente com os barramentos em estudo.....	194
Tabela 7.3. Valores correspondentes do grau de desenvolvimento do município, finalidade e uso e ocupação do solo.....	195
Tabela 7.4. Cálculo dos coeficiente β_1 para a determinação subcritério Risco Sociológico E_2	196
Tabela 7.5. Valoração do subcritério D_1 – TR dos órgãos de descarga.....	197
Tabela 7.6. Valoração dos subcritérios do IPRB.....	199
Tabela 7.7. Cálculo das probabilidades de ocorrência associadas a cada modo de falha para o cômputo do IPRB.....	200
Tabela 7.8. Atribuição das porcentagens das probabilidades dos subcritérios associadas aos modos de falha.....	201
Tabela 7.9. Atribuição das probabilidades dos subcritérios associadas aos modos de falha.....	202
Tabela 7.10. Resultados das probabilidades associadas aos subcritérios e aos modos de falha para o cálculo do IPRB.....	203
Tabela 7.11. Hierarquização dos barramentos em estudo dado pelo resultado do IPRB e a contribuição dos atributos para o resultado.....	205
Tabela 7.12. Contribuição média dos subcritérios no cômputo do risco oferecido pelas barragens em estudo.....	206
Tabela 7.13. Relação entre o tipo de fundação e a geologia da região em estudo.....	208
Tabela 7.14. Características intrínsecas em m^3 (I_4 Capacidade do Reservatório).....	208
Tabela 7.15. Cálculo da Vulnerabilidade (V), do Potencial de Dano (PD) e do Inventário ($I_{barragem}$).....	209
Tabela 7.16. Atribuição das probabilidades dos subcritérios associadas aos modos de falha do RIC.....	210

Tabela 7.17. Probabilidades condicionadas dos atributos.....	211
Tabela 7.18. Resultado do RI_j para os barramentos em estudo.....	212
Tabela 7.19. Porcentual de contribuição de cada fator probabilístico do RIC.....	213
Tabela 7.20. Condições gerais observadas nos barramentos em estudo.....	214
Tabela 7.21. Condições de funcionamento CF_j dos barramentos em estudo.....	215
Tabela 7.22. Resultados do RIC.....	216
Tabela 7.23. Causa da classificação de risco das barragens estudadas do PCJ por categoria de risco.....	223
Tabela 7.24. Risco atribuído entre os barramentos em estudo.....	224
Tabela 7.25. TR sugerido a partir dos cálculos hidráulicos/hidrológicos e grau de risco dos barramentos em estudo.....	225
Tabela 7.26. Causa da classificação de risco das barragens em estudo por categoria de risco.....	228
Tabela 7.27. Resultados obtidos pelo IPRB, RIC e <i>Ad Hoc</i>	230
Tabela 7.28. Comparação dos resultados obtidos pelo IPRB, RIC e <i>Ad Hoc</i> por faixas de valores.....	231

1) INTRODUÇÃO

...Atualmente, os riscos oferecidos por pequenas barragens excedem em muito os riscos oferecidos por reatores nucleares. Por que o último é temido e não o primeiro? Será porque estamos acostumados aos "velhos riscos" ...?

Wildavsky

O risco pode ser definido como um perigo ou uma possibilidade de perigo, que acarretará em alguma perda ou responsabilidade pelo dano. De uma maneira geral, tem-se uma idéia multidimensional do risco, de tal forma que no equacionamento de sua percepção entram conceitos tais como: voluntariedade, controle, potencial catastrófico, equidade e ameaça às gerações futuras.

Os riscos geralmente estão associados às diversas atividades executadas pelo homem, aos empreendimentos em geral, cujos funcionamentos estão cada vez mais atrelados à busca da segurança dos sistemas e na elaboração de cenários de acidentes. Portanto, todos os tipos de risco – econômicos, ambientais, industriais, tecnológicos, naturais - podem ser classificados como "riscos sociais". Não há risco sem uma população ou indivíduo que o perceba e que possa sofrer seus efeitos.

As zonas espaciais de risco podem ser traduzidas por mapas de risco, a serem trabalhados em diferentes escalas espaciais e temporais. São os cenários. O espaço físico onde pairam as ameaças não é neutro, pois se trata do lugar em que o risco, com toda sua potencialidade maléfica, se manifesta. A ocorrência e a intensidade dos desastres dependem muito mais dos graus de vulnerabilidade dos cenários e das comunidades afetadas do que da magnitude dos eventos adversos. Por exemplo, um terremoto com a mesma magnitude - 3.8- provocou 5 mil óbitos na Califórnia, 20 mil no Cairo e 40 mil na Armênia.

A partir da constatação de que os desastres podem e devem ser minimizados, pode ocorrer uma mudança cultural relacionada ao grau de risco tolerado ou desejado. Deste modo, a percepção de riscos é diretamente proporcional ao grau de desenvolvimento social de uma determinada comunidade ou de um grupo populacional, considerado em seus aspectos psicológicos, éticos, culturais, econômicos, tecnológicos e políticos. Os desastres tendem a aumentar a dívida social, visto que as pessoas de menor poder aquisitivo são a maioria de suas vítimas, seja por viverem em áreas de riscos ou por não terem a percepção

global de seus efeitos ou, ainda, mesmo que o percebam, o encaram com certo fatalismo.

Em análises de risco, uma questão a ser observada e quantificada são as consequências de um dado risco. Nos casos de enchentes, por exemplo, vulnerabilidades municipais estão relacionadas principalmente ao uso e ocupação desordenado do solo, até mesmo em áreas não edificáveis, com total desrespeito às leis de zoneamento urbano. Assim como no exemplo do terremoto, uma mesma quantidade de chuva em municípios diferentes pode causar danos humanos, ambientais e materiais completamente diferentes.

Ainda, aparentemente, a proteção parcial oferecida por barragens proporciona à população uma falsa sensação de segurança e, assim, promove uma grande ocupação em áreas situadas em planícies de inundação. Como resultado, os estragos social, ambiental e econômico chegam a proporções catastróficas quando uma cheia extraordinária excede a capacidade de descarga do vertedor ou sua avaliação de segurança não é realizada periodicamente. Nestes casos, a estrutura passa a não mais apresentar condições físicas favoráveis ao desempenho de sua função.

Como exemplo de um estrago ambiental, cita-se o acidente envolvendo a barragem de rejeitos da Indústria Cataguases de Papel e Celulose, ocorrido há mais de cinco anos e que foi amplamente divulgado pela mídia televisiva e escrita. É importante mencioná-lo, uma vez que foi considerado como um dos maiores desastres ecológicos em água doce registrados no Brasil. Um grave derramamento de mais de 1 bilhão de litros de resíduos tóxicos provenientes do referido reservatório, localizado no rio Pomba, ocorreu no dia 29/03/2003. A mancha de poluição, que alcançou cerca de 50 km de extensão, atingiu, também, as águas do rio Paraíba do Sul, ao norte do Estado do Rio de Janeiro, afetando o ecossistema local e trazendo prejuízos às comunidades ribeirinhas, sendo os reflexos detectados sentidos até sua foz, no Oceano Atlântico.

Em 28 de maio de 2009, a barragem Algodões 1 rompeu e alagou a cidade de Cocal da Estação (PI). A abertura de uma fenda de 50 metros liberou as águas armazenadas do rio Pirangi, que abastece a barragem. Chuvas fortes que atingiam o Ceará, onde está localizada a nascente do curso d'água, aumentaram o nível de água no local da barragem. O risco iminente de rompimento da barragem obrigou cerca de 2.600 famílias a deixarem suas casas. Como consequência, teve-se quatro mortes e 600 famílias ficaram desalojadas, segundo diversas fontes jornalísticas.

Onde há a realização de inventários de barragens obtidos por meio de avaliações periódicas de segurança, observa-se que um número cada vez menor de barragens tem entrado em colapso, se comparadas à quantidade de estruturas existentes. Então, pode-se afirmar que, nestes países, no que se refere à segurança de barragens, o êxito da prevenção tem sido crescente ao longo do tempo.

Este êxito no campo da segurança de barragens deve ser atribuído à promoção de um processo de conformidade e de adaptação dos conhecimentos disponíveis na área da análise de riscos. A análise de risco não visa substituir a abordagem tradicional de avaliação de segurança de barragens, mas o enquadramento das estruturas. Com isso, espera-se uma melhora da segurança das estruturas e das suas condições de funcionalidade, uma gestão mais eficiente na alocação de recursos e, ainda, a satisfação de exigências sociais.

Porém, sabe-se que a segurança plena e absoluta do projeto, da construção e da exploração de barragens é inatingível. No entanto, se deseja e se espera que o nível de segurança seja o maior possível, com os níveis de risco menores. Contudo, os aspectos mais relevantes a serem avaliados, para não se atingir um limite insuportável de insegurança, são, pela ordem: a funcionalidade da estrutura, sua durabilidade e a economia nas ações mitigadoras de risco, visto que os recursos geralmente são poucos.

Respondendo à pergunta inicial proposta por Wildavsky: não, não estamos acostumados aos velhos riscos. Apenas conhecemos suas causas e efeitos mais intimamente. Os riscos oferecidos por barragens são sustentáveis e por isso, em algumas sociedades, há uma certa tolerância aos seus efeitos adversos. Medidas preventivas são essenciais para minimizar o desastre. Assim sendo, a vulnerabilidade ao desastre será menor e a sua ocorrência irá resultar em danos, prejuízos e mazelas sociais menores. Daí a importância de se elaborar ferramentas capazes de auxiliar na previsão de riscos potenciais, como a que será proposta neste estudo. O cerne do reino dos riscos é a sua prevenção.

2) OBJETIVOS

"O risco percebido é quantificável e previsível."

Slovic

O objetivo desse estudo é propor um índice de risco para pequenas barragens de material solto (terra, enrocamento ou mista das duas) – o IPRB - por se tratar de uma valiosa ferramenta no auxílio ao gerenciamento de risco em barragens. Para tal, dever-se-á incorporar em sua concepção e algoritmo as qualidades inerentes a este tipo de ferramenta de avaliação de risco. Desta forma, suas características deverão ser:

1. Baixo custo de utilização;
2. Seus resultados deverão nortear quais barragens necessitam de estudos posteriores mais aprofundados;
3. Ajudar a estabelecer quais estruturas requerem vigilância e monitoramento mais de perto;
4. Promover meios de hierarquizar ações que visem a segurança da estrutura;
5. Proporcionar uma ferramenta que possibilite um processo sistemático de avaliação de segurança de barragens; e
6. Incorporar substancialidade em seu algoritmo.

3) O RISCO SOCIOLOGICO

"E, diz que Deus, diz que dá. Diz que Deus, dará. Mas, se Deus não dá? Como é que vai ficar..."

Caetano Veloso

3.1) O Risco e a sua Percepção

A sobrevivência de quaisquer seres vivos é auxiliada por sua habilidade em codificar e aprender com experiências passadas. A habilidade em sentir e evitar condições ambientais adversas é necessária à manutenção de suas vidas. Dentre todos, o ser humano possui uma capacidade adicional que o permite alterar o meio ambiente e ir se readaptando a sua nova condição. Esta capacidade tanto ajuda a criar como a diminuir riscos.

O risco pode ser definido como a percepção do perigo, de uma catástrofe possível, de uma crise potencial. Não há risco sem uma população ou indivíduo que o perceba e imagine suas consequências para si e/ou para a coletividade (Veyret, 2003, pg. 11). De certa forma, os riscos percebidos medem o grau de sofisticação de percepções de uma sociedade. O domínio dos riscos está embasado em três elementos: a precaução (com a identificação), a prevenção (com a caracterização) e a indenização.

Sociólogos e antropólogos demonstraram que a percepção e aceitação de qualquer risco tem suas origens calçadas em fatores sociais e culturais. A resposta diante a periculosidade é mediada por influências sociais, transmitidas por amigos, familiares, companheiros de trabalho e oficiais públicos respeitáveis (polícia, bombeiros, defesa civil). Dificuldades em entender os processos probabilísticos, influência da mídia, experiências pessoais mal interpretadas e ansiedades generalizadas levam as pessoas à negação de incertezas e mau julgamento sobre os riscos, para mais ou para menos.

Os riscos costumam ser quantificáveis pela conjunção da aceitação ou não dos riscos corridos e dos benefícios gerados por uma dada tecnologia ou atividade. Como exemplo dos benefícios gerados no caso da construção de barragens, pode-se citar o controle de cheias e a regulação da vazão para garantia ou melhoria das condições ambientais e a garantia no abastecimento de água para os diversos fins, entre outras. A aceitação de um risco, ou concordância em correr um risco, é proporcional a 10^3 vezes aos benefícios gerados por esta mesma atividade. Indivíduos tendem a tolerar melhor os riscos originados por atividades voluntárias (ex.: natação), por julgarem estes riscos "controláveis". O risco voluntário é

tolerado cerca de 10^3 vezes mais do que riscos involuntários, que são relacionados à efeitos adversos desconhecidos (ex.: rompimento de barragem), mesmo que as atividades que os geram tragam bons níveis de benefícios (Slovic, 2000).

A **Tabela 3.1** traz o ordenamento de 19 “tecnologias” quanto ao seu grau de periculosidade percebida ou risco oferecido em uma pesquisa realizada nos EUA. As grandes barragens ficaram na 7ª posição (Grandes Obras de Engenharia) entre as atividades mais perigosas, segundo a percepção do risco oferecido por tecnologias.

Tabela 3.1. Hierarquização de riscos percebidos.

Risco Percebido	Tecnologia
1º	Energia Nuclear
2º	Veículos Automotivos
3º	Revólveres
4º	Motocicletas
5º	Aviação Privada
6º	Pesticidas
7º	Grandes Obras de Engenharia
8º	Latas de Spray
9º	Bicicletas
10º	Aviação Comercial
11º	Energia Elétrica
12º	Contraceptivos
13º	Raios X
14º	Ferrovias
15º	Conservantes Alimentícios
16º	Corantes Alimentícios
17º	Ceifadeiras
18º	Eletrodomésticos
19º	Vacinas

Fonte: Slovic (2000).

A percepção do risco por indivíduos pode ser ilustrada a partir da compilação dos resultados conseguidos pela aplicação de uma metodologia, que mede o grau de compreensão dos riscos corridos, realizada com pessoas entre leigas e especialistas. Suas opiniões foram quantificadas a partir do julgamento da combinação de dois conjuntos (Fator 1 e Fator 2) de qualificações de risco, ou atributos de risco, sobre tecnologias ou atividades geradoras de risco. De acordo com este estudo, as grandes barragens são a 36ª “atividade” mais perigosa.

O Fator 1, ou Risco Temido, contribuiu com 10 atributos qualitativos. São eles: incontrolável, temido, catastrófico global, de consequências fatais, não equitativo,

catastrófico, comprometedor de gerações futuras, não reduzido facilmente, crescente e involuntário. A **Figura 3.1** mostra a escala de variação destes atributos.



Figura 3.1. Escala de variação dos atributos de Risco Temido.

O Fator 2, ou Risco Desconhecido, atribui 5 qualidades ao Risco Desconhecido, as quais são: invisíveis (ou não observáveis), desconhecidos, de efeitos retardado, novo e desconhecido pela ciência. A **Figura 3.2** mostra a escala de variação de atributos do risco desconhecido.



Figura 3.2. Escala de graus ou atributos de Risco Desconhecido.

A **Figura 3.3** ilustra a “localização” daquelas opiniões, em função do cruzamento dos fatores 1 (risco temido) e 2 (risco desconhecido). O Fator 1, ou Risco Temido, compõe o eixo com maior peso, ou seja, quanto maior a nota no eixo “x” que um atributo conseguir, maior será o seu risco potencial. Nota-se que o risco mais temido é gerado por guerra ou armas nucleares, seguido por acidentes com reatores nucleares. O medo de acidentes causados por grandes barragens ficou na 8ª posição dentre 35 atividades tecnológicas questionadas,

portanto, as preocupações com o risco oferecido por grandes barragens ficaram entre as 22 maiores (geralmente localizadas nos quadrantes direitos superior e inferior).



Figura 3.3. Localização de 35 “tecnologias” quantificada a partir do cruzamento dos fatores 1 e 2.

Os Riscos Percebidos podem, desta forma, ser quantificáveis. De uma maneira geral, é possível afirmar que as pessoas tendem a encarar os níveis de risco corrido como sendo inaceitavelmente altos para a maioria das atividades. A diferença entre os graus de risco percebido e risco desejado proporciona a medição de quão insatisfeitas as pessoas estão em relação ao custo-benefício adotado, a fim de medir a “aceitabilidade” de dado risco. Há uma pequena sistematização das relações entre as percepções do risco corrido e do benefício gerado, porém os indivíduos se mostram mais dispostos a correr riscos maiores por atividades que se percebem como extremamente benéficas.

Segundo Slovic (2000), qualificações ou atributos do risco percebido, tais como: familiaridade, controle, potencial catastrófico, equitatividade e nível de conhecimento ou

satélites e revólveres. As cores do fundo ajudam na percepção dos maiores graus de periculosidade; quanto mais escuro o quadrante, mais “crítico” o risco e portanto mais passível ao forte desejo por regulamentação da atividade.

Com a grande evolução tecnológica e científica do século XVIII e XIX, muitas sociedades vislumbraram que as catástrofes de origens naturais poderiam ser evitadas. Vislumbrava-se a possibilidade de se atingir a segurança total, o “risco zero”, pois se acreditava que todo aquele desenvolvimento faria com que as incertezas simplesmente desaparecessem (Veyret, 2003, pg. 14).

Ironicamente, toda a sofisticação técnica proporcionou a percepção de que os riscos estão em toda a parte. Os perigos outrora percebidos como exclusivamente gerados pela natureza passaram a ser entendidos como resultado de ações antropogênicas. Desta forma, o conceito de “risco zero” é desacreditado e pensa-se na necessidade de gerir os riscos.

Esta idéia está fortemente associada ao século XX e pode ser dividida em três fases distintas: a idéia de crise relacionada a aspectos ecológicos (ou impacto das sociedades sobre a natureza), a segurança ambiental com o desenvolvimento do aspecto técnico do risco (década de 1980, com o surgimento do termo Cindínica – abordagem multidisciplinar e sistêmica do risco) e a fase do surgimento da gestão do risco com *“a implantação comum e negociada de uma segurança coletiva que permite a estruturação dos elos sociais”* (Veyret, 2003, pg. 16).

Na verdade, a “criação” da gestão do risco deveu-se ao grande desenvolvimento de tecnologias químicas e nucleares que incrementou a potencialidade de ocorrência de danos graves e de longa duração, à Terra e às formas de vida que a habitam, mais efetivamente a partir da segunda metade do século XX. Os mecanismos que compõem estas tecnologias complexas são estranhos e incompreensíveis para a maioria dos cidadãos.

Contudo, as incertezas e dificuldades em gerenciar os riscos associados às tecnologias mais avançadas motivaram a criação de uma nova disciplina, denominada de Avaliação de Risco. Foi, portanto, concebida para ajudar na identificação, caracterização e quantificação de riscos. Trata-se de uma ferramenta de auxílio aos interessados em manter a segurança dos cidadãos, que busca entender como as pessoas, de uma maneira geral, encaram e respondem aos riscos aos quais estão expostas.

Surge, desta forma, toda uma nomenclatura relacionada ao risco, a qual se encontra na **Tabela 3.2**.

Tabela 3.2. Glossário de termos sobre o tema Risco.

Glossário de Termos	
Risco	Percepção de um perigo possível, mais ou menos previsível por um grupo social ou por um indivíduo que tenha sido exposto à ele. Deve-se conhecer os acontecimentos que podem se produzir, assim como sua probabilidade de ocorrência.
Incerteza	Define a possibilidade de ocorrer um acontecimento perigoso sem que se conheça sua probabilidade. Em sociologia, usa-se o termo “probabilidade subjetiva”.
Indeterminação	Situação em que um acontecimento desconhecido poderia acontecer, ou seja, desconhece-se todas as variáveis possíveis de ocorrência.
Álea	Acontecimento possível; pode ser um processo natural, tecnológico, social, econômico e sua probabilidade de realização. Se vários acontecimentos são possíveis, fala-se de um conjunto de áleas. O termo utilizado em inglês é <i>hazard</i> (álea natural). Usa-se também o termo <i>perigo</i> , mais especificamente quando trata de riscos tecnológicos.
Perigo	Empregado para definir as consequências objetivas de uma álea sobre um indivíduo, um grupo de indivíduos, sobre a organização do território ou sobre o meio ambiente. Fato potencial e objetivo.
Cindínica (do grego <i>kindunos</i> , perigo)	Designa uma abordagem do risco que se pretende avaliar de forma multidisciplinar e sistêmica. Termo empregado a partir dos anos 80, por Keven.
Alvo	Elementos ou sistemas que estão sob a ameaça de áleas de natureza variada. Trata-se de pessoas, bens, equipamentos, meios ambientes. Ameaçados pela álea, esses diferentes elementos são susceptíveis de sofrer danos e prejuízos.
Vulnerabilidade	Magnitude do impacto previsível de uma álea sobre os alvos. Mede os impactos danosos do acontecimento sobre os alvos afetados. Pode ser humana, socioeconômica e ambiental.
Crise	Realização concreta, material de um álea cuja amplitude excede a capacidade de gestão espontânea da sociedade que sofre este evento.
Catástrofe (do grego <i>katastrophê</i> , devastação)	É definida em função da amplitude das perdas causadas às pessoas e aos bens. Não há necessariamente correlação entre importância de uma álea e a magnitude dos danos.

Fonte: Veyret e Richemond, 2003, pg.24.

O primeiro passo em direção à gestão do risco consiste na identificação e precisão dos danos potenciais, geralmente realizado por especialistas, cujo afã é, muitas vezes, impulsionado por forças políticas. Esta fase foi denominada por Veyret e Richemont (2003) como “conversão em risco”, ou seja, a transformação de um perigo ou álea (termo originário, provavelmente, como desdobramento da palavra aleatório, ou seja, algo que repousa sobre um acontecimento incerto, fortuito) em um risco. A **Figura 3.5** mostra a articulação necessária entre especialistas e decisores.

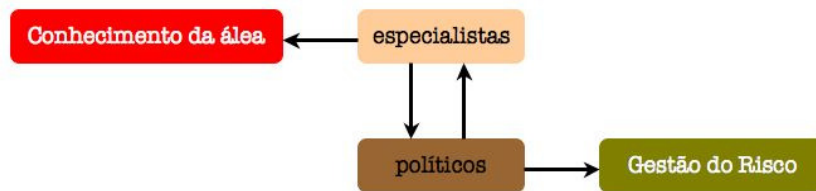


Figura 3.5. A articulação entre especialistas e decisores. Fonte: Veyret, 2003, pg.17.

O segundo passo consiste na definição dos papéis de cada agente no gerenciamento do risco. Os agentes sociais, ou grupo de pessoas, podem ser definidos como aqueles que percebem um risco e cobram dos gestores de risco estudos especializados, a fim de quantificar os efeitos do risco percebido. Ou seja, eles deverão desempenhar o papel de desencadeadores de alertas, denunciadores de perigos para que nasçam debates públicos e, mesmo que não intencionalmente, farão surgir oportunidades de negócios. Esta é a fase de estabelecimento de responsabilidades (Veyret, 2003). A **Figura 3.6** mostra a articulação necessária entre os atores da sociedade civil.

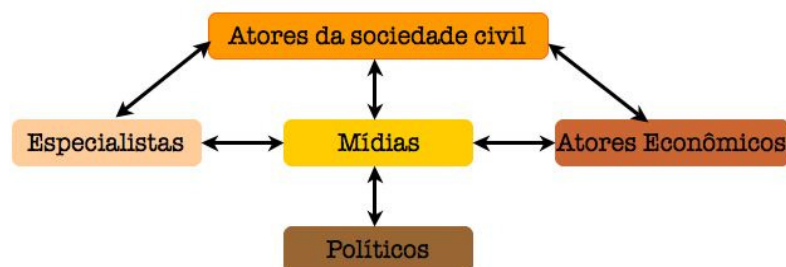


Figura 3.6. A articulação entre os atores da sociedade civil. Fonte: Veyret, 2003, pg.18.

O terceiro e último passo consiste na busca e análise de dados disponíveis (séries estatísticas, probabilidades, mapas, pesquisas de opinião, relatórios de seguradoras ...) para a chamada fase de “construção do risco”. Para gerir um risco é necessário, invariavelmente, construí-lo (Veyret, 2003, pg.18).

Contudo, pode-se concluir que o risco pode ser analisado em três níveis: sob sua representação (fase da conversão em risco), sob a análise dos atores (fase da percepção do risco pelos diferentes atores sociais) e sob a prática do gerenciamento e planejamento (fase de construção do risco).

A avaliação de risco é feita a partir de valores e julgamentos sociais, na ocasião de quantificar o risco aceitável associado à possíveis danos sociais, ambientais e econômicos. É definido pelos diferentes agentes sociais, que devem ser considerados e suas opiniões quantificadas. O processo de estimativa de um dado risco (*estimado* ou *esperado*) é necessário para identificar uma gama de alternativas para se gerenciar o risco (Slunga, 2001). Pistas sobre esses “valores sociais” podem ser encontradas em regulamentações legais (leis, códigos, resoluções), que apresentam indicativos de códigos éticos sociais.

Frequentemente, a estimativa do risco requer um balanço entre interesses e considerações de ordens diversas; em geral, a redução do risco implica na redução de benefícios. O risco sociológico tem como objetivo considerar a aversão da sociedade a desastres que envolvam fatalidades múltiplas. Nesta ocasião, fatores sociais (re-assentamento involuntário da população, a descontinuidade de seu sistema produtivo e estilo de vida) e físicos (mudanças na quantidade e qualidade da água, acidentes diretos ou indiretos - acidentes relacionados) precisam ser levados em consideração.

Portanto, a aceitação do risco é uma informação pré-estabelecida, que pondera as probabilidades e consequências de um risco em particular. A aceitação do risco está ligada a avaliação de redução de riscos e trata-se de uma base para decidir quais riscos residuais serão aceitos pela comunidade afetada. Onde fatalidades são esperadas, o público afetado deverá ser consultado, no processo final de tomada de decisão.

Para tal, costuma-se empregar metodologias de avaliações de risco, a fim de julgar o “grau” de periculosidade de, por exemplo, certa substância, atividade ou tecnologia. Métodos intuitivos de julgamento de risco (ou “percepção do risco”) são aplicados pela maioria dos cidadãos. Para estes, a experiência relacionada à periculosidades está diretamente ligada à assuntos tratados pela mídia, o que, geralmente, documenta infortúnios e ameaças que acontecem ao redor do mundo.

Por exemplo, o medo nuclear mundial que ocorreu após os acidentes nas Usinas Nucleares de *Three Mile Island*, na Pensilvânia, nos EUA, em 1979, e de Chernobil, na Ucrânia, ex-União Soviética, em 1986. O conhecido acidente de Chernobil é considerado o pior acidente nuclear da história da energia nuclear. O governo soviético procurou esconder o fato da comunidade mundial, até que a radiação em altos níveis foi detectada em outros países. Produziu uma nuvem de radioatividade que atingiu a ex.União Soviética, Europa Oriental, Escandinávia e Reino Unido. Grandes áreas da Ucrânia, Bielorrússia e Rússia foram

muito contaminadas, resultando na evacuação e re-assentamento de aproximadamente 200 mil pessoas, além de provocar inúmeros casos de câncer¹.

A percepção geral dos norte-americanos, certamente reforçada pelos eventos terroristas de 11 de setembro de 2001, é a de que se corre mais riscos hoje do que num passado não muito distante e os riscos de amanhã serão ainda maiores. Similarmente, a mesma sensação parece afligir populações de outras partes industrializadas do globo. Esta visão é abertamente contrária à dos avaliadores profissionais de risco.

A análise típica de risco modela os impactos de um evento indesejado (acidentes, poluição, vazamentos), em termos do número de vítimas diretamente afetadas em caso de acidente (mortes, machucaduras e/ou danos). Entretanto, os impactos de tais eventos, muitas vezes, extrapolam os danos diretos e podem causar danos e, consequentes, custos indiretos significativos (monetários ou não), aos órgãos responsáveis pela fiscalização ou às companhias que “iniciaram” tal evento. A **Figura 3.7.** ilustra um modelo de propagação de um evento indesejável.

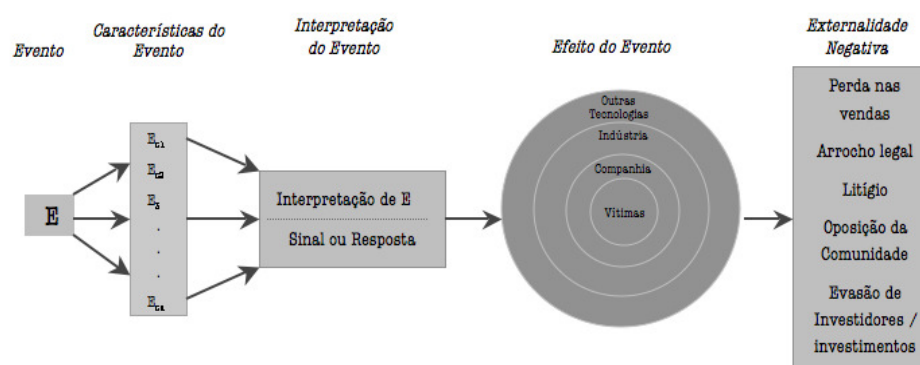


Figura 3.7. Um modelo de impacto de eventos indesejáveis. Fonte: Slovic, 2000.

Mas, segundo Veyret (2003), *o risco onipresente na sociedade mundial pode tornar-se um fator de crescimento econômico*. Isto porque, o gerenciamento do risco requer uma articulação criada sob fortes elos sociais e, ainda, uma grande organização e articulação dos diferentes atores, o que indubitavelmente gera condições propícias ao desenvolvimento econômico e social.

O risco designa tanto um perigo passível de acontecimento quanto sua percepção. Ainda, indica uma situação percebida como perigosa na qual se está ou cujas consequências

¹ Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Acidente_nuclear_de_Chernobil, Acidente nuclear de Chernobil, 02/04/2008.

podem ser sentidas. Não pode ser abordado sem que se considere o contexto histórico que o produziu, suas relações com o espaço geográfico, os modos de ocupação do território e as relações sociais características, fora de uma dimensão temporal. Basicamente, isto se deve à cultura técnica vigente na época.

Um dos maiores desafios é descobrir as características ou atributos associados a um dado evento e como minimizar seus possíveis impactos (ou, suas externalidades negativas). É ponto crucial observar que a abordagem econômica tradicional do “custo-benefício” e a análise de risco tendem a negligenciar a magnitude das externalidades negativas causadas por atividades com grande riscos (temido X desconhecido) associados (exemplo de Chernobil, já citado). Consequentemente, os custos indiretos são sub-estimados, gerando, entre outros possíveis impedimentos ou empecilhos futuros, devido uma forte reação da sociedade.

Os riscos da contemporaneidade resultam das complexas sistemáticas que caracterizam as sociedades (sistemas urbanos de escoamento de pessoas e mercadorias, redes de transportes, de água, de esgoto, de telefonia, ...). Eles estão presentes em toda a parte, para a sociedade civil, para aqueles que tomam decisões e para políticos.

A **Figura 3.8** ilustra os principais riscos enfrentados pelas nações ao redor do mundo.

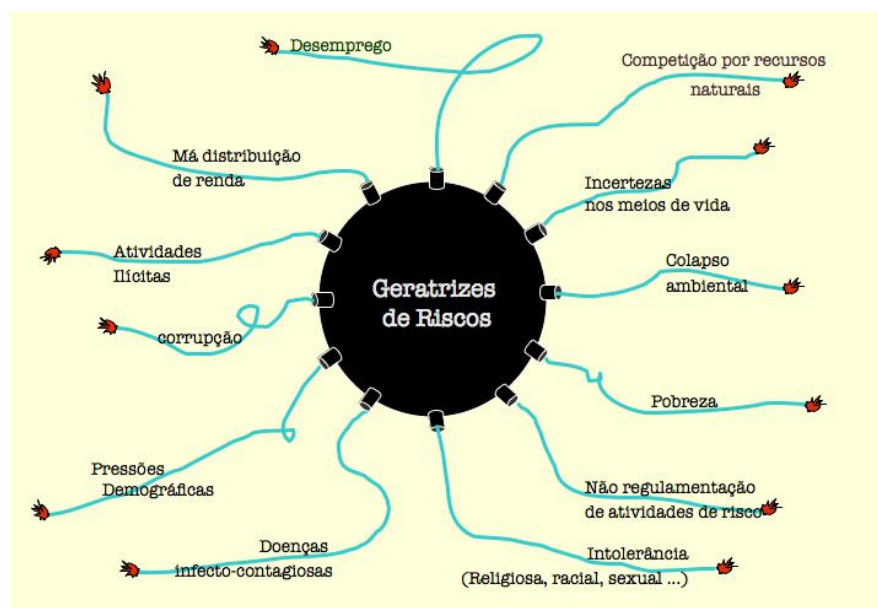


Figura 3.8. Principais fatores geradores de riscos.

A forma como a organização espacial se estabelece, a distribuição da renda, o uso dos recursos naturais, entre outros fatores talvez menos relevantes, encerram sempre em certas doses de risco. Porém, um acontecimento produzido de maneira totalmente aleatória não pode fazer parte de uma política de prevenção.

Desta forma, um perigo potencial só se torna um risco quando se torna previsível (risco criado). A informação estatística ocupa um lugar de grande destaque na definição de um risco e ela deve ser fundamentada em dados homogêneos e confiáveis. O risco analisável é dinâmico, leva em consideração aspectos relacionados ao modo de intervenção ou preparação perante seu enfrentamento, depende de sua frequência e intensidade de ocorrência (Veyret e Richemond, 2003, pg. 30).

O conhecimento de um risco depende de um conhecimento empírico dos acidentes potenciais. Demanda, desta forma, um profundo estudo de acontecimentos similares ocorridos no passado, para que se possa ter uma base de dados verdadeira e tempos de retorno confiáveis, ou seja, definidos com precisão.

Um risco quantificado é importante para tranquilizar a população a ele exposta, pois ela passa a ter consciência de suas vulnerabilidades. A vulnerabilidade, segundo Veyret e Richemond (2003), mede-se pela estimativa dos danos potenciais que podem afetar um alvo e está relacionada à perdas possíveis. Um alvo pode ser uma população ou elementos ou sistemas analisáveis em termos econômicos (sistemas produtivos, vias de comunicação, ...), ambientais (parques, paisagens culturais ...) ou estruturais (imóveis, obras de infraestrutura,...).

Em outras palavras, a vulnerabilidade pode ser traduzida em termos financeiros. Revela a fragilidade de um sistema em seu conjunto e sua capacidade para superar uma crise provocada por uma álea, ou seja, sua resiliência. Contudo, para que se possa segurar qualquer bem, é necessário determinar o seu grau de vulnerabilidade.

A **Tabela 3.3** traz alguns fatores de vulnerabilidade.

Tabela 3.3. Alguns fatores de vulnerabilidade.

Fatores de Vulnerabilidade	Aspectos Relativos aos Fatores
Fatores físicos ou ambientais de avaliação da vulnerabilidade.	Conhecimento e percepção do risco. Fatores sócio-econômicos da avaliação da vulnerabilidade.
Conhecimento de crises e catástrofes passadas.	Grau de aceitação do risco em função do nível de conhecimento, do nível econômico e da educação ... Ausência ou existência de uma educação para o risco e de preparação para a crise.
Intensidade do último acontecimento mais importante registrado.	Tecido social do bairro.
As zonas de impacto das áleas.	Presença de hospitais, postos de corpo de bombeiros.
As zonas onde os trabalhos de organização do território (aterros viários, contenção de encostas ...) foram feitos.	Existência de escolas, universidades, casas de repouso e, mais globalmente, equipamentos sociais de acolhimento ao público.
Natureza dos processos naturais, antrópicos, industriais em causa ...	Densidade da população. Estrutura etária, situação sanitária.
Presença de obras de infraestruturas	Rede de água, eletricidade e gás.
	Acessibilidade: redes de comunicação, telefone e de informação disponíveis.
	Meios e terminais de transporte. Estado da malha rodoviária.

Fonte: modificado de Veyret e Richemond, 2003, pg. 42.

A redução da vulnerabilidade não implica na redução da frequência da álea, mas na diminuição dos efeitos possíveis da crise haja visto que se conhece os processos ou as variáveis que influenciam a "catastroficidade" de um dado evento.

Pode-se concluir, então, que uma álea não cria um risco. Ele se inscreve em um dado contexto social, econômico, cultural e apresenta uma enorme parcela de subjetividade, que é traduzida por sua aceitabilidade. A **Figura 3.9** ilustra as relações entre os riscos e as crises.

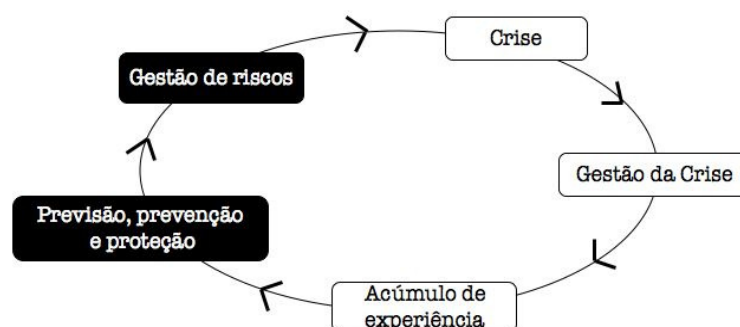


Figura 3.9. As relações entre riscos e crises; os ensinamentos do acúmulo de experiência.

Fonte: Veyret e Richemond, 2003, pg. 48.

Seria desejável que as crises e as catástrofes fornecessem ocasiões para um novo arranjo urbano, para um novo uso mais adequado ao grau de vulnerabilidade ou risco presente. Isto parece ser mais viável em sociedades altamente desenvolvidas, em que a morte e a doença não são encaradas como um fatalismo. Em sociedades em que os efeitos manifestos de um risco são considerados como uma punição divina, as populações tendem a permanecer passivas e a gestão do risco não é considerada, por ela, como uma opção viável ou possível.

Uma gama de métodos preventivos que alcançaram grande sucesso na Europa quando simplesmente “importados” para países emergentes ou pobres não conseguem o mesmo sucesso. Foram construídos em evidências de risco imaginadas por cientistas, técnicos e políticos de uma dada sociedade, cuja realidade não é importável. As percepções e comportamento de populações costumam ser únicas e o contexto social faz toda a diferença.

A “cultura” do risco pode ser definida como um conhecimento e uma percepção da ameaça comuns a um grupo social. Conhecimentos técnicos e científicos são insuficientes para que se perceba a gravidade de um risco potencial, pois as diferenças culturais pesam na apreciação da álea e na percepção do risco. Por fim, relativizar o risco permite mostrar se ele é aceitável ou não (Veyret e Richemond, 2003).

Vale ressaltar que, há uma diferença muito grande entre a gestão do risco e a gestão da crise, a qual não será tratada neste capítulo. A gestão do risco preconiza a administração de conflitos e de posições antagônicas dos diferentes atores, os quais, geralmente, são: os políticos, os cientistas e técnicos, os juristas, os administradores públicos de âmbito local e central, os planejadores ou urbanistas, as associações ou ONGs e a população ou sociedade civil.

O papel da mídia parece ser determinante para tornar um álea conhecida e definir alvos e a aceitabilidade social. Gerir o risco, portanto, trata-se de definir uma álea responsável pelo perigo e aplicar um regulamento que integre este fator de periculosidade.

O caminho natural e mais eficaz acontece quando a população a ser afetada por estas áleas se mobiliza, passa a ver o risco como seu e procura soluções cuja implantação ela acompanha com entusiasmo. Este caminho, que antecede as regulamentações, contribui

significativamente para a construção de novos elos de solidariedade e de responsabilidade, o que torna a gestão do risco mais eficaz (Veyret e Richemond, 2003, pg. 54).

Mesmo que a procura pela segurança gere de alguma maneira uma outra forma de insegurança, ela é extremamente necessária para se alcançar políticas de sustentabilidade preconizadas pelo Relatório Brundtland (1987) e na Conferência do Rio de Janeiro (Eco 92). Trata-se de se *“precarer contra as degradações do meio ambiente, sérias ou irreversíveis, mediante modificações na produção, venda ou utilização de produtos e serviços, na execução de certos tipos de atividades, segundo uma abordagem científica e técnica”*.

Neste caso, a atividade em questão são os riscos associados a instalação e a utilização de barragens; obras tão essenciais ao desenvolvimento de uma nação.

3.2) Os Tipos de Risco

Os riscos podem ser ambientais ou naturais (terremotos, inundações, poluição, erosão, saúde da população ...), industriais (poluição, explosão, contaminação do solo, água e ar, incêndios ...), geopolíticos (econômicos, financeiros, políticos ...) e sociais (imigrações, migrações, desigualdades sociais, crescimento urbano, violência urbana, insegurança ...) (Veyret e Richemond, 2003, pg 23). Mas, parece que todos estes tipos de riscos se resumem e cabem muito bem no termo “Risco Sociológico”, uma vez que todos eles são “criados” e “administrados” por uma sociedade em particular.

Os riscos podem ser decorrentes de processos naturais agravados por atividades antropogênicas e pela má ocupação e uso do solo. Para algumas áreas, a prevenção espacial de sua ocorrência é o fator de maior dificuldade enquanto que para outras, a prevenção temporal é que se mostra difícil (Veyret e Richemond, 2003, pg. 66).

Atualmente, o termo risco natural tem sido altamente discutido e questionado, pois uma vez que o risco é uma construção social, como pode haver um risco natural? Desta maneira, para efeito deste estudo, denominar-se-á os riscos provenientes de processos físicos da natureza como risco ambiental (Veyret e Richemond, 2003).

Geralmente os riscos ambientais estão ligados à áreas de causas físicas, as quais escapam largamente da intervenção humana. Podem ter origem hidroclimática (fortes chuvas, ciclones, maremotos (ou tsunamis), seca...) ou litosférica (erupções vulcânicas,

terremotos, desmoronamentos...). As áleas associadas aos riscos ambientais são: de inundação, sísmicas ou vulcânicas e climáticas (áleas naturais) e desertificação, incêndios e poluições (áleas induzidas por atividades humanas).

Dentre todas estas áleas, a única que merece destaque neste estudo é a de inundação, pois se pode realizar um paralelo do efeito natural com o induzido (caso do rompimento de uma barragem ou dique). Coincidentemente, as áleas de inundação representam as mais presentes no globo e, assim, afetam populações de todos os continentes. Portanto, voltar-se-á a falar dela detalhadamente, mais adiante, no sub-item 3.3 deste capítulo.

Os riscos industriais e tecnológicos e os riscos industriais maiores distinguem-se entre si, muito embora são frequentemente tratados no mesmo bloco. Os riscos industriais referem-se a poluição crônica, ou seja, o fenômeno perigoso que age de maneira recorrente, lenta e difusa. Seus riscos associados são: a degradação do meio, a morbidade e a mortalidade. Os Riscos Industriais Maiores referem-se à acidentes relativos ao processo industrial (explosões, incêndios, vazamentos de produtos tóxicos...) (Veyret e Richemond, 2003).

A probabilidade de ocorrência de tais riscos pode ser considerada baixa, em locais onde suas atividades são supervisionadas e gerenciadas de forma a privilegiar a segurança. Entretanto, dada sua ocorrência, seus efeitos são geralmente terríveis.

O último grupo de riscos são os Riscos Econômicos, Geopolíticos e Sociais. Podem ser sub-divididos em: risco e gestão de reservas (geralmente relacionados aos recursos naturais, renováveis ou não), agrícolas, empresariais, saúde e poluição, insegurança social, alimentares, urbanos, entre outros.

É importante ressaltar que, todos os riscos mencionados neste último grupo estão, de alguma forma, relacionados. Por exemplo: os riscos econômicos como geradores de crise acarretam no desemprego, na insegurança e nos distúrbios sociais. Um país ou região onde há escassez de água, pode sofrer consequências nefastas nas suas condições sanitárias, gerando problemas de saúde pública. Ainda, pode gerar conflitos pelo uso do recurso, decréscimo na produção de alimentos, reforço da pobreza, aumento da insegurança, assim por diante.

Veyret e Richemond (2003) constataram que os riscos difusos, como a desertificação, são mais difíceis de serem percebidos pois seus efeitos práticos são menos “espetaculares” e, portanto, menos passíveis de serem tratados pela mídia. Porém, os riscos mais enfáticos correspondem àqueles relacionados à uma baixa frequência de acontecimentos e grande gravidade. Geralmente são oriundos de cheias e inundações, terremotos, erupções vulcânicas, deslizamentos de solo, avalanches, tempestades, ciclones e tornados.

Aqui, cabe uma distinção entre cheia e inundação. A cheia é um evento natural que ocorre devido o aumento do nível das águas, que podem permanecer no leito maior do curso d'água. Uma vez que o escoamento ultrapassa o leito maior do rio e não mais consegue manter seu escoamento natural, a água se espalha pelo leito maior causando uma inundação. Contudo, existe a possibilidade de haver uma cheia sem que haja, necessariamente, uma inundação.

Geralmente, o efeito das inundações traz consequências graves para os bens e indivíduos, tanto em termos territoriais vastos como locais. Podem ser de vários tipos e seu impacto sobre o meio e sobre as populações são igualmente variáveis. Quando são recorrentes, como as cheias do Rio Nilo, não costumam ser catastróficas, pois podem ser associadas a fenômenos climáticos bastante conhecidos (El Niño, as monções ...) e pode-se tirar proveito econômico delas. Outras, manifestam-se de maneiras menos regulares e são causadas, principalmente, por precipitações intensas, que geralmente ocorrem em estações chuvosas. Estas, certamente, oferecem riscos associados maiores.

As inundações, sejam elas naturais ou induzidas por atividade antrópica, se distinguem por uma desigual velocidade na subida das águas. Elas correspondem tanto a cheias lentas (mais comumente associadas à fenômenos físicos naturais), ou seja, provenientes de um evento cuja duração está associado à vários dias até à vários meses, quanto a cheias rápidas (associadas geralmente à fenômenos físicos “artificiais” – ruptura de barragens e diques de contenção) e/ou a regiões com precipitações intensas e concentradas, cuja ocorrência está associada à minutos ou horas.

Muitas inundações podem estar associadas a um ou mais eventos, que juntos podem ocasionar grandes externalidades negativas. No Brasil, a cidade de São Paulo padece com as constantes inundações de suas artérias responsáveis pelo escoamento de pessoas e mercadorias. Vale ressaltar que, por se tratar de um importante pólo econômico do país, seu grau de vulnerabilidade a eventos desta natureza deveria ser extremamente baixo.

Este exemplo propicia uma ligação para o assunto a ser tratado no próximo item. Mas antes, faz-se imprescindível ressaltar que, a qualificação dos tipos de riscos neste trabalho é necessária. A ocorrência de riscos associados de qualquer natureza pode gerar efeitos colaterais indiretos, afetando, assim, outros setores. Por exemplo, a ruptura de uma barragem (que pode ser classificado com um risco “tecnológico”) pode destruir o meio de sustento de uma população, causar doenças, perdas de vidas e, portanto, gerar riscos econômicos significativos. Mais uma vez, nota-se evidências de que todos os riscos são de ordem sociológica.

3.3) Os Riscos nas Sociedades Desenvolvidas, Emergentes e Pobres

Este item torna-se relevante uma vez que a compreensão do contexto de inserção do risco, como já foi discutido anteriormente, é de suma importância.

A Cindínica teve sua origem e desenvolvimento com o aumento do nível de vida de populações. Uma demanda cada vez maior por segurança foi, assim, gerada juntamente com uma recusa em aceitar incertezas; ou, o exercício de atividades sem que se conheça seus riscos associados (ou probabilidade de ocorrência de efeitos adversos).

O risco vem sendo percebido e definido há muito tempo, desde a Renascença segundo Veyret (2003), porém recentemente adquiriu um lugar de destaque em sociedades desenvolvidas (ou, sociedades não hegemônicas, em essência). Os riscos alimentares, naturais, econômicos e sanitários constituem uma gama de riscos cuja batalha já foi vencida por estas sociedades. Eles ainda são susceptíveis a acontecer, porém sua probabilidade é bastante diminuta.

Contudo, pode-se dizer que há uma “tricotomia” global de ocorrência de certos tipos de riscos, de percepções e de paradigmas de Riscos Sociológicos, separadas primordialmente por questões econômicas. São elas: a de sociedades constituintes de nações desenvolvidas, em desenvolvimento (ou emergentes) e de pobres. É sabido que o fator econômico é diretamente proporcional ao grau de percepção da população à determinados riscos.

Na grande maioria dos países emergentes, e aí encontra-se o Brasil, as áreas adquirem uma abrangência enorme. As dificuldades encontradas em gerir os riscos são as mesmas que impedem o desenvolvimento pleno da nação. Ou seja, a falta de recursos

financeiros, o controle precário do uso e ocupação do solo e o conhecimento incompleto da área.

Nestes países, os riscos sociais relacionados à sensação de insegurança estão fortemente associados a: ruptura de elos sociais, altas taxas de criminalidade, banalização da violência, situações econômicas precárias, desemprego, instabilidade econômica e, muitas vezes, também política.

Os riscos naturais, assim como os eventos adversos associados, são mais passíveis de acontecimento em locais onde há ou houve uma urbanização acelerada, um ambiente degradado e fragilidade da capacidade de resposta aos riscos. Segundo Thouret (2003), *“as cidades latino-americanas não só pagam um pesado tributo humano, mas o peso econômico das grandes aglomerações em cada país torna o crescimento dos prejuízos inelutável, pois o percentual dos bens segurado é o menor de todos os continentes, com exceção da África”*.

Isto significa que os danos materiais tem um peso significativo, a ponto de entravar seu desenvolvimento. Para melhor ilustrar esta afirmação, retome-se o exemplo da cidade de São Paulo. Imagine que, por uma razão qualquer, a cidade da São Paulo fosse bombardeada e ficasse gravemente destruída - vale salientar que, o exemplo se refere apenas à cidade de São Paulo e não ao estado de São Paulo. O impacto na economia brasileira seria incomensurável e certamente o país atravessaria uma crise econômica sem precedentes na sua história.

Desta forma, percebe-se o tamanho da fragilidade das nações emergentes perante os riscos e, assim, pode-se calcular seus efeitos em sociedades pobres. Os países emergentes orientais são menos susceptíveis aos riscos, pois sua cultura vem de muito longe, desde à antiguidade ao que se sabe, se adequando aos riscos inerentes à existência. Este assunto será tratado mais minuciosamente no sub-item 3.4 deste capítulo.

Um excelente exemplo que corrobora esta afirmação é o impacto do lançamento das bombas atômicas na sociedade japonesa. Obviamente, o Japão não é um país emergente, porém sofreu o abalo mais catastrófico da história da humanidade. As explosões das bombas atômicas no Japão afetaram diretamente um total de 500.000 pessoas. Destas, aproximadamente 200.000 foram evacuadas, cerca de 150.000 morreram (80.000 só em Hiroshima) e mais de 100.000 ficaram feridas em ambas cidades (Hiroshima e Nagasaki).

Entretanto, em dez dias, as indústrias japonesas da região atingida estavam trabalhando com 70% de sua capacidade.

O desenho urbano latino-americano é o grande responsável por sua vulnerabilidade, uma vez que os efeitos da concentração e densidade populacional, a desigual mobilidade dos cidadãos e a prática do urbanismo desordenado induzem as interações entre os agentes destruidores e as construções. Ainda, como no exemplo da bomba na cidade de São Paulo, a rede urbana regional e nacional pode também engendrar efeitos em cadeia externos a um desastre (Thouret, 2003).

As maiores áreas da América Latina, segundo Thouret (2003), são:

- ◆ as geodinâmicas (terremotos, vulcanismo e deslizamentos de solo), mais notadamente presentes na Colômbia, Peru, Equador e países da América Central;
- ◆ morfodinâmicas e hidrológicas (cheias urbanas, torrenciais e de detritos), sendo as cheias urbanas mais frequentes na Argentina, Brasil e Uruguai e as cheias torrenciais e de detritos na Colômbia, Chile, Equador, Caribe e mesoamérica;
- ◆ de origem climática, relacionadas à certos fenômenos climáticos, tais como o El Niño e La Niña, nos litorais do Equador e Peru; chuvas diluvianas provenientes dos ciclones, na América Central, Nicarágua e México; e chuvas torrenciais na Venezuela.
- ◆ fenômenos de grande magnitude, mas baixa frequência: terremotos, tsunamis e erupções vulcânicas, no Chile, Peru e Bolívia;
- ◆ fenômenos de fraca magnitude, mas de ocorrência elevada: desmoronamentos de solo (Andes equatoriais e áreas de encostas no Brasil); inundações nas planícies e nos piemontes subandinos ou nos litorais; e ciclones no Caribe.

A origem do fenômeno nem sempre coincide com a zona de impacto destas áreas naturais e seus efeitos costumam ser sentidos de forma desigual. Um acidente natural ou um sinistro desencadeia um efeito dominó por todo o cone urbano, onde todos os fluxos e trocas são interconectados. Desta forma, seus efeitos costumam ser incalculáveis. Ainda, torna-se muito difícil separar os riscos e as catástrofes naturais de outros tipos de riscos (urbanos, industriais, tecnológicos, ecológicos, sanitários ...).

A pobreza certamente constitui um outro fator gerador de riscos. A ocupação de áreas menos nobres, por serem mais sujeitas a riscos, por favelas e as conseqüentes degradações do meio urbano acarretam em acidentes diretos (deslizamentos de terra com soterramentos de barracos) e indiretos (obstruções de canais de drenagem, destruição de mata ciliar, poluição de cursos d'água ...). Sem contar que esta população está tão preocupada com os riscos cotidianos, que não tem recursos econômicos e tempo para se preocuparem com riscos gerados por "sofisticações".

Conforme constatado por Thouret (2003), os cidadãos pobres possuem uma consciência medíocre dos riscos, pois suas preocupações estão voltadas à conflitos sociais, relacionados ao modo de vida urbano. A gestão urbana mambembe (não respeito aos códigos urbanísticos, planejamento a curto prazo, o desvio de recursos, o clientelismo, a corrupção ...) certamente engendra efeitos perversos. Contudo, conclui-se que, em sociedades emergentes latino-americanas, a segregação social e espacial gera uma exposição desigual aos riscos.

Notadamente, na maioria das sociedades emergentes e pobres, há um hiato entre a consciência do perigo e o conhecimento do risco. Desta forma, cinco séries de ações são necessárias às estratégias de prevenção e gestão dos riscos (Thouret, 2003). São elas: avaliar de maneira consensual a aceitabilidade do risco; facilitar sua percepção pelas populações ameaçadas; propiciar a participação das comunidades locais na informação e na educação em matéria de risco e meio ambiente; adotar mecanismos de prevenção e de gestão de riscos; e definir uma estratégia a longo prazo, principalmente uma política de planificação urbana que integre o desenvolvimento de bairros altamente vulneráveis.

As cidades latino-americanas podem ser divididas em três grupos, quanto ao requinte de estratégias adotadas para a minimização ou gestão de riscos (Thouret, 2003):

- ◆ Estados avançados em termos de gestão e prevenção: Colômbia, Chile, México e Equador;
- ◆ Uma política de gestão insuficiente diante da amplitude da área: Costa Rica, Nicarágua, Argentina, Brasil e Venezuela;
- ◆ Uma ação insuficiente ou pouco satisfatória dos sistemas de proteção: Peru, Bolívia, Honduras, Guatemala e El Salvador.

Os maiores obstáculos e fraquezas da gestão de riscos das cidades latino-americanas são de quatro tipos: técnicos, sócio-econômicos, institucionais ou políticos e culturais. A existência de normas não significa que elas sejam aplicadas, aplicáveis ou eficazes. Os principais atores, especialmente os poderes públicos, não tomam parte ativa nas decisões referentes à gestão dos riscos. Medidas de gestão visando diminuir os riscos aceitáveis só são tomadas quando as classes média e alta se sentem ameaçadas ou sofrem um revés.

Como um bom exemplo da afirmativa apresentada no parágrafo anterior, pode-se citar o grave acidente aéreo que ocorreu em 2007 na cidade de São Paulo. Um avião da TAM ultrapassou a pista de pouso e caiu sobre um bairro de classe média, adjacente ao Aeroporto de Congonhas. O resultado foi 199 vítimas fatais, entre passageiros e moradores. A partir daí, tomou-se inúmeras providências, dentre elas a redução do número de pousos e decolagens do Aeroporto de Congonhas e melhorias nas condições gerais da pista e do aeroporto.

Contudo, a tentativa de alcançar os três paradigmas fundamentais associados à gestão e prevenção dos riscos (o primado da tecnologia, a resposta social e o desenvolvimento sustentável) registrou uma sensível melhora nas sociedades latino-americanas. Porém, seu ritmo não acompanhou o da expansão urbana e tem demonstrado fragilidades relacionadas à todas estas questões conceituais básicas da gestão dos riscos.

Thouret (2003) vai ao âmago da questão: *"o clientelismo político leva às invasões populares de zonas periurbanas expostas ou tolera a não-aplicação de normas de construção em proveito imediato das classes mais favorecidas. O peso da pauperização dos meios populares, assim como das classes médias, combina trocas de favores e corrupção. A fuga generalizada da fiscalização enfraquece a capacidade de intervenção do Estado. O difícil domínio da pressão fundiária, que pertence à esfera jurídica e institucional da cidade, e a importância dos elementos fundiários em jogo colocam em xeque o processo democrático das instituições. Pode-se, assim, pensar que a representação mental do risco, portanto da morte, e a fatalidade fazem parte da sociedade latino-americana".*

Há algo neste discurso que soe familiar?

3.4) O Sistema Brasileiro de Proteção contra Riscos

Neste tópico, apresentar-se-á como se dá a proteção contra riscos no Brasil.

O Brasil foi dividido de acordo com características regionais de desastres naturais, os quais são:

- ◆ Região Norte: incêndios florestais e inundações;
- ◆ Região Nordeste: secas e inundações;
- ◆ Região Centro-Oeste: incêndios florestais;
- ◆ Região Sudeste: deslizamento e inundações;
- ◆ Região Sul: inundações, vendavais e granizo.

A realidade brasileira, neste contexto de desastres, pode ser caracterizada pela frequência dos desastres naturais cíclicos, especialmente as inundações em todo o país, seca na região Nordeste e um crescente aumento dos desastres humanos, devido ao crescimento urbano desordenado, às migrações internas e ao fenômeno da urbanização acelerada sem a disponibilidade dos serviços essenciais.

Não há como falar de defesa contra riscos sem falar de defesa civil. A Defesa Civil pode ser definida como o conjunto de ações preventivas, de socorro, assistenciais e reconstrutivas destinadas a evitar ou minimizar os desastres, preservar o moral da população e restabelecer a normalidade social. Cabe aos agentes de Defesa Civil, profissional ou voluntário, o socorro e assistência às populações atingidas por catástrofes ou eventos dos mais diversos, sejam causados por eventos naturais ou não.

A utilização deste mecanismo de defesa não pode ser precisada na história das civilizações, pois há muitas informações contraditórias. O que se sabe com certeza é que pela própria predisposição humana à caça, à coleta de alimentos e ao trabalho em grupo, iniciou-se, provavelmente, o sentimento de comunidade. Havia, desde então, a necessidade de proteção dos indivíduos e da prole para garantir a sobrevivência.

Existem evidências que aqueles humanos revezavam-se ao cuidar dos aglomerados contra agentes que causavam danos à comunidade, de tal forma a evitar ataques de animais

e situações de risco. Em outras palavras, havia constantemente alguém em guarda, em algum local estratégico. Isto é biológico, muitos animais agem desta forma para proteger a espécie de ataques, de inundações, incêndios entre outros perigos.

Com o estabelecimento das comunidades, surgem, também, os conflitos entre os diferentes grupos, principalmente quando a escassez de alimentos forçava esses grupos a atacarem-se mutuamente. Com o advento do uso de armas para a caça, estas também começaram a ser usadas nestes conflitos. Desta forma, os seres humanos inventaram a guerra armada e, logo, iniciou-se um ciclo de catástrofes não naturais que punham a sobrevivência do grupo em risco.

A fim de garantir uma defesa mais eficiente surgiram as paliçadas, as palafitas, e outros artifícios para a proteção da comunidade, que sempre dispunham daqueles que eram os responsáveis para dar o alarme em caso de algum tipo de calamidade, natural ou não.

Com o crescimento das populações das comunidades, o homem se viu obrigado a deixar de ser nômade para se fixar na terra. Daí, surgiram as aldeias, vilas e cidades. Assim, a defesa do grupo se desenvolveu de tal forma, que acabou por se tornar um sistema de ataque e defesa, distanciando-se da idéia de proteção do grupo como um todo, para começar a servir a quem detinha o poder.

Contudo, a defesa da comunidade foi sendo distanciada pela defesa dos detentores do poder e estes deveriam ser os protetores daquela. No Ocidente, ao contrário do Oriente, a população começou a ser deixada a sua própria sorte, não tendo do poder público uma proteção adequada.

No caso do Império Chinês, haviam sistemas bem delineados de defesa civil. As cidades eram planejadas de forma a proteger os colonos contra calamidades públicas, inclusive contra guerras, e os imperadores chineses dispunham de uma completa rede de informação e socorro à população comum.

Já na Grécia e Roma antigas, a população que residia fora do aglomerado urbano, era deixada a sua própria sorte, pois, com as cidades cercadas por muralhas de proteção e defesa, uma vez fechadas, em caso de ataques ou catástrofes, eram somente abertas após findo o perigo e o envio de ajuda era escasso.

Com o passar do tempo, as catástrofes naturais e artificiais se intensificaram. À medida em que a humanidade se desenvolveu, aumentando a complexidade social, aumentaram também as possibilidades de calamidades públicas devido ao aumento demográfico. Desta forma, surgiu um sistema humano de defesa civil, desvinculado das forças armadas, porém vinculado ao poder público, pois é responsabilidade do Estado a proteção de sua população.

Na Idade Média, devido ao aumento dos aglomerados humanos, às condições precárias de circulação, de construções interligadas e de grande quantidade de material inflamável, cidadãos se organizaram para o combate a incêndios. Acredita-se que foram os franceses os primeiros a se organizar desta forma.

Com o advento da Segunda Guerra Mundial, os ataques atingiam indiscriminadamente a todos - tanto a população como os exércitos - pois os grandes complexos industriais estavam inseridos nas grandes cidades. O povo seria atingido de forma mais direta pelos grandes bombardeios, que não mensuravam alvos e sim a destruição em massa, logo a diminuição do moral, não somente da tropa, mas de toda uma nação.

No caso do Japão e Alemanha, os norte-americanos e seus aliados lançavam de seus aviões bombas poderosas o suficiente para destruir quarteirões inteiros e abrigos subterrâneos, onde se protegiam mulheres e crianças. A população civil era estrategicamente visada para reduzir o moral dos exércitos inimigos. A defesa civil teve papel importante no socorro às vítimas, principalmente no Japão.

Conforme já foi anteriormente mencionado, o sistema de defesa civil dos orientais é muito mais antigo e eficaz do que do ocidente. Devido ao alto grau de organização e mobilização dos japoneses, o ataque norte-americano a Hiroshima e Nagasaki, foi absorvido por toda a comunidade que reagiu rapidamente e com precisão, apesar dos imensos estragos e impactos físico e psicológico.

Na Alemanha, após os bombardeios gigantes, a população ficou paralisada. Não havia uma defesa civil eficiente e organizada, apesar da máquina de guerra alemã ser invejável. Portanto, uma defesa civil organizada e treinada é de suma importância para a mobilização de toda uma população em casos de emergências e calamidades públicas, formando assim, uma rede de ajuda e socorro.

Com a participação do Brasil na Segunda Guerra Mundial, e principalmente, após o

afundamento, na costa brasileira, dos navios de passageiros Arará e Itagiba, totalizando 56 vítimas, o Governo Federal Brasileiro, em 1942, criou o primeiro esboço de uma Defesa Civil Brasileira².

A partir daí, estabeleceu-se o Serviço de Defesa Passiva Antiaérea e criou-se a obrigatoriedade do ensino da defesa passiva em todos estabelecimentos de ensino, oficiais ou particulares, existentes no Brasil.

Em 1943, a denominação de Defesa Passiva Antiaérea foi alterada para Serviço de Defesa Civil, sob a supervisão da Diretoria Nacional do Serviço da Defesa Civil, do Ministério da Justiça e Negócios Interiores, extinto em 1946. Foram criadas as Diretorias Regionais de Defesa Civil nos Estados, Territórios e Distrito Federal.

Como consequência de uma grande enchente em 1966, foi criado, no então Estado da Guanabara (hoje Rio de Janeiro), um grupo de trabalho cuja finalidade era estudar a mobilização de diversos órgãos estaduais em casos de catástrofes.

Foi elaborado na época um plano diretor de Defesa Civil do Estado da Guanabara, que definia atribuições para cada órgão componente do Sistema Estadual de Defesa Civil. Em 18 de novembro 1966, foi publicado um decreto estadual que aprovou aquele plano. Foram criadas também as primeiras Coordenadorias Regionais de Defesa Civil – REDEC no Brasil.

No dia 19 de dezembro de 1966 foi organizada no Guanabara, a primeira defesa civil estadual do Brasil. Em 1967 foi criado o Ministério do Interior, cuja competência era assistir as populações atingidas por calamidades públicas em todo território nacional.

Também foi instituído para o Ministério do Interior um Fundo Especial para Calamidades Públicas (FUNCAP). Também, criou-se um Grupo Especial para Assuntos de Calamidades Públicas (GEACAP), cuja função era prestar assistência e defesa permanente contra calamidades públicas.

A organização sistêmica da defesa civil no Brasil, se deu pela criação do Sistema Nacional de Defesa Civil (SINDEC), em 1988, sendo reorganizado em agosto de 1993 e atualizado em 2005. O Sistema Nacional de Defesa Civil, tem atualmente um Centro

² O histórico da Defesa Civil no Brasil foi pesquisada na web-page www.defesacivil.gov.br/historico/brasil.asp, em 27/07/08.

Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD), um grupo de apoio a desastres que tem a finalidade de fortalecer os órgãos de Defesa Civil locais.

No estado de São Paulo, a Defesa Civil surgiu após a calamidade de Caraguatatuba (1967), dos incêndios dos Edifícios Andraus (1972) e Joelma (1974). Isto ocorreu porque nestes desastres muitas vidas se perderam por falta de coordenação dos órgãos públicos e integração com as comunidades³.

A comunidade paulista então percebeu a necessidade da criação de um órgão que, ao mesmo tempo, pudesse prevenir a ocorrência destes eventos ou, na impossibilidade da prevenção, pudesse minimizar seus efeitos.

O sistema estadual paulista de Defesa Civil foi reorganizado em 1995 pelo governador Mário Covas. Possui uma Coordenadoria Estadual de Defesa Civil (CEDEC) (órgão Central do Sistema de Defesa Civil Estadual), subordinada diretamente ao Governador do Estado e dirigida pelo Coordenador Estadual de Defesa Civil.

As Coordenadorias Regionais de Defesa Civil (REDEC) atuam no interior do Estado e na Região Metropolitana tendo como principal atribuição a formação, a orientação e o apoio às Coordenadorias Municipais de Defesa Civil (COMDEC) em todos os Municípios.

As ocorrências de maior destaque no Estado de São Paulo são, em ordem cronológica:

1983 - Inundações do Vale do Ribeira, Rio Paraná e São Paulo, que atingiram 86 municípios, causando 32 mortos e mais de 65.500 desabrigados;

1984 - Incêndio de Vila Socó, em Cubatão, com 93 mortos e 1.500 desabrigados;

1985/86 - Grande Estiagem que afetou 199 municípios, com o desenvolvimento de programas que atenderam mais de 316.000 pessoas;

1985/86 - Fenômeno "Buraco de Cajamar", que atingiu 480 residências desabrigando 2.400 pessoas;

1987 - Inundações em 24 municípios da Região Metropolitana de São Paulo, que deixou 53 vítimas fatais e mais de 21.000 desabrigados;

³ As informações sobre a defesa civil no estado de São Paulo foram conseguidas no web-site <http://www.defesacivil.sp.gov.br/historico.htm>, em 27/07/08.

- 1995 - Explosão de depósito clandestino de fogos de artifício no Bairro de Pirituba, em São Paulo, que provocou 15 mortes e deixou 24 pessoas feridas;
- 1996 - Desabamento de parte do Shopping de Osasco, com 37 mortos e 380 feridos;
- 1996 - Queda do avião Fokker 100 da TAM em São Paulo, com 99 vítimas fatais;
- 1997 - Enchentes no Vale do Ribeira, que deixaram 4 mortos e mais de 15.400 pessoas desabrigadas;
- 1998 - Novamente enchentes no Vale do Ribeira, com mais de 6.400 desabrigados;
- 1998 - Desabamento do teto da Igreja Universal do Reino de Deus, em Osasco, com 24 mortos e 539 feridos;
- 1998 - Acidente rodoviário do Município de Araras, onde o choque de caminhões de combustível com ônibus de romeiros deixou 54 vítimas fatais e 39 feridos;
- 2000 - Enchentes e deslizamentos de terra no Vale do Paraíba, que causaram 11 vítimas fatais e mais de 6.500 pessoas desabrigadas;
- 2007 - Queda do avião Airbus A320 da TAM em São Paulo, com 199 vítimas fatais.

Contudo, a defesa civil no Brasil está organizada sob a forma de sistema, denominado de Sistema Nacional de Defesa Civil (SINDEC), que é composto por vários órgãos. A Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC), no âmbito do Ministério da Integração Nacional, é o órgão central deste Sistema, responsável por coordenar as ações de defesa civil, em todo o território nacional.

Entre as principais ações da Defesa Civil podem ser destacadas:

- ◆ Prevenção: medidas adotadas visando a não ocorrência de desastres ou a preparação da população para os inevitáveis;
- ◆ Socorro: quando todo o esforço é feito no sentido de se evitar perdas humanas ou patrimoniais na área atingida por desastres;
- ◆ Assistência: criação de condições de abrigo, alimentação e atenção médica às vítimas; e
- ◆ Recuperação: investimentos que objetivam o retorno, no menor tempo possível, das condições de vida comunitária existentes antes dos eventos.

Todos os órgãos do SINDEC tem atribuições, mas a atuação do órgão municipal de defesa civil, Coordenadoria Municipal de Defesa Civil (COMDEC) é extremamente importante, tendo em vista que os desastres ocorrem no município.

O município deve estar preparado para atender imediatamente a população atingida por qualquer tipo de desastre, reduzindo perdas materiais e humanas, fato que constatamos diariamente pela mídia. Daí a importância de cada município criar a sua COMDEC.

O Conselho Nacional de Defesa Civil - CONDEC, parte integrante da estrutura regimental do Ministério da Integração Nacional, é um órgão colegiado de caráter normativo, deliberativo e consultivo, tendo por finalidade a formulação e deliberação de diretrizes governamentais em matéria de defesa civil. A **Figura 3.10** mostra o organograma do CONDEC.



Figura 3.10. Organograma do CONDEC.

De acordo com a **Figura 3.10** pode-se perceber que, o CONDEC é constituído por: Plenário, Comitê Consultivo, Comitês Técnicos e Grupos de Trabalho. □□O plenário do CONDEC é presidido pelo Secretário Nacional de Defesa Civil do Ministério da Integração Nacional e é composto por representantes dos Ministérios e de órgãos da Administração Pública Federal, designados pelo Ministro de Estado da Integração Nacional. □

O plenário do CONDEC é presidido pelo Secretário Nacional de Defesa Civil do Ministério da Integração Nacional e é integrado pelos representantes de cada órgão a seguir indicado na **Tabela 3.4**.□□

Tabela 3.4. Órgãos integrantes do plenário do CONDEC.

Ministério da Justiça	Ministério da Defesa	Ministério das Relações Exteriores
Ministério da Fazenda	Ministério dos Transportes	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
Ministério da Educação	Ministério da Cultura	Ministério do Trabalho e Emprego
Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome	Ministério da Saúde	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
Ministério de Minas e Energia	Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão	Ministério das Comunicações
Ministério da Ciência e Tecnologia	Ministério do Meio Ambiente	Ministério do Esporte
Ministério do Turismo	Ministério da Integração Nacional	Ministério do Desenvolvimento Agrário
Ministério das Cidades	Ministério da Previdência Social	Gabinete de Segurança Institucional da Presidência da República
Casa Civil da Presidência da República	Secretaria de Coordenação Política e Assuntos Institucionais da Presidência da República	Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica da Presidência da República
Comando da Marinha	Comando do Exército	Comando da Aeronáutica

Fonte: <http://www.defesacivil.gov.br/index.asp>, em 27/07/2008.

O Comitê Consultivo, unidade de assessoramento ao CONDEC, é integrado por titulares dos órgãos de defesa civil regionais, estaduais e do Distrito Federal. □□Os Comitês Técnicos e Grupos de Trabalho são instituídos pelo Presidente do CONDEC, com o fim de promover estudos e elaboração de propostas sobre temas específicos, a serem submetidos à composição plenária do Conselho, que definirá no ato da sua criação os objetivos específicos, a composição e prazo para conclusão do trabalho. □□O CONDEC tem por competência:

- aprovar normas e procedimentos para articulação das ações federais com o Distrito Federal, os Estados e os Municípios, bem como a cooperação de entidades privadas, tendo em vista a atuação coordenada das atividades de defesa civil;
- aprovar e atualizar a política nacional de defesa civil e as diretrizes de ação governamental, referentes ao assunto;
- recomendar aos diversos órgãos integrantes do SINDEC ações prioritárias que possam prevenir ou minimizar os desastres naturais ou provocados pelo homem;
- aprovar os critérios para a declaração, a homologação e o reconhecimento de situação de emergência ou de estado de calamidade pública;
- aprovar os planos e programas globais e setoriais elaborados pelo SINDEC;
- deliberar sobre as ações de cooperação internacional ou estrangeira, de interesse do SINDEC, observadas as normas vigentes;

- ◆ aprovar a criação de comissões técnicas interinstitucionais para realização de estudos, pesquisas e trabalhos especializados, de interesse da defesa civil;
- ◆ designar grupos de trabalhos emergenciais interinstitucionais com o objetivo de articular e agilizar as ações federais em situações de desastre de grande intensidade;
- ◆ aprovar critérios técnicos para análise e aprovação de obras e serviços, destinados a prevenir riscos, minimizar danos e recuperar áreas deterioradas por desastres;
- ◆ elaborar o regimento interno, que disporá sobre seu funcionamento, bem como propor alterações;
- ◆ submeter o regimento interno para aprovação do Ministro de Estado da Integração Nacional.

Há uma grande diversidade de desastres naturais, humanos e mistos, conforme classificação adotada pelo Sistema Nacional de Defesa Civil e aprovada pelo Conselho Nacional de Defesa Civil, a Codificação de Desastres, Ameaças e Riscos (CODAR).

O CENAD, sob a coordenação técnica do Departamento de Resposta aos Desastres e Reconstrução-DRD, tem como objetivo possibilitar, por intermédio do emprego de um sistema informatizado, o gerenciamento de ações preventivas e de respostas, bem como a mobilização de recursos humanos, materiais e equipamentos, no sentido de evitar ou reduzir danos e prejuízos à sociedade, coordenando as informações de riscos de desastre e monitorizando os parâmetros dos eventos adversos, diuturnamente, permitindo o geoprocessamento de dados via satélite.

O seu funcionamento tem como base o estabelecimento de parcerias com os Órgãos Estaduais de Defesa Civil e Instituições Técnicas, que disponham de recursos humanos, materiais e institucionais apropriados, bem como de informações úteis ao desenvolvimento das atividades do Sistema Nacional de Defesa Civil (SINDEC).

O grande desafio da Defesa Civil no Brasil e da Estratégia Internacional para Redução de Desastres no mundo é o de minimizar os danos humanos, materiais e ambientais e os consequentes prejuízos econômicos e sociais resultantes da ocorrência de desastre. Ao incrementar o senso de percepção de risco e o comprometimento por parte das autoridades

públicas, por meio da criação e operacionalização de Coordenadorias Municipais de Defesa Civil, ter-se-á a redução de ocorrência de desastre no Brasil.

Na situação de desastres, vários fatores interferem para agravá-la, quando o município necessita tomar medidas excepcionais, de urgência, ou ainda, já comprometeu toda sua capacidade administrativa. Então se declara a situação de emergência ou estado de calamidade pública. Até julho de 1999, os atos previstos pela legislação de declaração pelo município, de homologação pelo estado e de reconhecimento pelo Governo Federal não estavam regulamentados.

Com a aprovação pelo Conselho Nacional de Defesa Civil, o Manual para a decretação de situação de emergência ou de estado de calamidade pública estabeleceu uma sistemática, critérios e procedimentos para a decretação das duas possibilidades legais de exceção em caso de desastre, a serem adotados por todos os órgãos de defesa civil, válido em todo território brasileiro.

Para a caracterização da Situação de Emergência ou de Estado de Calamidade Pública, faz-se necessário analisar os fatores preponderantes e os fatores agravantes. Os critérios preponderantes estão relacionados com a intensidade dos danos (humanos, materiais e ambientais) e a ponderação dos prejuízos (sociais e econômicos).

Para esta análise, não servem os critérios absolutos, baseados na visão subjetiva da pessoa. Não servem os modelos matemáticos, pois a realidade é extremamente complexa, com inúmeras variáveis relacionadas com o fenômeno e com o cenário e a vulnerabilidade das pessoas e instalações expostas, que interferem no impacto do desastre.

Nessa avaliação, buscam-se critérios relativos, que levam em conta o impacto sob a ótica da coletividade. É mais importante que pessoal, além de ser mais precisa, útil e racional. Pois do ponto de vista da pessoa atingida, todo desastre tem a mesma importância. Há que se fazer a análise das necessidades relacionadas com todos os recursos: humanos, materiais, institucionais e financeiros, comparando com a análise das disponibilidades relacionadas com esses mesmos recursos.

Os critérios brasileiros de análise podem ser divididos em dois grandes grupos, a saber: Critérios Preponderantes e Critérios Agravantes. Os Critérios Preponderantes se subdividem entre à Intensidade dos Danos e a Ponderação dos Prejuízos. A **Tabela 3.5**

mostra a Intensidade dos danos Humanos, a **Tabela 3.6** a intensidade dos danos materiais e a **Tabela 3.7** a intensidade dos danos ambientais.

Tabela 3.5. Intensidade dos danos humanos.

Criticidade 1	Criicidade 2
Feridos graves	enfermos
Desaparecidos	
Deslocados	Feridos leves
Desabrigados	
mortos	

Fonte: <http://www.defesacivil.gov.br/situacao/index.asp>, em 27/07/08.

Tabela 3.6. Intensidade dos danos materiais.

Prioridade 1	Prioridade 2
instalações públicas de saúde	instalações particulares de saúde
residenciais populares	instalações particulares de ensino
instalações públicas de ensino	Instações rurais/ industriais / comerciais/ prestadores de serviços
obras de infra-estrutura pública	residenciais classes + favorecidas
outras instalações serviços essenciais	

Fonte: <http://www.defesacivil.gov.br/situacao/index.asp>, em 27/07/08.

Tabela 3.7. Intensidade dos danos ambientais.

Tipos de Danos Ambientais
contaminação e/ou poluição das fontes de água
contaminação, poluição e/ou degradação do solo
degradação da biota e redução da biodiversidade
poluição do ar atmosférico

Fonte: <http://www.defesacivil.gov.br/situacao/index.asp>, em 27/07/08.

A Ponderação dos Prejuízos são divididos em dois grandes grupos: os econômicos e os sociais. As **Tabelas 3.8** e **3.9** mostra uma caracterização destes grupos.

Tabela 3.8. Ponderação dos prejuízos econômicos.

Nível	Quantificação do Prejuízo
nível I	Prejuízo $\leq$ 5% PIB municipal
nível II	5% < Prejuízo $\leq$ 10% PIB municipal
nível III	10% < Prejuízo $\leq$ 30% PIB municipal
nível IV	Prejuízo > 30% PIB municipal

Fonte: <http://www.defesacivil.gov.br/situacao/index.asp>, em 27/07/08.

Tabela 3.9. Ponderação dos prejuízos sociais.

Prioridade 1	Prioridade 2
assistência médica primária	assistência médico-hospitalar
geração e distribuição de energia elétrica	
médico-cirúrgicas	
esgoto sanitário	atendimento de emergências
limpeza urbana / coleta de lixo	
controle de pragas e de vetores	
vigilância sanitária	
esgoto sanitário	telecomunicações

Fonte: <http://www.defesacivil.gov.br/situacao/index.asp>, em 27/07/08.

Os Critérios Agravantes são caracterizados a partir da:

- ocorrência de desastres secundários;
- despreparo da administração local (geral e defesa civil);
- grau de vulnerabilidade do cenário e da comunidade; e
- padrão evolutivo do desastre.

Os desastres súbitos (agudos) geralmente caracterizam a situação de emergência e até o estado de calamidade pública, enquanto os desastres graduais (crônicos) não justificam a decretação, pois sua evolução permite a preparação, reduzindo danos e prejuízos.

Os desastres por somação de efeitos parciais, como por exemplo, os acidentes da construção civil e acidentes de trânsito, apesar de trazerem grandes danos e prejuízos sociais não caracterizam situação de emergência ou estado de calamidade pública.

No Brasil, a maioria dos desastres de grande porte caracteriza-se como situação de emergência. Menos de 2% dos desastres declarados, homologados e reconhecidos justificariam o estado de calamidade pública. As **Tabelas 3.10, 3.11, 3.12 e 3.13** trazem

um resumo das caracterizações das situações anormais.

Tabela 3.10. Desastre Nível 1 – Pequena Intensidade ou Acidente.

Condicionantes	Caracteriza	Crítérios agravantes	Situação agravada
facilmente suportável, superável	não caracteriza situação anormal	não há fatores agravantes	não
danos pouco importantes			
prejuízos pouco vultosos			

Fonte: <http://www.defesacivil.gov.br/situacao/index.asp>, em 27/07/08.

Tabela 3.11. Desastre Nível 2 – Média Intensidade.

Condicionantes	Caracteriza	Crítérios agravantes	Situação agravada	
suportável e superável	situação anormal	desastre secundário	situação excepcional (SE)	
danos de alguma importância		despreparo DC local		
prejuízos significativos		grau vulnerabilidade		
		padrão evolutivo		

Fonte: <http://www.defesacivil.gov.br/situacao/index.asp>, em 27/07/08.

Tabela 3.12. Desastre Nível 3 – Grande Intensidade.

Condicionantes	Caracteriza	Critérios agravantes	Situação agravada
suportável e superável, se a comunidade estiver preparada	SE	desastre secundário	estado de calamidade pública (ECP)
danos importantes		despreparo DC local	
prejuízos vultosos		grau vulnerabilidade	
		padrão evolutivo	

Fonte: <http://www.defesacivil.gov.br/situacao/index.asp>, em 27/07/08.

Tabela 3.13. Desastre Nível 4 – Muito Grande Intensidade.

Condicionantes	Caracteriza	Crítérios agravantes	Situação agravada
não suportável e não superável sem ajuda externa	ECP	Casos excepcionais previstos na Constituição Federal	Estado de Defesa (Art. 136)
danos muito importantes		Decreto do Presidente da República, ouvidos os Conselhos da República e de Defesa Nacional	Estado de Sítio (Art. 137)
prejuízos muito vultosos e consideráveis			autorizado pelo Congresso Nacional

Fonte: <http://www.defesacivil.gov.br/situacao/index.asp>, em 27/07/08.

Cabe à Sedec analisar os pleitos relacionados com a atuação típica de defesa civil, conforme pertinência técnica e disponibilidade orçamentária e financeira. A equipe técnica da Secretaria faz o exame dos pleitos relacionados às ações e projetos de obras e serviços de engenharia para prevenção, preparação e reconstrução. Julga-se então se a ação é de defesa civil e analisa-se também os métodos construtivos, custos, prazos de execução e valor de contrapartida, verificando se as informações prestadas pelo Estado ou Municípios

estão adequadas ao projeto a ser financiado.

O atendimento das solicitações de recursos federais para as ações de defesa civil se concretiza sob a forma de convênios celebrados com os Governos Estaduais e as Prefeituras Municipais, observando a legislação vigente comum a todos os órgãos da administração pública federal, em especial a Lei das Diretrizes Orçamentárias - LDO, a Lei Orçamentária Anual- LOA, Lei Complementar nº 101 (Lei de Responsabilidade Fiscal), Instrução Normativa - IN nº 1/97 e suas alterações e ainda a Lei nº 8.666/93.

Além das disposições legais aplicáveis a todos órgãos públicos federais, a Secretaria Nacional de Defesa Civil ainda observa o Decreto nº 5.376, de 17 de fevereiro de 2005 que dispõe sobre a organização do Sistema Nacional de Defesa Civil; a Portaria MI/ nº 724 de 23/10/2002, que condiciona a transferência de recursos federais destinados às ações de defesa civil à comprovação da existência e o funcionamento do órgão municipal de defesa civil, as Comissões Municipais de Defesa Civil (Comdec) ou correspondente.

Os recursos emergenciais federais destinam-se às ações pós-desastres, em caso de acidente ou desastre, mas, principalmente, nos casos de Situação de Emergência e Estado de Calamidade Pública, reconhecidos por portaria do Ministério da Integração Nacional. Em casos de Situação de Emergência e Estado de Calamidade Pública, os recursos federais para ações de defesa civil, são destinados às ações que integram o Programa de Resposta aos Desastres: socorro e assistência às pessoas atingidas por desastres, reabilitação dos cenários de desastres e recuperação de danos causados por desastres.

Nos casos de desastres de muito grande porte e de necessidades urgentes, o Governo Federal poderá baixar também Medida Provisória para o atendimento das pessoas afetadas pelos desastres, situação amparada pelo § 3º, do art. 167 da Constituição Federal de 1988.

Ainda, para o Estado de Calamidade Pública ou situação de emergência, aplica-se o disposto no Decreto n.º 1.080, de 8 de março de 1994, alterado pelo Decreto nº 5.376, de 17 de fevereiro de 2005, referente ao Fundo Especial para Calamidades Públicas (Funcap), que tem por finalidade financiar as ações de socorro e assistência à população afetada e reabilitação de áreas atingidas. Atualmente o Funcap não dispõe de dotação orçamentária e, em consequência, sem disponibilidade financeira.

Pode haver liberação de recursos federais para ações de prevenção a fim de evitar que o desastre ocorra, especialmente em áreas de risco, sujeitas à possível ocorrência de eventos danosos. Nessa situação, não cabe a decretação nem o reconhecimento de situação de emergência ou de estado de calamidade pública uma vez que não se configurou o desastre. Há, ainda, a possibilidade de se estabelecer convênios voluntários e obrigatórios, que são regulamentados por uma série de leis (3), decretos (2), portarias (6), instruções normativas (1) e medidas provisórias (1).

3.5) Sistema Brasileiro de Previsão de Cheias

Segundo a ANA (2008), um desastre decorre de eventos adversos, seja de origem natural ou de origem antrópica, caso do rompimento de barragens, ocasionando danos ambientais, econômicos e sociais e coloca em risco ecossistemas vulneráveis.

As inundações caracterizam situações típicas de risco, requerendo da sociedade decisões e instrumentos para previsão de eventos hidrometeorológicos extremos, minimização de seus efeitos e recuperação dos danos consequentes. No contexto de um cenário mundial de mudanças climáticas ainda não completamente esclarecido, essas ações passam a ter caráter emergencial e estratégico.

Em 2005, chuvas fortes e excepcionais causaram enchentes intensas em várias partes do mundo. Tais ocorrências vem se intensificando ano após ano, levando a comunidade mundial a criar o Programa de Prevenção e Mitigação de Desastres Naturais, para subsidiar ações relacionadas com eventos hidrometeorológicos críticos em escala internacional, nacional ou regional, envolvendo a avaliação do risco, a implementação de sistemas de alerta e o desenvolvimento de capacidade técnica e institucional.

No Brasil, um número cada vez maior de desastres vem sendo registrado, acarretando vultosos prejuízos, com consequências adversas ao desenvolvimento nacional. A região brasileira que mais sofre com tais eventos é a Nordeste, castigada por sucessivas secas e inundações.

Vale relembrar que, segundo a Defesa Civil Brasileira, os desastres devem ser classificados por níveis. Na ocorrência de desastres de nível de intensidade 3 (grande porte), caracterizam-se "Situações de Emergência" e de nível 4 (muito grande porte), o "Estado de

Calamidade Pública”. Esses desastres, em sua maioria, são de origem natural e relacionam-se com fatores climáticos.

A necessidade de acompanhar os sucessivos eventos críticos que ocorrem no Brasil relacionados às águas, de forma sistemática, eficiente e em tempo real, fez com que a ANA, em 04 de agosto de 2004, aprovasse a criação da Sala de Situação (ver **Figura 3.11**), cujo objetivo principal é acompanhar as tendências hidrológicas em todo território nacional, com a análise da evolução das chuvas, dos níveis e das vazões dos rios e reservatórios, da previsão do tempo e do clima.



Figura 3.11. Operacionalização da Sala de Situação da ANA. Fonte: ANA, 2010.

A “Sala” tem também como atribuição a realização de simulações matemáticas que auxiliam na previsão e prevenção de eventos extremos, assim como na mitigação dos efeitos desses eventos. Atualmente, tem seu foco no monitoramento de bacias e de sistemas de reservatórios, classificados como prioritários pela ANA, que são:

- ◆ Bacia do Rio Parnaíba (PI), com inundações em áreas urbanas (Teresina e Floriano);
- ◆ Bacia do Rio Jequitinhonha (MG), com inundações em áreas urbanas (Coronel Murta);
- ◆ Bacia do Rio São Francisco (BA, PE e AL), com inundações em áreas urbanas (Pirapora, Juazeiro, Petrolina, Traipu e São Brás, entre outras);

- ◆ Bacia do Rio Paraíba do Sul (SP, RJ e MG), com inundações em áreas urbanas (Guararema, Jacareí, Resende, Barra Mansa, Volta Redonda);
- ◆ Bacia do Rio Iguaçu (PR), com inundações em áreas urbanas (União da Vitória e Porto União);
- ◆ Bacia do Rio Jacuí (SP), com inundações em áreas rurais na bacia do Alto Paraíba do Sul;
- ◆ UHE Salto Santiago (PR), localizada no rio Iguaçu;
- ◆ UHE Jacuí (SP), localizada no rio Jacuí;
- ◆ 15 aproveitamentos na bacia do Rio Grande (SP e MG): Camargos, Itutinga, Funil-Grande, Furnas, M. Moraes, L. C. Barreto, Jaguará, Igarapava, Volta Grande, P. Colômbia, Caconde, Euclides da Cunha, Armando Salles Oliveira, Marimbondo e Água Vermelha;
- ◆ 18 aproveitamentos na bacia do rio Paranaíba (MG): S. Facão, Emborcação, Nova Ponte, Miranda, C. Branco 1 e 2, Corumbá I, III e IV, Itumbiara, C. Dourada, São Simão, Caçu, B. Coqueiros, Salto, S.R. Verdinho, Espora e Olho d'Água;
- ◆ 9 aproveitamentos na bacia do rio Tietê (SP): Henry Borden, Billings, Billings-Pedras, Guarapiranga, Ponte Nova, Edgard de Souza, Barra Bonita, Bariri e Ibitinga.

Os reservatórios de aproveitamentos hidrelétricos do Sistema Interligado Nacional (ou SIN) estão distribuídos em diferentes Estados. A partir da sua implantação, as regiões de entorno começaram a apresentar maior dinamismo socioeconômico e ocupação premente do território. Tais reservatórios propiciaram uma considerável regularização de cheias, sendo que as de menor período de recorrência são sempre amortecidas, reduzindo o impacto de inundações nas áreas ribeirinhas localizadas a jusante. Assim, áreas que outrora eram inundadas com certa frequência passaram a estar mais protegidas, ainda que sujeitas a riscos de inundação.

A utilização dessas áreas – hoje, menos suscetíveis a inundações – com urbanização e aproveitamento agrícola, resultou no estabelecimento de novas restrições hidráulicas de operação dos reservatórios que, da sua finalidade original de geração de energia, passaram a agregar também o propósito do controle de cheias. Deste modo, a avaliação da segurança destes barramentos deveria ser realizada periodicamente.

A fim de amortecer as cheias, um número crescente de reservatórios do Setor Elétrico prevê volumes de laminação, ou seja, são capazes de absorver parcelas das aflúncias da bacia de drenagem de montante, com o objetivo de evitar, com um risco prefixado, danos a

jusante em locais sujeitos a inundações. Os riscos adotados foram computados a partir do estabelecimento dos tempos de recorrência de uma determinada cheia. O único ponto frágil da utilização dos reservatórios originalmente implantados para geração de energia hidroelétrica também para o controle de cheias, simultaneamente é, justamente, o conflito criado entre esses dois tipos de usos.

Outra solução para o controle de cheias que merece ser mencionada é a adotada no Vale do Itajaí. Um convênio estabelecido entre a ANA e autoridades locais viabilizou, durante o ano de 2002, o planejamento, a aquisição, a instalação e a operação de cinco novas estações telemétricas, localizadas em pontos estratégicos da bacia, com finalidade de previsão hidrológica, realização de serviços de manutenção e reposição de placas de modems, que permitem contatar a estação via telefone, assim como receber os dados de chuva e de nível do rio, de vários pontos da bacia, automaticamente e em tempo real.

Outras medidas previstas no âmbito do referido convênio são: o desenvolvimento de modelos matemáticos de previsão de cheias para diversas localidades da bacia; elaboração de um modelo operacional de gestão do sistema de barragens para controle de cheias; implantação de uma estrutura de comunicação e divulgação das informações ambientais disponíveis; e disponibilização das informações do radar meteorológico de Fraiburgo (SC).

Ressaltando-se que não há como evitar totalmente a ocorrência de desastres naturais ou de origem antropogênica, entre eles as inundações, é fundamental que se tente conviver com as possíveis adversidades trazidas por eles. Entende-se por gerenciamento de desastres o conjunto de ações que tem como objetivo mitigar os efeitos negativos destes eventos extremos.

Assim, adotou-se os chamados de sistemas de alerta antecipado, que tem como objetivo primeiro prever e informar à comunidade a possibilidade de ocorrência de um desastre natural (tempestades, deslizamentos, terremotos, inundações, furacões, entre outros). Estes sistemas baseiam-se em três componentes: monitoramento, previsão e decisão (ANDRADE, 2006).

No monitoramento, além da coleta, estão presentes o tratamento, armazenamento e distribuição dos dados hidrometeorológicos. Esses dados são usados para a previsão do hidrograma na seção de interesse. Uma vez de posse desse hidrograma, cabe ao componente de decisão definir as ações a serem implementadas, geralmente por meio de

um plano de gerenciamento da emergência, por um gerente de planícies de inundações ou pelos habitantes da área. Tais organizações poderiam corresponder à Defesa Civil, à Prefeitura Municipal ou ao Comitê de Bacia.

Diferentemente de um plano de gestão de risco, o sistema de alerta não contempla ações de recuperação pós-inundação. Atualmente, a idéia de um sistema de alerta voltado exclusivamente para um tipo de desastre vem sendo criticada pela comunidade científica em favor de sistemas capazes de identificar ameaças múltiplas, permitindo assim uma gestão integrada do risco. Dificuldades econômicas e organizacionais impedem a implementação imediata desses conceitos.

Atualmente, operam no Brasil alguns sistemas de alerta antecipado contra inundações, fundamentados em diferentes métodos, que resultam em tempos de alerta distintos, como se descreve a seguir (ANDRADE, 2006):

- ◆ Bacia do Itajaí: na região da bacia do Itajaí (Santa Catarina) o CEOPS (Centro de Operação do Sistema de Alerta da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí-Açú), vinculado ao Instituto de Pesquisas Ambientais da Universidade Regional de Blumenau, é responsável pelo sistema de alerta desta bacia. A previsão é realizada com base na infraestrutura de monitoramento hidrometeorológico mantida pela ANA e pela EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. As informações da rede telemétrica de pluviômetros são usadas para previsão dos níveis do rio em duas seções com boletins a cada hora e antecedência de até 8 horas (IPA, 2006).
- ◆ Cidade de Manaus: a previsão de cheias é feita pela CPRM com base na correlação do nível d'água atingido em um determinado dia e o pico da cheia daquele ano, que ocorre geralmente em junho. Portanto, atualmente, o sistema procura prever apenas o nível máximo atingido. São realizadas previsões apenas nos dias 31 de março, 30 de abril e 31 de maio de cada ano. A cada previsão, emite-se um boletim que informa a cota do dia de referência, o nível previsto para a cheia do ano (com intervalo de confiança) e uma tabela com informações sobre cheias anteriores. O horizonte de previsão neste caso é de ordem diária. As cheias da região apresentam um longo tempo de percurso, devido às grandes dimensões da bacia hidrográfica e à pequena declividade observada nos leitos dos seus principais corpos d'água. Isto facilita a sua previsibilidade com vários dias de antecedência.

- ◆ Pantanal: as previsões de cheias são realizadas semanalmente pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) Pantanal também com base em correlações de cota da série histórica. Inferem-se as tendências dos níveis em diversas estações, para as quatro semanas seguintes, reavaliando-se continuamente os valores previstos a cada semana, à medida que novos dados são observados. Os valores previstos são enviados por fax ou correio eletrônico a diversas entidades da região e disponibilizados na *internet* na página eletrônica da CPRM.
- ◆ Bacia do Rio Doce: o "Sistema de Alerta contra Cheias da Bacia do Rio Doce" é operado em conjunto entre a ANA e o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). Consiste na coleta e análise de dados de diversas entidades, elaboração de previsão hidrológica e transmissão de informações para Defesa Civil, Corpo de Bombeiros, Polícia Militar e Prefeituras de 16 municípios localizados às margens dos rios Piranga, Piracicaba e Doce. A previsão hidrológica é feita por meio de correlações de vazões a partir de dados coletados nos períodos chuvosos anteriores, a partir de 1997/1998. Estes modelos não quantificam o incremento de vazão devido a uma chuva localizada. O *lead-time* varia entre 3 e 24 h, enquadrando-se apenas no monitoramento e previsão do evento. O órgão produz boletins e os repassa a outras entidades, não propõe ações de preparação e tampouco de restauração após o evento. Também é desconhecida a área atingida pela provável cheia.
- ◆ SAISP: o Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo (SAISP), operado pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH), gera a cada cinco minutos boletins sobre as chuvas e suas consequências na cidade de São Paulo. O monitoramento hidrológico do SAISP é feito pela Rede Telemétrica de Hidrologia do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) e pelo Radar Meteorológico de São Paulo. Os principais produtos do SAISP são os mapas de chuva observada na área do Radar de Ponte Nova, informações de pluviometria e fluviometria de 150 postos telemétricos e o mapa com a previsão de locais potencialmente inundáveis na cidade de São Paulo.
- ◆ Alerta Rio: o Sistema de Alerta de Chuvas Intensas e de Deslizamentos em Encostas da Cidade do Rio de Janeiro foi criado em 25 de setembro de 1996 com o objetivo de emitir boletins de alerta à população (via estações de rádio e TV) sempre que houver previsão de chuvas intensas que possam gerar inundações de vias públicas e/ou acidentes geotécnicos em encostas (deslizamentos). Utiliza-se informações, em tempo real, de 32 estações pluviométricas automáticas instaladas no município do Rio de Janeiro, imagens de radares meteorológicos (Convênio Prefeitura do Rio de Janeiro e Comando da Aeronáutica), detector de raios, dados climáticos de duas estações meteorológicas, imagens de satélite e informações disponíveis na WEB. Os dados são analisados numa

estação central computadorizada, situada na sede a GEO-Rio por geotécnicos e meteorologistas, em esquemas de plantão 24 horas por dia (FUNDAÇÃO INSTITUTO DE GEOTÉCNICA DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO, 2003). Os dados das estações são enviados para a central a cada 15 minutos. O procedimento para a previsão de chuva e do tempo não é informado. Além disso, a prefeitura também incentiva os moradores a terem em suas residências recipientes que funcionem como pluviômetro para acompanhar o desenvolvimento da chuva.

Segundo Martins (2010), a estimativa do valor de uma variável no tempo futuro a partir de informações do presente é a base para a chamada previsão de curto prazo. Para um sistema de alerta antecipado contra inundações, a variável de interesse é a vazão, ou ainda o nível do rio em um determinado ponto, e pode ser feita a partir de:

- ◆ Previsão meteorológica da precipitação, radar ou rede telemétrica de pluviógrafos, integrada a um modelo chuva-vazão;
- ◆ Previsão de vazão com base em níveis ou vazões do rio a montante e de seus afluentes, com estimativa da precipitação na bacia de contribuição lateral se a mesma é significativa.

As previsões baseadas em observações de nível ou vazão a montante são mais precisas, entretanto, proporcionam um horizonte de previsão menor e por isso sua utilização é mais observada em bacias de médio ou grande porte, onde o tempo de deslocamento da cheia é maior. Nas bacias hidrográficas pequenas, onde as inundações se formam mais rapidamente, é mais apropriado o uso de previsão a partir da observação ou previsão da chuva (MARTINS, 2010).

Quando não há modelos para previsão de chuva, algumas hipóteses clássicas são adotadas para estimar sua intensidade no decorrer do evento (ANDRADE, 2006), conforme ilustrado na **Figura 3.12**, a seguir.

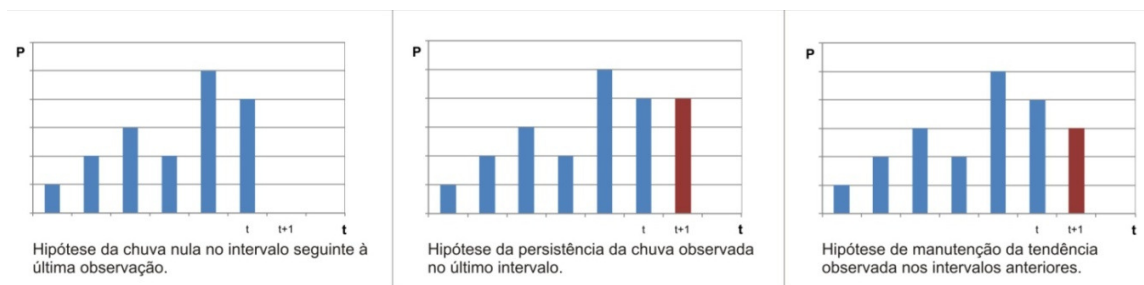


Figura 3.12. Hipóteses clássicas de previsão de chuvas. Fonte: Andrade, 2006.

Prever quantitativamente a ocorrência de chuva tem sido uma tarefa que aglutina esforços de diversos pesquisadores, sejam eles físicos, meteorologistas, engenheiros, etc. O propósito de cada qual faz com que as previsões realizadas sejam em escalas diferentes, temporal e espacialmente. Enquanto previsões anuais e mensais são úteis para operação de reservatórios do setor elétrico (Islam *et al.*, 1993 *apud* ANDRADE, 2006) conclui-se que para escala temporal de 2 h e espacial de 2 a 100 km², o tempo de antecedência da previsão seria de no máximo 3 h (MARTINS, 2010).

A associação de modelos hidrológicos e meteorológicos resulta em melhorias na previsão de vazões, especialmente com o uso da combinação de observações de refletividade obtidas por meio de radar com modelos conceituais de chuva, correlacionando-as com a altura de água disponível na atmosfera (MARTINS, 2010).

O GPS (*Global Positioning System*) também pode ser usado como um instrumento meteorológico. O sinal emitido sofre um atraso ao se propagar na atmosfera neutra (troposfera). Esse atraso é, de certa forma, proporcional à quantidade de água presente na troposfera. Desta forma, é possível inferir o vapor d'água integrado, ou água precipitável (MARTINS, 2010).

Embora o uso de dados de radares meteorológicos seja de grande valia para sistemas de alerta antecipado, não há muitos radares instalados no Brasil, podendo ser citados: três em São Paulo (em Presidente Prudente, São Roque e Salesópolis), um no Paraná (em Teixeira Soares), um em Alagoas (Maceió), um no Ceará (Fortaleza), dois no Rio Grande do Sul, um no Rio de Janeiro e outro em Brasília. Devido a esta limitação, ressalta-se a importância da pesquisa por modelos de previsão que não utilizem esta tecnologia (MARTINS, 2010).

Além das formulações com embasamento físico, outros tipos de modelos também são usados para a previsão de chuva em tempo real. Ao comparar o desempenho da utilização de modelo linear auto-regressivo do tipo média móvel (ARMA), técnicas de redes neurais artificiais (RNA) e o método de regressão não-paramétrica dos k -vizinhos, o modelo de redes neurais se mostrou mais adequado se comparados todos os eventos chuvosos. Apesar das diferentes eficiências, todos esses modelos se mostraram melhores do que as hipóteses de chuva nula, persistência ou tendência (MARTINS, 2010).

Em geral, a utilização desses tipos de previsões como entrada em modelos de transformação chuva-vazão resulta eficiente para as primeiras previsões diferenciando-se à medida que o horizonte de previsão aumentava. A aplicação dessas metodologias (ARMA, RNA e k -vizinhos) requer uma longa série de dados observados, distribuídos espacialmente na bacia hidrográfica, e é mais adequada a eventos chuvosos de longa duração, cujas características de persistência são diferentes das apresentadas pelas chuvas convectivas (MARTINS, 2010).

O Centro de Previsões de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) realiza estimativas de precipitação baseadas em imagens de satélite. As imagens fornecidas pelo satélite GOES são analisadas automaticamente por meio de um algoritmo denominado Hidroestimador. A cada 30 minutos são geradas taxas de precipitação instantânea e acumulada nas últimas 24 horas. Esse intervalo de tempo pode variar, visto que pode haver falhas na obtenção das imagens do satélite (CPTEC, 2006 *apud* ANDRADE, 2006).

O CPTEC também realiza operacionalmente previsões numéricas de tempo incluindo a precipitação, por meio de modelos numéricos de previsão regionais e globais (por exemplo: Regional ETA, Global T126I28, Global T213L42, Ensemble, CATT-BRAMS). Os modelos operam com quadrículas de 20 x 20 km e 40 x 40 km, sendo que os produtos são apresentados para quadrículas associadas a locais notáveis ou, sob encomenda, para áreas de abrangência de bacias, com 5 a 30 dias de antecedência (MARTINS, 2010).

Por fim, é importante ressaltar que o sistema de previsão de cheias no Brasil talvez não seja de grande valia para as barragens que serão escopo deste trabalho (pequenas barragens de material solto), uma vez que não são monitoradas pelos sistemas descritos, muito embora o curso d'água em que elas estejam localizadas o possam ser. Porém, o conhecimento das condições reinantes brasileiras é necessário para que se possa pensar,

ainda que não seja no escopo deste estudo, nas possibilidades de como monitorar as barragens que mais provocam inundações provenientes de rompimento; ou seja, as pequenas barragens de terra. A **Figura 3.13**, a seguir, traz a localização dos postos pluviométricos e fluviométricos na área em estudo, a ser detalhada no Capítulo 6, do presente trabalho.



Figura 3.13. Localização dos postos pluviométricos e fluviométricos na área em estudo.

4) GERENCIAMENTO, AVALIAÇÃO E ANÁLISE DE RISCO EM BARRAGENS

"Em matéria de barragens, a segurança é o que mais conta."

Andre Coyne

4.1) Conceitos Básicos relacionados ao Gerenciamento, Avaliação e Análise de Risco em barragens

Neste Capítulo, serão tratadas questões essenciais do Gerenciamento de Risco em Segurança de Barragens. Neste sub-item, especificamente, todos estes tópicos serão mencionados e conceituados e, em seguida, serão esmiuçados nos sub-itens subsequentes.

A definição técnica de risco vai além de sua definição usual, amplamente discutida no Capítulo 3 deste estudo. O risco técnico é uma medida de probabilidade e de gravidade de efeitos adversos à vida, saúde, propriedades ou ao meio ambiente.

O risco estimado é consequência da combinação de um cenário, uma probabilidade de ocorrência e suas consequências associadas. Desta forma, o risco é estimado pela expectativa matemática das consequências de ocorrência de um evento adverso (produto entre a probabilidade de ocorrência e suas consequências, combinado a todos os cenários possíveis) (ANCOLD, 2003).

Um cenário é uma combinação de circunstâncias únicas, tais como: um evento inicial, velocidade dos ventos, condições do reservatório, operação de comportas, modos de falha, fluxos a jusante e tributários e a presença de certo número de pessoas a jusante da barragem na hora do acidente (ou ruptura), de acordo com fatores tais como: hora de ocorrência, dia da semana e estação climática (ANCOLD, 2003).

O Gerenciamento de Risco é uma abordagem nova no âmbito da segurança de barragens e a literatura em língua portuguesa é bastante escassa neste tema. Alguns termos aqui utilizados foram nomeados a partir de um relatório sobre o tema, desenvolvido pela Comissão Nacional Portuguesa das Grandes Barragens, em janeiro de 2005.

A **Tabela 4.1** traz o glossário de termos sobre o tema gerenciamento de riscos em segurança de barragens.

Tabela 4.1. Glossário dos principais termos relacionados ao Gerenciamento de Risco em Segurança de Barragens.

Termo	Definição
Identificação dos Modos de Falha	Procedimento no qual modos potenciais de falha de um dado sistema (no caso, a barragem como um todo) são identificados.
Risco	Uma medida de consequências adversas passíveis de ocorrência. É estimado a partir de uma expectativa matemática das consequências de um evento adverso (por exemplo: o produto da probabilidade de ocorrência e da sua consequência) ou, como alternativa, pelo tripé composto pelo cenário, probabilidade de ocorrência e as consequências associadas.
Análise de Risco	O uso de informações disponíveis a fim de estimar o risco à indivíduos ou populações, propriedades ou meio ambiente e protegê-los contra potenciais perigos. Geralmente é composta por: definição do escopo, identificação dos perigos e estimativa do risco.
Avaliação de Risco	Trata-se do processo de decisão que decidirá se os riscos existentes são toleráveis e as medidas atuais de controle dos riscos são adequadas e caso a resposta seja negativa, se as medidas alternativas de controle do risco são justificáveis. Necessita de informações conseguidas nas fases de Análise de Risco e Apreciação do Risco.
Controle de Risco	A implementação e reforço das ações a ser feitas a fim de controlar os riscos e periódica re-avaliação da eficácia destas ações ou medidas.
Estimativa de Risco	O processo de quantificar as probabilidades e as consequências que compõem o risco.
Apreciação do Risco	O processo de examinar e julgar a significância do risco.
Identificação do Risco	O processo de determinar o que pode dar errado, o porquê e como.
Gerenciamento ou Gestão de Risco	A aplicação sistemática de políticas, procedimentos e práticas de gerenciamento, relacionadas às tarefas de identificação, análise, avaliação, tratamento e monitoramento do risco.

Fonte: CNPGB, (2005).

A gestão de risco pode ser definida como uma aplicação sistemática de políticas, procedimentos e práticas nas tarefas de identificação, análise, apreciação, avaliação, mitigação e controle do risco. A aplicação da avaliação de risco é um auxílio no gerenciamento de segurança de barragens (ANCOLD, 2003 e CNPGB, 2005). Contudo, o gerenciamento do risco é o objetivo estratégico e a avaliação de risco é o objetivo fundamental.

A Análise de Risco nos fornece um meio (ou ferramenta) para estimar as chances de ocorrência de um dado evento e suas consequências. Ainda, fornece ferramentas capazes de estimar quais serão os riscos após a realização de melhorias nas barragens. A Avaliação de Risco nos informa quais estruturas deveriam ser melhoradas. Portanto, é uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão, que nos ajuda a compreender quais os riscos que dadas estruturas oferecem e os benefícios das opções de melhoria das mesmas (ANCOLD, 2003).

A **Figura 4.1** ilustra a inter-relação entre os componentes da avaliação de risco e do gerenciamento de risco.

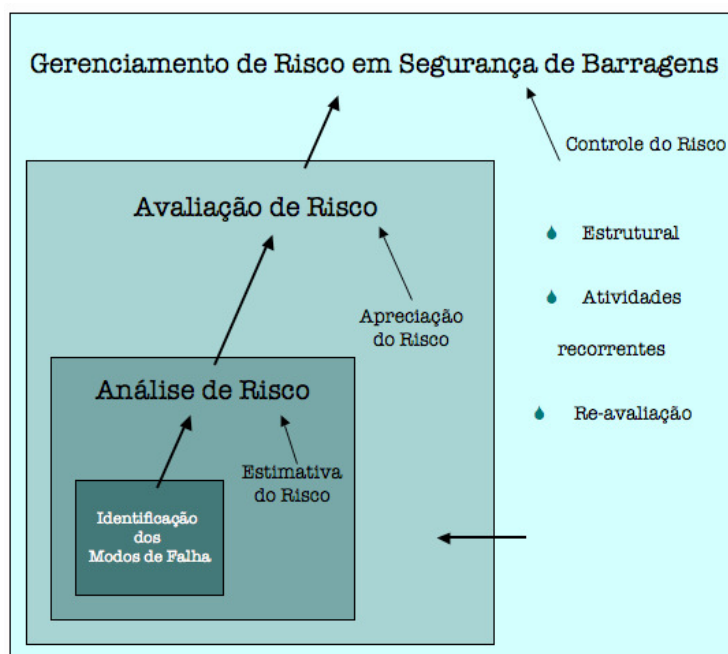


Figura 4.1. Inter-relação entre os componentes do Gerenciamento de Risco. Fonte: Bowles et al 1999.

De acordo com a **Figura 4.1**, pode-se concluir que, para gerenciar o risco em segurança de barragens, ou seja, para administrá-lo é necessário avaliá-lo. A administração do risco compreende as fases de controle do risco e de implementação de medidas mitigadoras e de controle. Ainda, estabelecem-se planos de ações para controlá-lo, a longo prazo. A fase de avaliação de risco compreende ações de apreciação do risco, ou seja, procura-se entender a gravidade do risco estimado, por meio da análise dos cenários possíveis e determinam planos de ação.

Desta forma, compreende-se que a Avaliação de Risco é um processo decisório que vai julgar se os riscos existentes são toleráveis e se as medidas de controle de risco são adequadas. Caso a resposta seja negativa, medidas alternativas de controle de risco fazem-se necessárias. A avaliação de risco incorpora os resultados obtidos pelas fases de Análise do Risco e da Estimativa do Risco, conforme **Figura 4.2** (Slunga, 2001).

A AVALIAÇÃO DE RISCO

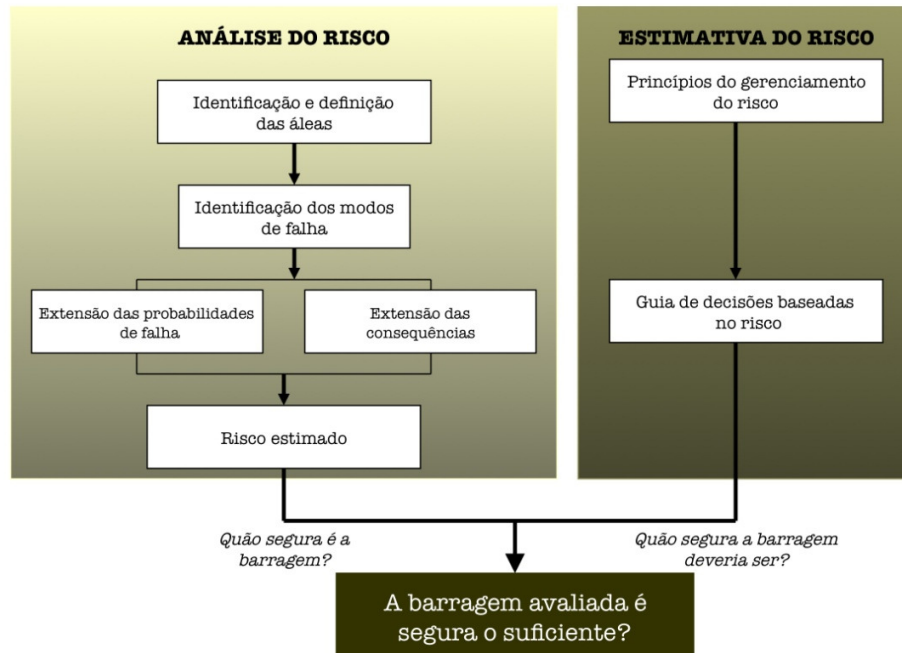


Figura 4.2. A Avaliação de Risco e suas fases. Fonte: Slunga (2001).

Contudo, a análise de risco torna-se necessária. Esta fase compreende ações que visam identificar e quantificar os riscos potencialmente danosos. O primeiro passo em sua direção é a identificação dos modos de falha. O trabalho aqui proposto se encaixa justamente nesta etapa do gerenciamento de risco em barragens.

Desta maneira, tem-se que os elementos globais da avaliação de risco são:

- ◆ Análise do risco (estimativa);
- ◆ Apreciação do risco (decisão sobre quais riscos serão tolerados – o que pode levar a estabelecer políticas sobre riscos aceitáveis);
- ◆ Comparação entre os riscos tolerados com as políticas sobre riscos aceitáveis, levando à recomendações sobre ações futuras que devem auxiliar no processo final de tomada de decisão.

O objetivo fundamental da avaliação de risco é a explicitação e a transparência no tratamento de incertezas. Trata-se de um processo sistemático, o qual propicia um aumento na compreensão das questões de segurança obtida por meio da aplicação de métodos tradicionais de segurança de barragens (ANCOLD, 2003).

As avaliações de risco e as abordagens tradicionais de segurança, desta forma, são complementares e não excludentes. A aplicação de ambas é de suma importância para a garantia de que as barragens sejam realmente seguras. Assim como nas avaliações de segurança tradicionais, as avaliações de risco devem fazer parte de um processo contínuo, periodicamente aplicadas, a fim de manter as estruturas entre níveis aceitáveis de risco. A diferença fundamental entre elas é que as avaliações de risco são ferramentas mais apropriadas para calçar decisões. Este tópico será amplamente discutido no Capítulo 5 deste estudo.

A seguir, faz-se necessário a qualificação dos diferentes atores envolvidos no gerenciamento de risco em barragens. A **Tabela 4.2** mostra quem são os participantes e seus papéis.

Tabela 4.2. Os participantes no Gerenciamento de Risco e seus papéis.

Ator	Papel
Proprietário da Barragem	Tem a responsabilidade do gerenciamento de segurança da barragem e decide sobre quais os riscos que ele tolera.
Decisor	Decide sobre quais os riscos ele tolera e define as necessidades de redução de risco. Às vezes, o proprietário e o decisor são a mesma pessoa.
Analistas de Risco	Estimam os riscos e formulam ações recomendáveis.
Consultores Independentes	Agregam peso ao processo de avaliação de risco realizado, pois asseguram que os procedimentos adotados foram autônomos (sem vícios, independentes, imparciais)
Reguladores de Segurança de Barragens	Estabelecem critérios de proteção dos cidadãos.

Fonte: ANCOLD, 2003.

A **Tabela 4.3** traz as questões que devem ser respondidas pelos diferentes atores no processo de avaliação de riscos de barragens. Vale ressaltar que, a resposta a estas questões são a espinha dorsal de um gerenciamento de risco sistemático e compreensivo.

Tabela 4.3. Os diferentes atores e questões a serem respondidas no processo de avaliação de risco em barragens.

Atores	Questões a serem Respondidas por cada Ator
Analistas de Risco	Quais são as áleas? (fontes potenciais de dano – enchentes, terremotos ...)
	O que pode dar errado? (modos de falha / cenários)
	Quais as chances de que de errado? (condições de carga e resposta do sistema – frequências / probabilidades)
	Quais são as consequências se algo der errado? (perdas de vidas, econômica, impactos intangíveis e incomensuráveis)
	Quais são os riscos? (combinação entre as probabilidades e consequências)
Analistas de Risco, mas endossadas pelo proprietário da barragem	A barragem está segura o suficiente? (comparação entre o risco tolerado e as políticas de riscos aceitáveis)
	Se os riscos não forem aceitáveis, quais medidas devem ser tomadas? (estruturais e/ou não estruturais)
	Os riscos residuais, após serem tomadas medidas de redução de risco, são aceitáveis? (comparação dos riscos calculados após a implementação das medidas redutoras de risco com as políticas de riscos aceitáveis)
	Como os riscos podem ser gerenciados a longo prazo? (implementação de estratégias de redução de riscos, monitoramento, vigilância, treinamento, procedimentos de operação e manutenção (O&M), seguros, revisões das avaliações de segurança, programa de gerenciamento de segurança da barragem)
Proprietário da Barragem	Quais são os riscos tolerados? (apreciação do risco – estabelecimento de políticas de riscos aceitáveis, em concordância com legislações pertinentes e manuais de segurança)
	Qual é a decisão final? (ação de redução de risco a ser implementada, incluindo ações sequenciais e temporais)

Fonte: ANCOLD, 2003.

Os benefícios oferecidos pela avaliação de risco em barragens são, segundo a ANCOLD (2003):

- ♣ uma abordagem explícita e transparente das incertezas;
- ♣ um processo racional e sistemático;
- ♣ uma avaliação de segurança que leva em conta particularidades;
- ♣ avaliação de segurança abrangente, ampla;
- ♣ base racional e, às vezes, quantitativa, para comparar riscos oferecidos entre várias barragens e seus modos de falha;
- ♣ proporciona um embasamento para o planejamento de caminhos ótimos de redução de riscos;

- ◆ uma base para o estabelecimento de metas nas políticas públicas de segurança;
- ◆ uma avaliação de riscos sob todos os níveis de cargas (solicitações, carregamentos);
- ◆ uma compreensão precisa e clara das responsabilidades relacionadas à manutenção da segurança, inerentes ao ramo, aos proprietários de barragens;
- ◆ uma base para demonstrações das diligências necessárias;
- ◆ um modo de avaliar riscos oferecidos por partes da estrutura em que não há regras de segurança previamente estabelecidas;
- ◆ uma maior compreensão no entendimento das questões de segurança de barragens.

Observam-se os seguintes desafios a serem vencidos na aplicação da avaliação de riscos em barragens (ANCOLD, 2003):

- ◆ uma vasta incerteza na estimativa das probabilidades de falha em alguns dos métodos de avaliação de risco disponíveis;
- ◆ uma vasta incerteza na estimativa de perdas de vida, prejuízos e danos resultantes da ruptura de barragens;
- ◆ a aceitação da sociedade em adotar critérios aceitáveis de perdas de vidas ;
- ◆ o alto custo de execução de estudos detalhados de risco (muito embora o mesmo ocorre na aplicação de metodologias tradicionais de segurança);
- ◆ a dificuldade em lidar com a avaliação de uma única área;
- ◆ pouco material humano com experiência, tanto em análises probabilísticas, quanto em engenharia de barragens.

Tanto os benefícios como os desafios listados serão amplamente discutidos no sub-item 4.4 deste capítulo. No sub-item 4.5. serão apresentadas algumas diretrizes para gerenciamento de risco, voltadas a todos os atores envolvidos na questão e, por fim, no sub-item 4.6, far-se-á uma apresentação da Política Nacional de Defesa Civil, a fim de mostrar os tópicos referentes à ruptura de barragens.

4.2) Finalidade da Avaliação e Análise de Risco

O processo de Avaliação do Risco é utilizado para prover informações sobre riscos e suas incertezas associadas, quantificar a significância dos riscos e informar agentes decisores sobre as possibilidades de gerenciamento dos riscos. É um elemento componente do gerenciamento do risco, cujo processo total pode ser definido como uma aplicação sistemática de políticas administrativas, procedimentos e práticas a fim de identificar, analisar, avaliar, tratar e monitorar o risco (ANCOLD, 2003 e Slunga, 2001).

A análise do risco em barragens pode ser categorizada pela natureza do risco que está gerando preocupação. Os riscos em questão devem ser agrupados em quatro categorias básicas, as quais são (Slunga 2001):

- ◆ Riscos devido a condições naturais (cargas normais, sismicidade, cheias, entulho, vento, etc.);
- ◆ Riscos operacionais (confiabilidade do vertedor, erro do operador, etc.);
- ◆ Riscos intrínsecos (idade, reação do material agregado, erosão interna, fadiga do metal, etc.);
- ◆ Riscos sociais (guerra, sabotagem, etc.).

A identificação do risco é o processo de determinar o que pode dar errado, o porquê e como. Os riscos identificados podem assim ser expressos (Slunga 2001):

1. Identificação dos eventos iniciais – intrínsecos ou extrínsecos;
2. Avaliação da resposta do sistema – galgamento, ruptura e não falha;
3. Determinação das ocorrências – descarga abrupta de água do reservatório, em magnitudes diferentes;
4. Estimativa das consequências – perda de vidas, considerações econômicas, sociais e ambientais.

A Análise de Risco é um processo sistemático com as seguintes finalidades: identificação dos modos de falha, estimativa de riscos, avaliação da aceitabilidade ou tolerância aos riscos detectados e comparação de medidas potenciais de redução de risco (ANCOLD, 2003). Os modos de falha são definidos como as maneiras que uma barragem

pode romper, parcial ou totalmente. Para tal, caracteriza-se a contribuição de cada elemento ou componente da estrutura que pode ocasionar a falência, não mais permitindo que ele cumpra sua finalidade construtiva. A fase de identificação dos modos de falha constitui a fase 1 da avaliação de risco.

A conceituação de diferentes possibilidades de modos de falha é parte relevante na identificação do risco. Deve-se fazer uma listagem das possibilidades de falha que são passíveis de acontecer e, para reduzir a lista inicial, elimina-se os tipos de falhas considerados não plausíveis. As falhas plausíveis devem ser incluídas na identificação do risco, mesmo que não haja metodologias disponíveis capazes de analisá-las precisamente (Slunga, 2001).

As falhas são geralmente categorizadas como estática, hidrológica ou sísmica. Tanto na Finlândia como no Brasil, as falhas sísmicas representam uma pequena incidência. Conseqüentemente, as duas primeiras categorias listadas são as mais importantes. Perdas de vidas, econômica, ambiental e social são consequências associadas à cada modo de falha e são partes integrantes na definição do risco, a fim de comparar diferentes alternativas de redução de risco (Slunga, 2001).

A **Figura 4.3.** representa os fatores mais comuns que contribuem com as falhas estática ou hidrológica.

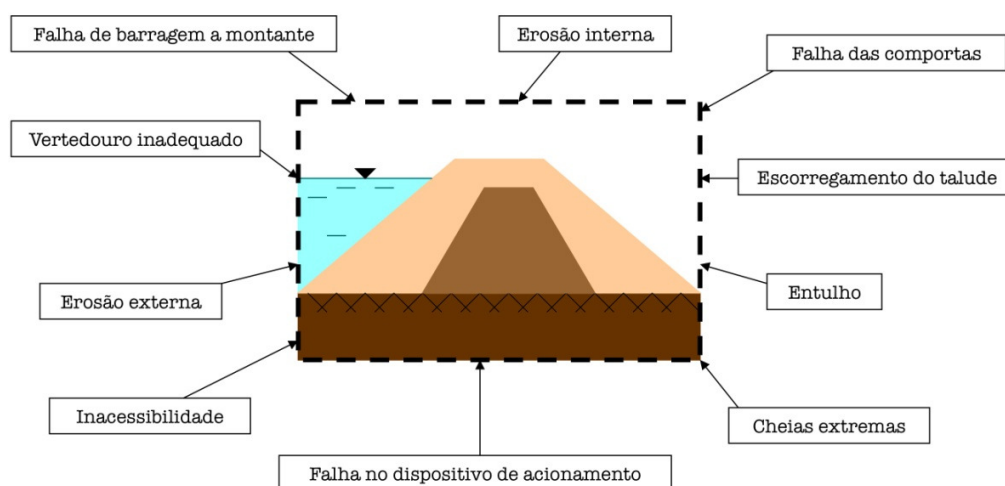


Figura 4.3. Fatores contribuintes para falhas estática ou hidrológica. Fonte: Slunga (2001).

Dentre os fatores listados na **Figura 4.3**, os únicos que merecem uma explicação são o Entulho e a Inacessibilidade, pois os demais são auto explicativos. O Entulho se refere a presença de entulho no reservatório, que pode ser conduzido aos órgãos de descarga, causando uma obstrução dos mesmos e impedindo suas boas operações. A Inacessibilidade diz respeito a impossibilidade de se chegar ao barramento, seja por estradas obstruídas, mau conservadas ou por qualquer outro fator.

A fase 2 (estimativa do risco) da análise de risco de uma barragem é o processo de examinar e julgar as consequências do risco. O estágio da análise do risco é o ponto no qual valores e julgamentos – definidos pelos agentes sociais, regulamentações, legais e do proprietário da estrutura – entram no processo de decisão, ao se avaliar a importância do risco estimado e suas consequências associadas aos danos sociais, ambientais e econômicos, a fim de identificar uma gama de alternativas para se gerenciar o risco. As opiniões podem ser expressas explícita ou implicitamente (Slunga, 2001).

Não existem processos estabelecidos e aceitos para determinar a relevância dos riscos estimados assumidos em projetos de barragens, muito embora a estimativa do risco é parte fundamental na avaliação de risco e na tomada de decisões baseadas no risco. O principal papel da estimativa do risco é a produção de um manual ou guia de decisões a serem tomadas, em caso de um incidente ou acidente com a estrutura, de acordo com os resultados da análise do risco. Seria ideal que esse manual contivesse uma declaração dos princípios de gerenciamento do proprietário da estrutura. O processo de estimativa do risco e seus resultados deveriam ser claramente comunicados a todos os grupos interessados (Slunga, 2001).

O risco estimado está vinculado a dadas probabilidades de certos eventos e algumas respostas listadas na fase de identificação do risco acontecerem. A estimativa da probabilidade é uma das tarefas mais difíceis de realizar ao longo de todo o processo de avaliação de risco. O resultado calculado por esta estimativa é justamente o risco de falha. Existem duas ferramentas capazes de estimar esta probabilidade: as árvores de falha e as árvores de eventos (Slunga, 2001).

A estimativa da probabilidade pode ser agrupada em três abordagens gerais, a serem utilizadas dependendo do tipo e qualidade dos dados disponíveis. São elas: a abordagem analítica, a abordagem empírica e a abordagem de julgamento.

A abordagem analítica é a mais sofisticada das três e é calçada no uso de modelos lógicos de cálculo das probabilidades. A abordagem empírica faz uso de banco de dados existentes a fim de gerar probabilidades estimadas baseadas na frequência histórica. Esta será a utilizada no algoritmo do IPRB (índice de Priorização de Risco para Barragens), ferramenta a ser proposta neste estudo. A abordagem de julgamento reconhece que muitos dos sistemas não podem ser adequadamente descritos puramente por meios dos métodos analíticos ou empíricos. Contudo, tenta-se incluir a experiência e o julgamento de engenheiros de barragens, ou seja, um especialista no assunto, na hora de estimar as probabilidades (Slunga, 2001).

Geralmente os dados disponíveis que darão suporte à abordagem analítica detalhada, em uma barragem já existente, são insuficientes. Além do mais, alguns processos, como os de erosão interna, não podem ser realisticamente modelados a fim de estimar as probabilidades de falha.

O uso da abordagem empírica depende de banco de dados existentes, os quais podem ser limitados. As estatísticas geradas por esse tipo de abordagem não levam em consideração condições específicas existentes em barragens em estudo. Portanto, uma maneira apropriada de se garantir a segurança da barragem seria aplicar ambas as abordagens, em barragens onde haja dados disponíveis para tal e, ainda, uni-las à abordagem de julgamento. Uma maneira de combinar o julgamento de um especialista com dados empíricos é pelo uso do Teorema de Bayes, que será explicado no Capítulo 6 do presente estudo por ser ferramenta fundamental e a base do algoritmo do IPRB, o qual permite estipular um peso para a confiança relativa em cada estimativa de probabilidade (Slunga, 2001).

A avaliação de risco probabilística faz uso de uma base racional e provê uma visão mais profunda dos riscos oferecidos por uma dada estrutura do que as metodologias tradicionais de avaliação de segurança de barragens. Uma avaliação de risco completa promove uma visão compreensiva, ou seja, abrangente, holística, da segurança da barragem, visto que leva em consideração todas as condições de carregamento as quais uma barragem está sujeita. A abordagem de avaliação de segurança baseada em risco não deve ser encarada como uma substituta dos julgamento realizado por especialistas. Muito pelo contrário, esse processo de avaliação depende profundamente dos conhecimentos adquiridos por esses especialistas (Slunga 2001).

O conceito da avaliação probabilística de risco deve ser utilizado para diferentes propósitos e níveis, por exemplo (Slunga 2001):

- ◆ na fase do projeto da barragem, a fim de construir uma estrutura equilibrada, por permitir maior atenção ou maior grau de conservadorismo nas partes da estrutura onde as incertezas e suas consequências parecem ser mais graves;
- ◆ como base no auxílio à tomada de decisão, em situações como a seleção da(s) intervenção(ões) dentre diferentes ações remediadoras e de melhorias em barragens antigas onde há restrições financeiras e de tempo;
- ◆ relacionar os níveis de risco oferecidos pela engenharia de barragens, para que seja possível sua redução a níveis de risco considerados como sendo aceitáveis pela sociedade.

Em alguns países, uma análise probabilística simplificada do risco tem sido feita a fim de reavaliar e re-certificar barragens de enrocamento, além de priorizar medidas remediadoras. Esta análise é conhecida por aplicação sistemática de julgamento de engenharia. As etapas a serem cumpridas para tal abordagem são (Hoeg, 1996 *apud* Slunga, 2001):

1ª Etapa: Inspeção do terreno onde a barragem está situada e da própria barragem para a familiarização da equipe envolvida no estudo com as condições apresentadas pela estrutura e local de implantação.

- ◆ Somente a análise de documentação da barragem é insuficiente.

2ª Etapa: Separação dos modos de falha.

- ◆ Revisão dos incidentes ocorridos e estatísticas de falha em barragens similares;
- ◆ Visualização e definição de todos os potenciais modos de falha, sem ainda atribuir as probabilidades de acontecimento;
- ◆ Eliminação de alguns modos de falha por razões físicas e documentação dos argumentos para tal eliminação.

3ª Etapa: Construção da árvore de eventos.

- ◆ As consequências das falhas são definidas e detalhadas, mostrando a inter-relação entre os eventos;
- ◆ Nessa etapa, somente serão estudados efeitos (parte da árvore) que levarão a uma liberação incontrolável da água contida no reservatório;
- ◆ Decomposição das sequências de falha (eventos que a compõe) é essencial para o cumprimento da próxima etapa.

4ª Etapa: Estimativa das probabilidades.

- ◆ Essa etapa não requer informações estatísticas, muito embora elas sejam úteis;
- ◆ A composição das probabilidades dos eventos pode ser calculada subjetivamente pela avaliação por julgamento de probabilidade. A fim de obter consistência entre os membros da equipe que estão realizando o estudo e entre barragens, usar as informações contidas na **Tabela 4.4.** que traz exemplos de descrições verbais de incerteza.

Tabela 4.4. Exemplos de descrições verbais de incertezas.

Descrição	Probabilidade de Ocorrência	Outra escala de Probabilidade
Virtualmente impossível	0,01	(0,001)
Pouco possível	0,10	
Completamente incerto	0,50	
Muito possivelmente	0,90	
Possivelmente certo	0,99	(0,999)

5ª Etapa: Avaliação dos resultados.

- ◆ A probabilidade geral de falha é calculada pela composição da probabilidade dos eventos.
- ◆ Análise da árvore de eventos para determinar o porquê que certos modos de falha contribuem com mais riscos que outros. As possíveis razões detectadas são cuidadosamente examinadas e revisadas.

6ª Etapa: Interações.

- ◆ O procedimento quase sempre identifica alguns modos de falha menos sujeitos à contribuir para a probabilidade geral de falha da barragem. Ele identifica a vulnerabilidade das estruturas.
- ◆ Outros modos podem ter sido superestimados durante o processo inicial e alguns outros podem requerer dados e análises posteriores.
- ◆ Pode-se refinar as probabilidades estimadas na 4ª etapa por meio de interações subsequentes.

4.3) Natureza da Avaliação e Análise de Risco

O termo risco implica na combinação da probabilidade da ocorrência de um dado evento e as consequências que devem ocorrer derivadas desse mesmo evento. Um caso especial é o risco anual que pode ser obtido pelo produto das probabilidades e consequências. Os procedimentos descritos anteriormente abordam o risco em termos de probabilidade de falha. Eventos de falha diferentes e períodos de ocorrência distintos podem ter um impacto no resultado das consequências à jusante. Portanto, ao se analisar as consequências de um dado evento, as dimensões do risco devem ser também consideradas (Slunga, 2001).

Em eventos que causem falhas nas estruturas, mas não há expectativa de fatalidade ou dano irreparável ao meio ambiente, a meta anual de probabilidade de falha pode ser estipulada por análises econômica e de risco. Uma boa faixa de valor ou critério de risco a ser adotado seria entre 10^{-3} e 10^{-2} (Hoeg 1996 *apud* Slunga 2001).

Alguns exemplos de critérios que integram a avaliação de risco são o risco individual e o risco social, cujas descrições encontram-se a seguir.

Risco Individual: é a somatória total dos riscos oferecidos por uma barragem. Portanto, os riscos encontrados por todos os modos de falhas e cenários devem ser combinados a fim de obter um risco oferecido geral. O Risco Individual deve ser computado como a média do risco individual sobre a população em risco, ou como o Risco Individual para a pessoa em maior risco. A média condicional de probabilidade de morte, dado um incidente ou acidente com uma barragem, é a perda de vidas esperada (PVE) dividida pela população em risco (PER). Contudo, o valor encontrado para a pessoa sujeita a um maior risco é o valor realmente relevante. Os critérios do Risco Individual oferecido são (Slunga 2001):

- ◆ Valor limite da média de risco individual: 1E-05 por ano;
- ◆ Valor limite de risco individual para a pessoa em maior risco: 1E-04 por ano;
- ◆ Valor objetivo para a média de risco individual: 1E-06 por ano;
- ◆ Valor objetivo do risco individual por pessoa em maior risco: 1E-05 por ano.

Segundo a ANCOLD (1994) *apud* Slunga (2001), os riscos individuais para barragens existentes podem ser dez vezes maiores do que para barragens novas. Isto porque o custo para redução de riscos oferecidos pelas barragens existentes são geralmente elevados.

Risco Social: trata-se do risco anual, para um determinado evento, o qual resultará em um número de mortes igual ou maior que um dado número estipulado como limite superior. Tem como objetivo considerar a aversão da sociedade a desastres que envolvam fatalidades múltiplas.

Em alguns países, quando o risco calculado para uma barragem existente for maior que o limite aceito pelos diferentes atores, adotam-se medidas de redução dos riscos. Valores abaixo do limite de tolerância devem ser observados para todas as barragens, pois tratam-se de valores aceitáveis, que foram determinados a partir dos princípios ALARP (*As Low As Reasonable Practicable* - Baixo Suficiente Para Ser Razoavelmente Praticável) (Slunga 2001).

O princípio ALARP parte da idéia de que os riscos quantificados acima do limite de tolerância, só serão realmente aceitos se medidas de redução de risco forem impraticáveis ou se o custo de redução do risco for desproporcional à melhoria conseguida (ANCOLD, 2003).

Para uma barragem existente, cujo risco calculado está abaixo do limite de tolerância mas acima da linha objetivo, o teste ALARP determina se a redução do risco é possível, tanto econômica como tecnicamente. Caso seja, o risco tolerável será determinado por considerações que constam no princípio ALARP (Slunga 2001).

Para uma barragem existente, cujo risco calculado está abaixo da linha objetivo, pode-se pensar em medidas que reduzam riscos vindouros. Isso pode ser encarado como uma extensão do princípio ALARP (Bowles 2001 e Slunga 2001).

Para novas barragens ou barragens existentes, cujas capacidades do reservatório serão ampliadas e seus custos marginais de redução de risco são similares ao de uma barragem nova, espera-se que o valor do risco calculado esteja abaixo da linha objetivo. Isto porque normalmente calcula-se que as áreas situadas a jusante da barragem deverão ser futuramente desenvolvidas; ou seja, terão um aumento no número de habitantes, de infra-estruturas, campos agrícolas, entre outras (Slunga 2001).

Cabe ao decisor, ou decisores, tomar medidas cabíveis de combate ou mitigação do risco, logo após informado do grau de periculosidade oferecido pelo risco e os critérios adotados a fim avaliar esse risco. Existe um grande número de procedimentos que podem ser adotados para auxiliar o processo decisório. Alguns desses procedimentos incluem: consultas à comunidade e partes interessadas, questões de seguro, aspectos legais, informação do risco para o decisor e público, esclarecimento do papel do decisor e documentação da decisão tomada (Slunga 2001).

A mitigação do risco é uma aplicação seletiva de técnicas apropriadas e gerenciamento de princípios a fim de reduzir a iminência de incidente ou acidente com uma barragem ou a consequência desse mesmo incidente ou, ainda, ambas as coisas (Slunga 2001).

A mitigação do risco é um passo lógico após a estimativa do risco. A análise do risco é usada para identificar e priorizar componentes do sistema integrante de uma barragem que podem trazer benefícios plausíveis, visando a melhoria na segurança da estrutura como um todo. Se o risco calculado para uma dada estrutura for muito alto, alternativas são propostas para reduzir o risco de falha do sistema.

Essas alternativas são incorporadas no modelo de risco e re-avaliações são conduzidas a fim de estimar seus impactos. Após repetidos estudos testando-se diferentes alternativas, as soluções ou alternativas mais adequadas serão providas aos decisores para que estes possam estimar os custos de melhoramento da barragem, corroborando a segurança geral. Esta etapa da avaliação de risco é uma das mais importantes, visto que chega-se ao objetivo da avaliação, após completados todos os outros procedimentos anteriores já descritos (Slunga 2001).

Dados coletados e disponibilizados nos últimos 10 ou 20 anos proporcionaram a base para a realização de análises de riscos associados com a construção, operação e falha de barragens; daí, excluem-se aspectos ambientais indiretos e problemas de re-assentamento

de populações. A seguir, serão identificados os principais riscos associados com cada tipo e altura de barragem, em quaisquer circunstâncias. Esses dados podem ser úteis em diversos aspectos, tais como (Slunga, 2001):

- em análises extensivas de risco para grandes barragens, conferem probabilidades confiáveis a serem atribuídas nas árvores de eventos;
- em análises simplificadas de risco para pequenas barragens, auxiliam a realização de uma análise de baixo custo por já se conhecer os principais riscos esperados;
- na identificação das possibilidades de redução desses riscos por meio da adoção de medidas de baixo custo, sejam elas estruturais ou não estruturais.

A idade de uma barragem é um dos fatores primordiais para a determinação de suas condições de segurança (Veltrop, 1991). As taxas anuais de falha de barragem causada por envelhecimento da estrutura são de 2×10^{-4} , antes de 1950, e de 2×10^{-5} , desde então (Slunga 2001). Ou seja, barragens mais velhas ou que foram construídas com técnicas menos elaboradas tendem a oferecer mais riscos.

A deterioração das estruturas pode ser causada pelos efeitos do tempo nos materiais de construção, infiltrações no concreto, reação de agregados alcalinos nas estruturas de concreto e ainda corrosão das partes metálicas da estrutura. As consequências das falhas variam consideravelmente, dependendo do tipo de barragem e da causa da falha. Outros fatores intervenientes são a extensão do rompimento e o tempo que a estrutura leva para romper.

Entre as barragens de concreto e alvenaria de concreto, 80% das falhas devem-se à fadiga na barragem (alvenaria de concreto) ou problemas na fundação (deslizamento, assentamento) e 15% são causadas por *piping* na fundação (orifícios causados por *piping* podem crescer rapidamente) (Lemperiere 1999 *apud* Slunga 2001).

Apenas 10% das rupturas de barragens de material solto são abruptas. Sua causa está relacionada ao escorregamento dos taludes do maciço, ou da ruptura da fundação por liquefação ou baixa capacidade de carga. Mais de 80% das falhas estão relacionadas à erosão interna (*piping* na barragem ou fundação) ou erosão externa causada por galgamento devido à cheias naturais ou onda de cheia resultante de falha de barragem

situada à montante. Na maioria dos casos, essas falhas levaram horas para acontecer (Lemperiere 1999 *apud* Slunga 2001).

Progressos no campo da elaboração de planos de emergência e sistemas de aviso são essenciais para a melhoria da segurança das populações em risco. Esses fatores são beneficiados por um moderno sistema de telecomunicações, porém sua eficácia varia com o tipo de barragem e circunstâncias relacionadas à falha. Falhas ocorridas durante a noite e baixa temperatura da água aumentam consideravelmente o risco de fatalidades. Quanto às circunstâncias relacionadas à falha, pode-se classificá-las da seguinte maneira (Lemperiere 1999 *apud* Slunga 2001):

- ◆ circunstâncias excepcionais: enchente, ondas de cheia causada por ruptura de barragem à montante, sismicidade e guerra;
- ◆ circunstâncias normais: primeiro enchimento, idade (após dois anos de operação) e construção.

A avaliação de risco para circunstâncias excepcionais é baseada na probabilidade e impactos de tais circunstâncias. A seguir, elas serão minuciosamente descritas.

Segundo Slunga (2001), as cheias causam a metade de falhas em barragens, mas infelizmente o universo das barragens a que se referem estas estatísticas não foi apresentado. A análise de risco deve ser altamente eficiente na estimativa de ocorrência de cheias, as quais são classificadas em três categorias a seguir:

- ◆ cheia durante a construção:

O galgamento não foi responsável por falha em barragens de alvenaria de concreto e concreto durante sua construção. Houve algumas falhas em barragens de material solto com menos de 30 metros de altura, mas 0,5% das barragens de material solto com mais de 30 metros falharam devido ao galgamento. O risco pode ser avaliado e reduzido com a construção de adequadas obras de desvio, incluindo ensecadeiras.

- ◆ cheia durante a operação:

O galgamento foi responsável por 0,5% das falhas de barragens de material solto (excetuando-se a China) e por 2% nas chinesas, durante a fase de operação da estrutura.

Tais falhas geralmente ocorrem para enchentes que passam pela crista da barragem, carreando os materiais coesivos, e gerando processos de erosão nos taludes de jusante.

Poucas barragens de concreto e 1% das barragens de alvenaria de concreto falharam em razão de cheias. As falhas reportadas ocorreram devido ao deslizamento pela fundação ou por rachaduras na alvenaria de concreto, mas não por erosão no sopé da barragem.

A maioria das falhas ocorreram devido ao sub-dimensionamento dos vertedores. A análise de risco de vertedores é relativamente fácil e eficiente se focada no problema real: quais barragens estão oferecendo mais risco, levando-se em consideração a probabilidade real de falha (qual a onda de cheia capaz de fazer o vertedor falhar - fluxo de falha iminente)? A comparação do fluxo iminente de falha com o fluxo esperado para um período de retorno de 10.000 anos pode ajudar a identificar as barragens em maior risco e a estimar a extensão das probabilidades de falha.

Para barragens com comportas, um risco adicional pode ser o galgamento devido uma falha operacional da comporta. A probabilidade anual dessa ocorrência é de 0,5 ou 1×10^{-4} . Chuvas excepcionais, que causam grandes enchentes, podem interromper o suprimento de energia elétrica, a transmissão, o funcionamento de computadores e, ainda, causar pânico. Existem dois pontos chaves para se avaliar este risco: a probabilidade da onda de cheia passar pela barragem quando todas as comportas estiverem fechadas e a qualidade da manutenção, do treinamento dos operadores, das medidas de emergência, da comunicação, do acesso à estrutura, etc.

Após a avaliação da probabilidade de falha, há a possibilidade de reduzir esse valor em 5 ou 10%, em virtude da realização de medidas estruturais, tais como: acréscimo de 1 ou 2 metros na crista de barragens de material solto, proteção dos taludes de jusante contra erosões, instalação de vertedores de emergência a fim de permitir a extravasão das águas após atingida a capacidade de armazenamento. Alguns exemplos de vertedores de emergência são: *flashboards*, *fuseplugs*, *fusegates*. O risco oferecido pela presença de entulho (árvore, veículos, lixo, etc.) é frequentemente negligenciado, mas sua presença pode acarretar sérias consequências.

A execução de planos de emergência e o rápido acionamento dos sistemas de aviso (alerta) podem ser muito eficazes contra as enchentes. A eficácia dessas ações aumenta

com o acompanhamento de boletins de previsão do tempo, devendo-se ficar atento as chuvas fortes.

- ◆ cheia em uma vasta área:

Os planos de emergência devem também prever ações em caso de enchente que atinge uma vasta área, mesmo que essa cheia não esteja colocando a barragem em risco. O rápido acionamento dos sistemas de aviso pode ser necessário. No futuro, o risco humano global associado a esses eventos pode ser maior que o risco de falha de uma barragem. Este tipo de risco costuma ser negligenciado por ser considerado como além das responsabilidades do dono da estrutura. Contudo, essa postura é condenável por pelo menos três motivos :

- ◆ a operação de várias barragens evita ou reduz pequenas enchentes à jusante. Algumas áreas consideradas seguras podem ter sido ocupadas e ficaram expostas a uma maior incidência de cheias, devido ao aumento da impermeabilização do solo, o que propicia um maior coeficiente de escoamento superficial;
- ◆ a operação de comportas (ou falha estrutural) pode causar aumento repentino na vazão colocando, assim, a estrutura em perigo. Mesmo no caso de pequenas vazões;
- ◆ onde há barragens sem vertedores, a hidrografia à jusante deve ser muito mais inclinada que a hidrografia natural, pois o fluxo de descarga pode passar do zero à 500 m³/s, muito rapidamente.

Há registros de seis falhas envolvendo barragens de alvenaria de concreto, que aconteceram devido à falha de uma barragem de montante. O número desses acontecimentos pode não parecer significativo se comparado ao número de barragens existentes, mas é alto se comparado ao número de barragens existentes à jusante de um grande reservatório. Para tais barragens, uma falha em alguma estrutura situada à montante pode representar um dos maiores riscos, com uma probabilidade anual de ocorrência por volta de 10⁻⁴ ou mais (Slunga 2001).

Barramentos que estão sujeitos a falha repentina podem aumentar significativamente o risco para barragens situadas à jusante deles. Isso porque, pode-se não ter tempo suficiente para a manobra de comportas nos vertedores. Outro risco é o oferecido por barramentos naturais, causado por deslizamento de terra. Esse tipo de barramento é um dos mais

perigosos, pois pode falhar em horas, meses ou séculos após a sua formação (Lemperiere 1999 *apud* Slunga 2001).

Os riscos oferecidos por abalos sísmicos ou sismicidade não devem ser ignorados, principalmente em áreas já sujeitas a abalos naturais. Somente algumas barragens com altura superior a 15 metros foram danificadas devido à sismicidade, mas centenas de pequenas barragens foram destruídas em apenas alguns minutos. Muito embora a sua probabilidade anual de falha, considerando-se todas as barragens, seja menor que 10^{-6} na maioria dos casos, pode chegar a ser 10^{-3} para área susceptíveis a abalos naturais (Slunga 2001).

As consequências de um abalo sísmico são (Slunga 2001):

- ◆ falha repentina, como por exemplo no caso da liquefação dos materiais finos não coesivos, falha estrutural do contra-fortes;
- ◆ falhas retardadas devido à rachaduras, que podem durar horas ou dias, principalmente em barragens de alvenaria de concreto ou de material solto, desprovidas de filtros ou drenos.

A avaliação sísmica do risco é muito menos precisa do que a avaliação de risco de cheias ou enchentes e os planos de emergência são menos eficientes no caso de falhas repentinas. Medidas estruturais mais dispendiosas podem ser necessárias (Lemperiere 1999 *apud* Slunga 2001).

O rompimento de diques fluviais na China vem sendo usado como arma de guerra por mais de 1.000 anos. Em 1938, um desses eventos causou a morte de mais de 500.000 pessoas. O número de anos em que barragens com mais de 30 metros foram envolvidas em guerra é pequeno. A sua probabilidade anual de falha está entre 10^{-2} e 10^{-3} . As barragens em maior risco são aquelas cujas falhas causariam as piores consequências (Slunga 2001).

Muito embora a avaliação de risco dificilmente consiga determinar as probabilidades de falha devido a guerras, ela pode ser bastante útil a fim de identificar modos de falhas potenciais, causados por atos de guerra ou terrorismo. Dessa forma, consegue-se a proteção contra esses atos, ao estimar suas possíveis consequências e ao preparar os planos de emergência e sistemas de aviso (Lemperiere 1999 *apud* Slunga 2001).

As avaliações de risco são geralmente baseadas em dados físicos ou estatísticos. Seria mais eficaz se estudos sobre as causas humanas de falha, como por exemplo, a falta de experiência de projetistas e construtores, controle e especificações mal identificadas, falta de treinamento do operador, etc., ganhassem impulso (Lemperiere 1999 *apud* Slunga 2001). De certa forma, em circunstâncias normais, a segurança de barragens é essencialmente influenciada pelo comportamento humano. A avaliação de risco deve, portanto, prestar bastante atenção a esse fator (Slunga 2001).

As **Tabelas 4.5** e **4.6** trazem informações referentes a aspectos de segurança relacionados ao fator humano e a classificação das falhas humanas, respectivamente. Vale ressaltar que os fatores humanos são relevantes para barragens em que exista regras de operação. Este foi uma das causas do grave incidente que ocorreu nas barragens brasileiras Armando de Salles Oliveira e Euclides da Cunha, em 1977.

Tabela 4.5. Aspectos de segurança relacionados a fatores humanos.

A Função	O Indivíduo	A Organização
Tarefas a serem executadas	Competência	Cultura
Carga horária de trabalho	Habilidades	Liderança
Ambiente de trabalho	Personalidade	Recursos
Exposição	Atitudes	Procedimentos de trabalho
Controles	Percepção do risco	Comunicações
Procedimentos	-	-

Fonte: ANCOLD, 2003.

Tabela 4.6. Classificação das falhas humanas.

Falhas humanas	Erros	Baseados nas habilidades	Deslizes
			Lapsos de memória
		Baseados em mau-preparo	Falta de conhecimento das regras
	Violações		Falta de conhecimento
			Rotina
			Circunstancial
			Excepcional

Fonte: ANCOLD, 2003.

Falhas ocorridas no primeiro enchimento do reservatório geralmente ocorrem durante a primeira estação de cheias após o término das obras de construção da barragem, mas algumas falhas aconteceram durante sua construção ou anos depois (Slunga 2001).

Desde 1950, 0,15% das barragens falharam no primeiro enchimento. A altura da barragem não tem influência sobre este quesito. Apenas algumas barragens de material

solto falharam no primeiro enchimento após 1965. Os motivos foram problemas na fundação e nas tubulações enterradas. O uso de filtros e drenos parece melhorar a segurança das estruturas (Slunga 2001).

No futuro, as chances de uma barragem sofrer falha no primeiro enchimento deverá ser uma em mil. Isto, dever-se-á ao melhoramento técnico geral e melhorias no monitoramento das estruturas, mas uma redução ainda maior das probabilidades de falha deste tipo, parece pouco provável.

Algumas estatísticas mostram que, as barragens mais susceptíveis ao *piping* são as antigas barragens de alvenaria de concreto. As principais causas de falhas em barragens de concreto e alvenaria de concreto são deslizamento no maciço ou *piping* na fundação (Slunga 2001).

O *piping* na fundação foi a causa de falha em inúmeras barragens de material solto e algumas de alvenaria de concreto ou concreto. A falha na fundação de barragens de concreto geralmente ocorre nos primeiros 3 a 5 anos, mas há exceções. Falhas causadas por erosão interna no corpo de barragens de material solto ou por tubulações enterradas são comuns. Nenhuma estrutura robusta de concreto sofreu falha por esse motivo (Slunga 2001).

A melhoria nas questões de segurança de barragens se deve graças ao progresso das práticas de projeto e das técnicas construtivas. Porém, caso ocorram melhorias também nas áreas de manutenção e monitoramento, um enorme passo poderá ser dado em direção à segurança. Fazer uso de inspeções visuais apropriadas, de um cuidadoso controle e acompanhamento de vazamentos, é a melhor maneira de atingir este objetivo. O monitoramento preveniu a ocorrência de muitas falhas e reduziu as consequências de tantas outras (Slunga 2001). A informação de que a média de vítimas de falhas de barragens devido ao envelhecimento da estruturas é cinco vezes menor do que qualquer outra das possíveis causas parece corroborar com esta afirmação.

Caso exista um programa de monitoramento, a probabilidade de falha pode ser diretamente ligada à qualidade do monitoramento e não aos dados físicos e as propriedades da barragem. Metade das barragens de material solto que falharam devido à sua idade, nos últimos 40 anos, tinham mais de um quilômetro de comprimento (Lemperiere 1999 *apud* Slunga 2001).

Os acidentes durante a construção de barragens são o principal risco ao homem. Ele é geralmente ignorado pelos projetistas e construtores e costuma oferecer mais riscos que as falhas da estrutura. Seu custo correspondente tem sido de 3% do custo direto da obra, o que significa um custo maior do que os gerados por todas as falhas possíveis juntas (Slunga, 2001).

Contudo, as avaliações de risco e os métodos práticos de melhorias da segurança são apresentados como ferramentas para auxiliar na redução desses acidentes. Com gastos em medidas de segurança inferiores a 0,5% do custo total da obra, evita-se a perda de vidas e/ou sequelas irreparáveis. Essas medidas também podem ajudar a economizar entre 1 e 2% do custo total da obra, visto que proporcionam menores custos com acidentes (Slunga 2001).

Slunga (2001) qualifica alguns estudos sobre as barragens finlandesas e completa com algumas de suas próprias observações. A maioria delas são barragens homogêneas de material solto, de terra ou *till* glacial (mistura não estratificada de argila, areia, cascalho e seixos misturados uns aos outros), cujo revestimento dos taludes é de *till*. Algumas barragens de menor porte apresentam, também, revestimentos de argila seca. Foi possível constatar que os tipos mais comuns de eventos que causaram falhas são: operação de comportas, erosão externa, insuficiência de borda-livre e erosões interna e externa no corpo da barragem.

A seguir, apresentam-se as principais causas de acidentes com barragens de material solto, detalhadamente descritos (Slunga, 2001).

Operações de vertedor e comporta:

- ◆ vertedor com descarga insuficiente para a cheia de projeto ou mesmo menores;
- ◆ performance hidráulica dos vertedores desconhecida ou insatisfatória sob grandes descargas;
- ◆ falhas na abertura de comportas;
- ◆ vertedor bloqueado devido à presença de entulho;
- ◆ falha do sistema de alarmes;
- ◆ inspeções e testes insuficientes nos equipamentos elétricos e mecânicos;

- ◆ *backup* insuficiente para alguns sistemas;
- ◆ fatores humanos.

Acessibilidade:

- ◆ tempo de aviso insuficiente, em falhas de pequenas barragens;
- ◆ pouca disponibilidade de funcionários;
- ◆ vias de acesso intransitáveis devido a alagamentos;
- ◆ falta de preparo de planos de emergência.

Comunicação:

- ◆ limitações na comunicação dos funcionários, em áreas remotas;
- ◆ fatores climáticos extremos afetam os sistemas de alarmes automatizados, controles remotos e sistemas de comunicação;
- ◆ durante emergências, há uma dificuldade em avaliar a situação e tomar decisões acertadas, dada a complexidade da situação.

Erosão externa:

- ◆ descarga excessiva pelos vertedores, que causa erosão na tomada d'água, sopé dos taludes de jusante e, ainda, possibilidade de cavitação no vertedor;
- ◆ danos nas camadas de proteção contra erosão à montante, devido à ação de ondas.

Corpo e fundação da barragem:

- ◆ sintomas de envelhecimento e erosão interna devido à exposição de longo prazo a cargas que causam mudanças na integridade estrutural da barragem e na sua fundação;
- ◆ maneiras inadequadas de monitoramento, controle e análise das condições da barragem e de sua fundação, ou dificuldades em localizar e reabilitar partes deterioradas;
- ◆ investigações insuficientes na área de implantação da barragem.

Portanto, pode-se concluir que a avaliação de risco pode ser aplicada em diversas ocasiões, visando uma gama diversificada de objetivos. Ou seja, por meio dela pode-se analisar o sucesso de um projeto de barragem, avaliar os riscos ambientais associados a um projeto e auxiliar a estipulação de preços de seguros.

Mas, o mais importante é a possibilidade de prevenção contra acontecimentos nefastos, como o que ocorreu em 2005 na cidade de Nova Orleans, cujos diques de proteção se romperam. Vale lembrar que, até hoje, esta cidade não conseguiu se recuperar ecológica e economicamente e, ainda, o acidente gerou mazelas sociais incomensuráveis.

4.4) Benefícios e Desafios da Avaliação e da Análise de Risco

Há uma ampla gama de benefícios oferecidos e desafios a serem vencidos pela avaliação de risco em barragens, que são apresentados no Manual de Avaliação de Risco Australiano (ANCOLD, 2003). No presente sub-item, um detalhamento destes benefícios e desafios serão apresentados, começando-se pelos benefícios.

1º. Uma abordagem explícita e transparente das incertezas.

O conceito de probabilidade ou chance de ocorrência propiciou à humanidade a possibilidade de lidar com incertezas. A Engenharia de Barragens sempre levou em consideração estas incertezas, mesmo que intuitivamente, visto que trata-se de uma variável inerente a este ramo de conhecimento. Este caráter incerto deve-se, basicamente, à aleatoriedade da ocorrência de eventos naturais, como a cheia e a sismicidade, variações nas propriedades dos materiais e das fundações e, em alguns casos, conhecimento limitado sobre os fenômenos naturais, a propriedade de materiais e dos processos de falha.

Uma vez que a avaliação de risco visa identificar as fontes, as naturezas e a escala de abrangência destas incertezas, propicia a racionalização e a sistematização de um conhecimento empírico.

2º. Um processo racional e sistemático.

A utilização de metodologias de Avaliação de Risco e suas naturezas serão amplamente discutidas no Capítulo 5 deste estudo. Por hora, deve-se saber que uma das metas de sua aplicação é a revisão das questões de segurança, necessárias ao processo de avaliação de risco.

Desta maneira, proporciona uma estruturação racional e sistêmica, gerando todo tipo de informação necessária ao julgamento da adequação da segurança de dadas estruturas. As Avaliações de Risco e as Avaliações Tradicionais de Segurança são, portanto, elementos chave na estruturação do problema. A **Figura 4.4.** ilustra um processo típico de avaliação de risco em barragem e ajuda a compreensão das questões aqui expostas.

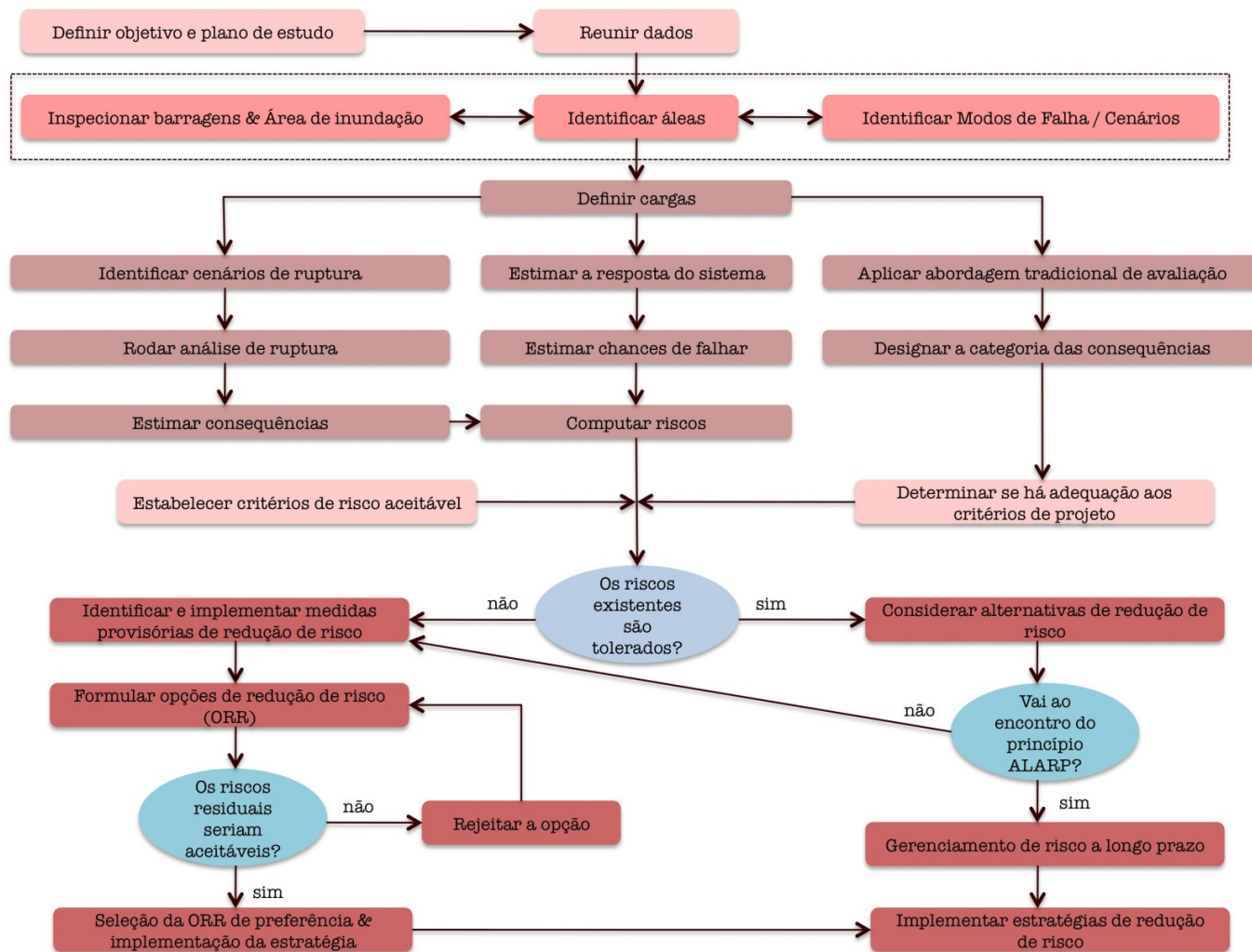


Figura 4.4. Processo típico de Avaliação de Risco em Barragens. Fonte: ANCOLD, 2003.

3º. Uma avaliação de segurança que leva em conta particularidades.

A Avaliação de Risco requer uma estimativa detalhada das consequências de uma falha potencial da barragem. Ou seja, trata-se de uma questão específica para cada estrutura e está relacionada ao requerimento de níveis particulares de segurança.

A abordagem tradicional relaciona recomendações de segurança para consequências amplas e genéricas de incidentes. Assim sendo, várias barragens são incluídas na mesma "categoria de consequências", as quais foram estabelecidas por julgamento de engenheiros especialistas ou com base em um número limitado de dados de consequências associadas às rupturas.

4º. Avaliação de segurança compreensiva, ampla.

A Avaliação de Risco requer a identificação de todas as áleas e uma estimativa ampla dos riscos associados a todos os modos de falhas.

5º. Base racional e, às vezes, quantitativa, para comparar riscos oferecidos entre várias barragens e modos de falha.

A Avaliação de Risco visa prover comparações de riscos oferecido por todos os modos de falha de uma barragem, ou mesmo por um conjunto de barragens. Juntamente com a estimativa de incertezas, a avaliação de risco proporciona uma base hierarquizada de riscos oferecidos, ou seja, é possível classificar as barragens, priorizá-las e designar a urgência de reparos entre todas de um mesmo portfólio, levando-se em consideração diferentes cenários potenciais de falha. Na abordagem tradicional de segurança, esta comparação fica prejudicada devido a um número diverso de medidas de segurança, que variam de acordo com os modos de falha e os elementos relacionados ao tipo de barragem.

6º. Proporciona um embasamento para o planejamento de caminhos ótimos de redução de riscos.

A estruturação da avaliação de risco provê maneiras de computar o custo efetivo relativo de uma grande diversidade de medidas de redução de risco. Esta possibilidade oferece a possibilidade de uma racionalização nas obras a serem realizadas, na fase de planejamento de caminhos ótimos de redução de riscos, para todo o conjunto de

barragens de um portfólio e para todos os modos de falha possíveis. Obviamente, há uma otimização também de recursos, geralmente escassos.

7º. Uma base para o estabelecimento de metas nas políticas públicas de segurança.

Este benefício começa a ser percebido com o tempo, a partir do momento que as avaliações de risco vão se desenvolvendo e se tornam uma prática regular. Abordagens tradicionais são montadas a partir de visões segmentadas de margens de segurança. Por exemplo, o engenheiro estrutural desenvolve padrões mínimos de segurança relacionados à estrutura da barragem, engenheiros hidráulicos desenvolvem padrões para as questões hidráulicas e assim por adiante. Cada grupo desenvolve um bom trabalho técnico, mas a margem de segurança não foi estabelecida sobre uma base comum. O único mote seguido por todos é a aversão a falhas.

A avaliação de risco, com todos os seus desafios, consegue fazer algo que não era possível no desenvolvimento tradicional dos trabalhos de engenharia. Ela traz o balanço por meio da moeda comum denominada risco estimado e proporciona uma plataforma holística para o estabelecimento de metas nas políticas públicas de segurança – no caso brasileiro há a Política Nacional de Defesa Civil.

Muitos métodos e padrões tradicionais de avaliação de segurança dão diretrizes detalhadas para o projeto de novas barragens. As avaliações de risco proporcionam metas a serem atingidas nos projetos. Trata-se, portanto, de uma fase anterior ao próprio projeto da estrutura. As avaliações de risco apontam para a coisa certa a ser feita, enquanto que as abordagens tradicionais fornecem um guia em como fazer a coisa certa da maneira correta.

8º. Uma avaliação de riscos sob todos os níveis de solicitações (carregamentos).

A avaliação de risco examina os riscos levando em consideração todos os níveis de cargas, desde a situação ideal de cargas até em cenários críticos. Desta forma, provê informações abrangentes, holísticas que auxiliam na tomada de decisão. Ao aplicar metodologias tradicionais de avaliação de segurança, há uma tendência em focar eventos extremos, o que pode ocasionar em uma subestimação de carregamentos que geram cargas menores. Os eventos extremos podem não ser os maiores contribuintes de riscos.

9º. Uma compreensão precisa e clara das responsabilidades relacionadas à manutenção da segurança, inerentes ao ramo, aos proprietários de barragens.

A estimativa de risco específica para barragens proporciona ao proprietário da estrutura uma visão confiável das questões de segurança inerentes a este ramo. Tal visão é crucial para um melhor planejamento estratégico das metas a serem alcançadas em termos empresariais. Também, pode ser uma valiosa ferramenta na negociação de contratação de seguros.

10º. Uma base para demonstrações das diligências necessárias.

A engenharia de barragens, geralmente, parte do pressuposto que se uma barragem passou na avaliação tradicional de segurança, os riscos residuais podem ser negligenciados, pois acredita-se que eles são tolerados. O único problema desta teoria é que, na maioria das vezes, estes riscos residuais são desconhecidos. É consenso que os riscos residuais não são iguais a zero. A avaliação de risco envolve um exame detalhado das áreas, proporcionando uma estimativa explícita destes riscos residuais. Eles podem ser riscos relacionados a perda de vidas, a aceitação do risco pela sociedade ou atores diretamente envolvidos, entre outros. Desta forma, é uma ferramenta de auxílio aos proprietários, pois os ajudam a visualizar os riscos que estão sendo oferecidos a terceiros. Além disso, possibilita um planejamento de ações que visem a diminuição destes riscos, da maneira mais eficiente possível (na hora certa, no ponto certo da estrutura, com a alocação certa de recursos financeiros).

11º. Um modo de avaliar riscos oferecidos por partes da estrutura em que não há regras de segurança previamente estabelecidas.

Existem algumas partes componentes de barragens nas quais os requisitos de segurança não são claros e tampouco consensuais; principalmente, para barragens já existentes. A confiabilidade requerida para vertedores de descarga é um exemplo, pois não foi definida de uma maneira quantitativa, pelas práticas tradicionais de segurança. A avaliação de risco, com sua abordagem sistemática e racional, possibilita lidar-se com tais situações.

12º. Uma maior compreensão no entendimento das questões de segurança de barragens.

A análise de risco traz um grande avanço para a compreensão das questões de segurança que envolvem barragens. Como exemplo, pode-se citar a análise sistemática da lógica dos modos de falhas. Nesta ocasião, não se procura uma quantificação puramente numérica, a qual carrega consigo uma grande gama de incertezas. Deste modo, o processo de análise do risco é o real benefício da avaliação de risco em barragens.

Observa-se os seguintes desafios a serem vencidos na aplicação da avaliação de riscos em barragens. Mas, antes, vale ressaltar que, todos os obstáculos a serem listados são perfeitamente possíveis de ser superados.

1º. Uma vasta incerteza na estimativa das probabilidades de falha em alguns dos métodos de avaliação de risco disponíveis.

As metodologias disponíveis para análises da probabilidade quantitativa de falha da estrutura ainda estão sendo desenvolvidas. Como se visa quantificar incertezas para que se possa tomar decisões referentes à segurança, esta preocupação com a análise probabilística utilizada é de suma importância. Acredita-se que conforme pesquisas vão sendo realizadas e com o incremento da experiência acumulada na prática de gerenciamento de riscos relacionados à barragens, este ponto poderá ser superado. Obviamente, parece adequado pensar que a estimativa de probabilidade de ocorrência de qualquer evento sempre permanecerá sujeita a incertezas, porém a análise de risco não cria as incertezas. A análise de risco expõe estas incertezas, as quais permanecem escondidas na avaliação tradicional de segurança.

2º. Uma vasta incerteza na estimativa de perdas de vida, prejuízos e danos resultantes da ruptura de barragens.

Riscos oferecidos à vida costumam ser fatores determinantes na estipulação dos níveis desejáveis de segurança. A análise de dados conseguidos a partir de acidentes com rupturas de barragens indicam uma grande variação do número de fatalidades ocorridas para uma dada população em risco. Desta forma, os métodos correntes disponíveis para a estimativa de perdas de vidas carregam consigo uma grande incerteza; entretanto, várias pesquisas relacionadas a esta problemática vem sendo

desenvolvidas a fim de aprimorá-los. A estimativa de danos materiais e ao meio ambiente também ainda está calçada em um número excessivo de incertezas.

3º. A aceitação da sociedade em adotar critérios de perdas de vidas aceitáveis.

Existe uma preocupação no campo da engenharia de barragens, ao redor do mundo, sobre como adotar critérios de perdas toleráveis de vidas. Entretanto, alguns reguladores de indústrias perigosas (químicas e nucleares, por exemplo) vem estipulando estes critérios. Alguns podem vir a crer que, estes critérios de perdas toleráveis de vidas não tem o endosso da comunidade ou do governo que age em nome da comunidade. O processo necessário ao estabelecimento destes critérios, geralmente, levam em conta a consulta a comunidade e, desta maneira, promove-se uma oportunidade para expor os riscos estimados e aferir a decisão pela atitude da comunidade.

4º. O alto custo de execução de estudos detalhados de risco (muito embora o mesmo ocorre na aplicação de metodologias tradicionais de segurança).

Estudos muito detalhados de avaliação de risco podem ser demorados e custosos. Pode-se pensar que o dinheiro empregado na realização de avaliações de risco poderia ser utilizado na melhoria de outras atividades relacionadas a segurança, tais como o monitoramento e provisões de segurança. Entretanto, a recomendação básica em avaliações de risco é que se deve proceder em etapas. Dependendo do resultado obtido nas avaliações preliminares é que se pode julgar se há ou não necessidade de estudos mais aprofundados. Vale ressaltar que, no cômputo do custo referente as avaliações de risco entra a atividade de coleta de dados e sua análise, assim como as avaliações tradicionais de segurança. Todas estas atividades são requeridas na revisão da avaliação de segurança de qualquer barragem.

5º. A dificuldade em lidar com a avaliação de uma única álea.

A avaliação de risco requer que os riscos totais, ou seja, aqueles provenientes de todas as áleas, sejam estimados. Ainda, necessita-se de um estudo mais amplo que decida se os cálculos de estimativa da vazão máxima de cheia adotada no projeto do vertedor estão corretos (ou qualquer outro aspecto singular de segurança inerente as outras áleas). Nas abordagens tradicionais de segurança, esta adequação, relacionada à cada álea, é avaliada individualmente. Desta forma, os riscos oferecidos por todas as

áleaas em conjunto são claramente negligenciados. Ou seja, a análise de risco para uma única álea é realmente factível. Ainda, se há um senso comum sobre os benefícios provenientes das análises de risco, a avaliação do risco oferecido por uma única álea é uma possibilidade real e muito útil para o gerenciamento de risco. Especialmente em casos em que há a necessidade de comparações entre barragens contidas em um mesmo portfólio. Neste caso, a análise de uma única álea é essencial.

6º. Pouco material humano com experiência tanto em análises probabilísticas quanto em engenharia de barragens.

Para a realização de avaliações de risco em barragens, são necessárias pessoas que entendam não só de engenharia de barragens, mas também de seus mecanismos de falhas e, ainda, tenha um bom conhecimento sobre avaliações de risco. Seria recomendável que estas pessoas tivessem também uma intimidade com modelos de análises probabilísticas. Atualmente, ainda são poucas as pessoas que conseguem reunir todas estas áreas de conhecimento. Muito embora, com o tempo, tais profissionais certamente surgirão.

4.5) Diretrizes para a Avaliação e Análise de Risco

Este sub-item trata da listagem das ações necessárias para realizar uma avaliação de risco em barragens. Estas diretrizes estão contidas no Manual de Avaliação de Risco da Austrália (ANCOLD, 2003).

1º - Planejamento da Avaliação de Risco:

- 1.a) estabelecimento do propósito do estudo de avaliação de risco e o contexto da decisão a ser tomada;
- 1.b) determinação do tipo, nível e rigor requerido para o propósito estabelecido para a avaliação de segurança;
- 1.c) identificação do contexto legal e regulador referente à atividade (barragens);
- 1.d) planejar os procedimentos de avaliação de risco como um processo sistemático. A **Figura 4.5** ilustra um exemplo do procedimento listado no item 1.d.

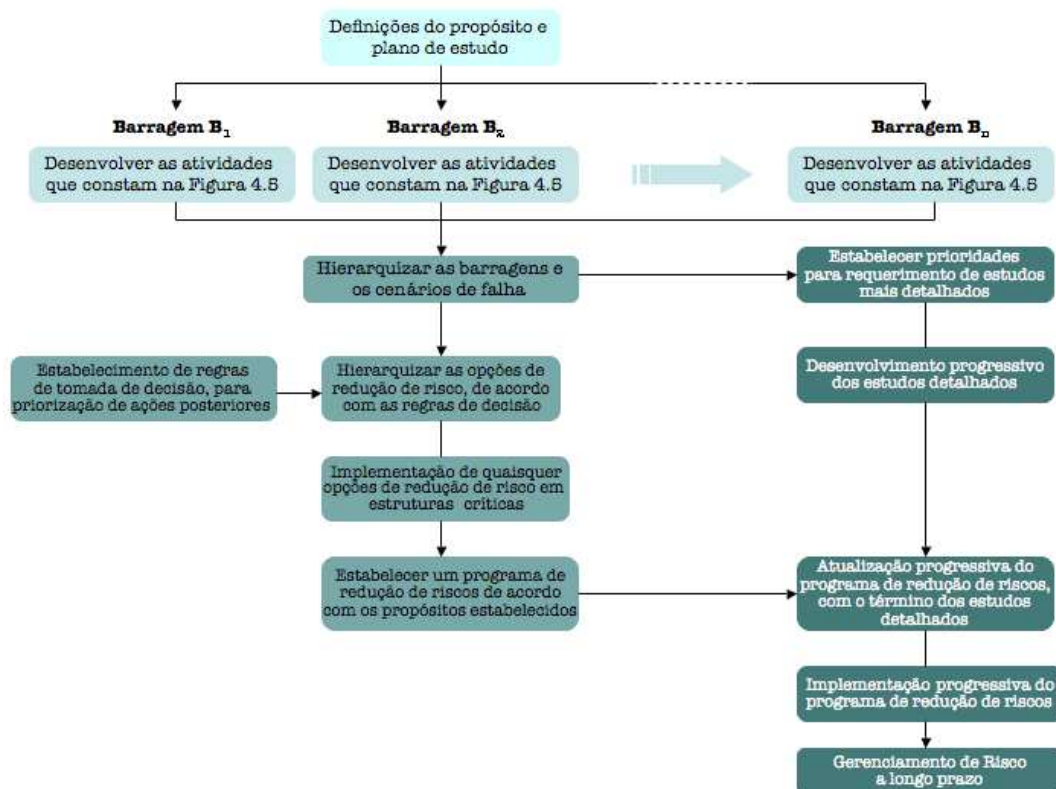


Figura 4.5. Processo típico de um portfólio de avaliação de risco. Fonte: ANCOLD, 2003.

- 1.e) estabelecer o cenário onde a avaliação de risco será efetuada;
- 1.f) identificar os atores essenciais ao estudo e seus respectivos papéis;
- 1.g) planejamento e implementação de um documento que aborde o estudo de risco de uma forma ampla e compreensiva. Além deste procedimento prévio, ir documentando os acontecimentos, progressivamente, ao longo do estudo;
- 1.h) planejamento e seguimento de procedimentos de qualidade assegurados por outros estudos de risco.

2º - Coleta de Dados:

- 2.a) coletar todos os dados relevantes sobre as barragens em estudo e indicar suas fontes;
- 2.b) definição dos tópicos a serem analisados (configuração da barragem, regras de operação do reservatório, defeitos conhecidos, documentação, ...) e

determinação dos pontos chave, os quais tenham influência sobre os riscos oferecidos.

3º - Inspeção da barragem e da área inundada:

- 3.a) reunir a equipe que realizará a inspeção e preparação para sair a campo;
- 3.b) inspeção da barragem e da área inundada.

4º - Identificação das áleas – quais são as fontes potenciais de dano? (análise de risco):

- 4.a) identificar todas as áleas a serem analisadas.

5º - Análise dos modos de falha - o que pode dar errado? (análise de risco):

- 5.a) identificar os modos de falha a serem analisados;
- 5.b) identificação das classes de falhas a serem analisadas.

6º - Definição das solicitações e cenários (análise de risco):

- 6.a) estabelecer as solicitações atuantes na estrutura e seus cenários, juntamente com sua propensão à ocorrência.

7º - Quais as probabilidades de que algo dê errado? (análise de risco):

- 7.a) definição da lógica dos mecanismos de falha;
- 7.b) estimativa da potencialidade ou da probabilidade de falha na estrutura, cargas atuantes sob condições normais e anormais;
- 7.c) na combinação das probabilidades anuais estimadas das cargas atuantes/cenários ou falhas iniciais (6.a ou 7.b) com as probabilidades de falhas condicionais (7.b), para obter a estimativa da probabilidade anual geral de falha;
- 7.d) na estimativa do grau de incerteza associado a probabilidade de falha, realizar uma análise de sensibilidade.

8º - Estimativa das consequências (análise de risco):

- 8.a) identificar os cenários de ruptura da barragem;
- 8.b) estimar a magnitude da inundação a jusante, para cada cenário representativo, associado à uma falha ou ruptura da estrutura;
- 8.c) determinar se a avaliação das consequências deve ser baseada nas características atuais do uso e ocupação do solo a jusante e/ou em tendências de ocupação;
- 8.d) estimar as perdas de vida;
- 8.e) estimar as perdas monetárias, econômicas e financeiras;
- 8.f) estimar as perdas incomensuráveis (ver **Tabela 4.7**, a seguir);
- 8.g) estimar as consequências intangíveis (ver **Tabela 4.8**, a seguir);
- 8.h) identificar as preocupações da comunidade;
- 8.i) estimar o grau de incerteza das várias consequências e/ou realizar uma análise de sensibilidade.

É importante qualificar o que são perdas incomensuráveis e intangíveis. Para tal, a **Tabela 4.7** traz exemplos de impactos incomensuráveis e a **Tabela 4.8**, de impactos intangíveis. Porém, é necessário que alguns esclarecimentos sejam feitos. Na **Tabela 4.7**, tem-se que:

- 1. Impactos não são exaustivos;
- 2. Curto prazo: período de até 1 ano (pode ser definido de outra maneira);
- 3. Médio prazo: período compreendido entre 1 e 10 anos (por exemplo);
- 4. Longo prazo: período com mais de 10 anos (por exemplo);
- 5. A tabela ilustra apenas um exemplo, que numa situação real deverá abarcar todos os cenários de falhas possíveis;
- 6. As consequências em cenários de inundação são incrementais.

Tabela 4.7. Impactos incomensuráveis.

Probabilidade “f” de falha da barragem	Impacto da Falha	Quantidade	Severidade	Persistência
1.0E-05 por ano (probabilidade combinada para os cenários de falha)	Destruição de habitat	-	Alta	Médio prazo
	Destruição de florestas tropicais	50 ha	Alta	Longo prazo
	Destruição de florestas	300 ha	Alta	Médio prazo
	Remoção da camada superficial do solo em área cultivada	500 ha	Alta	Longo prazo
	Deposição de sedimentos em área cultivada	200 ha	Alta	Longo prazo
	Deposição de resíduos florestais em área cultivada	30 ha	Alta	Curto prazo
	Risco de doenças em cidade abastecida por barragem	3.000 pessoas em risco	Mediana	Curto prazo
	Dano em áreas alagadiças localizadas a 80 km a jusante	3 ha afetados	Baixa	Curto prazo
1.3E-04 por ano (probabilidade combinada para os cenários de falha)	Destruição de habitat	-	Alta	Médio prazo
	Destruição de florestas tropicais	5 ha	Alta	Longo prazo
	Destruição de florestas	50 ha	Alta	Médio prazo
	Remoção da camada superficial do solo em área cultivada	5 ha	Alta	Longo prazo
	Deposição de sedimentos em área cultivada	1 ha	Alta	Longo prazo
	Deposição de resíduos florestais em área cultivada	0,5 ha	Alta	Curto prazo
	Risco de doenças em cidade abastecida por barragem	3.000 pessoas em risco	Mediana	Curto prazo
	Dano em áreas alagadiças localizadas a 80 km à jusante	Nenhum efeito significativo	-	-

Fonte: adaptado de ANCOLD, 2003.

Para a **Tabela 4.8**, tem-se que:

1. Curto prazo: período de até 1 ano (pode ser definido de outra maneira);
2. Médio prazo: período compreendido entre 1 e 10 anos (por exemplo);
3. Longo prazo: período com mais de 10 anos (por exemplo);
4. A tabela ilustra apenas um exemplo, que numa situação real deverá abarcar todos os cenários de falhas possíveis;
5. As consequências em cenários de inundação são incrementais.

Tabela 4.8. Impactos intangíveis.

Probabilidade “f” de falha da barragem	Impacto da Falha	Severidade	Persistência
1.0E-05 por ano (probabilidade combinada para os cenários de falha)	Pesar sofrido pelos parentes das vítimas (estimativa de 500 pessoas afetadas)	Alta	Longo prazo
	Pesar sofrido por parentes distantes das vítimas (estimativa de 3.000 pessoas afetadas)	Mediana	Curto prazo
	Trauma do pessoal responsável pelos procedimentos de emergência	Alta	Curto prazo
	Trauma social	Mediana	Médio prazo
	Perda de heranças naturais causadas pela destruição de habitat	Mediana	Longo prazo
	Abalo na reputação do proprietário da estrutura	Alta	Longo prazo
	Abalo na reputação do projetista da barragem	Alta	Longo prazo
	Medo de processos jurídicos	Alta	Curto prazo
1.3E-04 por ano (probabilidade combinada para os cenários de falha)	Pesar sofrido pelos parentes das vítimas (estimativa de 500 pessoas afetadas)	Alta	Longo prazo
	Pesar sofrido por parentes distantes das vítimas (estimativa de 3.000 pessoas afetadas)	Mediana	Curto prazo
	Trauma do pessoal responsável pelos procedimentos de emergência	Alta	Curto prazo
	Trauma social	Mediana	Médio prazo
	Perda de heranças naturais causadas pela destruição de hábitat	Mediana	Longo prazo
	Abalo na reputação do proprietário da estrutura	Alta	Longo prazo
	Abalo na reputação do projetista da barragem	Alta	Longo prazo
	Medo de processos jurídicos	Alta	Curto prazo

Fonte: adaptado de ANCOLD, 2003.

9º - Estimativa dos riscos – quais são os riscos? (análise de risco):

- 9.a) reportar os riscos à vida;
- 9.b) reportar os riscos relacionados às perdas monetárias, econômicas e financeiras;
- 9.c) reportar os riscos incomensuráveis;
- 9.d) reportar os riscos intangíveis;
- 9.e) reportar os riscos relativos à preocupações da comunidade;
- 9.f) classificar os riscos como sociais ou econômicos;

- 9.g) identificar a distribuição dos riscos entre benefícios e custos;
- 9.h) reportar o resultado das avaliações tradicionais de segurança;
- 9.i) reportar os graus de incertezas associadas aos riscos e os resultados da análise de sensibilidade;
- 9.j) Preparar um resumo sobre os riscos.

10º - Política de Riscos Aceitáveis – Quais são os riscos tolerados? (avaliação de risco):

- 10.a) desenvolver uma política sobre os riscos tolerados e seus critérios de aceitação.

11º - Comparação entre os riscos medidos com os critérios de riscos aceitáveis – Os riscos medidos são toleráveis? (pergunta chave na avaliação de risco):

- 11.a) comparar os riscos à vida com as políticas e critérios estabelecidos pelo dono da estrutura.
- 11.b) comparar os riscos monetários, econômicos e financeiros com as políticas de riscos aceitáveis e os critérios estabelecidos pelo dono da estrutura. Reportar ao proprietário as implicações dos riscos sobre a viabilidade da exploração econômica da estrutura;
- 11.c) comparar os riscos incomensuráveis e intangíveis com as políticas de riscos aceitáveis;
- 11.d) julgar o grau de tolerância sob as preocupações sociais;
- 11.e) comparar as condições de segurança da barragem obtidas nas análises tradicionais de segurança com os padrões aceitáveis;
- 11.f) se alguma decisão pode vir a ser controversa ou, ainda, atinja interesses públicos, marcar uma assembléia pública;
- 11.g) formular uma recomendação que subsidie a tomada de decisão e submeta-a ao decisor;
- 11.h) determine se os riscos são aceitáveis.

12º - Opções de redução dos riscos – se os riscos não forem toleráveis, como eles podem ser mitigados? (gerenciamento de risco):

- 12.a) identificar e descrever detalhadamente uma gama de opções de redução dos riscos;
- 12.b) estimar o sacrifício envolvido na implementação de cada alternativa redutora de risco.

13º - Os riscos residuais são toleráveis, caso se implemente qualquer medida mitigadora dos riscos? (gerenciamento de risco):

- 13.a) para cada medida mitigadora, determinar se os riscos residuais serão aceitáveis.

14º - Selecione a medida mitigadora escolhida e trace sua estratégia de implementação (gerenciamento de risco):

- 14.a) selecionar a opção mitigadora mais viável;
- 14.b) selecione a estratégia e o programa de implementação.

15º - Implementação da medida mitigadora escolhida (gerenciamento de risco):

- 15.a) implementação da medida mitigadora escolhida e sua estratégia.

16º - Gerenciamento de risco a longo prazo – Como os riscos serão gerenciados a longo prazo? (gerenciamento de risco):

- 16.a) instituir um regime efetivo de gerenciamento de risco a longo prazo.

4.6) A Política Brasileira de Defesa contra Riscos Oferecidos por Barragens

A Política Nacional de Defesa Civil foi elaborada pelo Ministério de Integração Social (Secretaria Nacional de Defesa Civil) em 2007 e seu objetivo é a garantia do direito natural à vida e à incolumidade, ambos previstos na Constituição Federal. Sua garantia deve ser proporcionada pela Defesa Civil.

A importância desta Política para este estudo consiste no fato de ser o documento legal que dá pistas sobre as políticas públicas de prevenção contra riscos, citadas por todo este Capítulo. Ainda, classifica os desastres relacionados com o rompimento de barragens e riscos de inundação a jusante como sendo um desastre relacionado à construção civil, englobado dentro dos desastres humanos de natureza tecnológica (MIN, 2007, pgs. 50-52).

A Política estabelece um código para os acidentes com barragens (CODAR-HT.CRB e CODAR-21.304), que visa desenvolver uma base teórica para programas de bancos de dados relacionados com desastres, ameaças e riscos e permitir a interação entre eles, com o uso de programas informatizados, relacionados com cartografia, base geográfica, entre outros (MIN, 2007 pgs.65 e 77). Nota-se que esta idéia é muito interessante, pois se teria um banco de dados brasileiro, com valores mais confiáveis para a realização de nossos estudos de risco, pois são provenientes da nossa realidade.

Foi redigida a partir de quatorze diferentes condicionantes, que vão diretamente ao encontro das razões listadas no Capítulo 3 deste estudo, que, resumidamente, podem ser contidas em quatro princípios básicos: o desenvolvimento sustentável, a redução de desastres, a proteção ambiental e o bem-estar social.

Estipula seis metas, dentre as quais a 4ª e a 5ª merecem ser citadas. A meta 4 visa promover o estudo aprofundado sobre riscos, com o auxílio de ferramentas como a organização de um banco de dados e a execução de mapas temáticos relacionando áreas, vulnerabilidades e riscos. O único ponto negativo desta meta está no fato de só prever estas ações para 80 municípios, os quais não são citados, situados em áreas de maior risco de desastres. Segundo o IBGE¹, o Brasil possuía, em 2000, 5.561 municípios. Ou seja, apenas 1,44% dos municípios brasileiros possuem áreas sujeitas a desastres? Estas áreas foram determinadas a partir de quais critérios? Isto certamente não fica claro.

A meta 5 prediz a promoção, em todos os municípios com mais de 20.000 habitantes, que segundo o IBGE eram, em 2000, 1.487, ou seja 26,8% dos municípios brasileiros, de estudos de riscos de desastres, objetivando o microzoneamento urbano,

¹ Fonte: www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/indicadores_sociais_municipais/tabela1a.shtm, em 25/09/08.

com vistas à elaboração do Plano Diretor de Desenvolvimento Municipal (previsto na Constituição Federal). Não seria ótimo se conseguíssemos fazer valer as leis de zoneamento existentes? A realidade brasileira é: nem mesmo as cidades ricas (caso de São Paulo) consegue-se fazer valer a lei. Os motivos também já foram explicados no Capítulo 3, com uma colocação extremamente convincente feita por Thouret (2003), que mereceu transcrição (página 53).

Um importante fato em direção ao estabelecimento de barragens seguras no Brasil é a Lei nº 168, de 04/03/2010, sancionada em 22 de setembro de 2010 e que vinha tramitando desde 2003. Ela estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e cria o Sistema Nacional de Informações sobre a Segurança de Barragens (SNISB). Dentre os itens previstos na Lei que merecem ser citados neste estudo, tem-se doze, os quais são:

- ◆ Capítulo I – Artigo 1º - I: *barramentos maiores ou iguais a 15 metros de altura*: ou seja, exclui-se as pequenas barragens;
- ◆ Capítulo I – Artigo 1º - II: *barramentos com volume de reservatório maior ou igual a 3.000.000 m³*: ou seja, exclui-se as pequenas barragens;
- ◆ Capítulo II – Artigo 3º - V: *Coligir informações que subsidiem o gerenciamento da segurança de barragens pelos governos*: vai ao encontro das necessidades apontadas no presente estudo para manter as estruturas realmente seguras;
- ◆ Capítulo II – Artigo 3º - VII: *fomentar a cultura de segurança de barragens e gestão de riscos*: dispensa comentários;
- ◆ Capítulo IV – Artigo 7º: *as barragens serão classificadas pelos agentes fiscalizadores, por categoria de risco, por dano potencial associado e pelo seu volume com base em critérios gerais estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos*: o IPRB pode ser uma ferramenta muito útil para realizar tal classificação;
- ◆ Capítulo IV – Artigo 7º - § 1º: *a classificação por categoria de risco em alto, médio ou baixo será feita em função das características técnicas, do*

estado de conservação do empreendimento e do atendimento do plano de segurança de barragem: não leva em consideração o risco métrico, e sim, uma escala semântica de risco;

- ◆ Capítulo IV – Artigo 7º - § 2º: *a classificação por categoria de dano potencial associado à barragem em alto, médio ou baixo será feita em função do potencial de perdas de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da ruptura da barragem: não leva em consideração o risco métrico, e sim, uma escala semântica de risco, porém está relacionada ao aqui denominado risco sociológico;*
- ◆ Capítulo IV – Artigo 13º - Parágrafo Único: *o SNISB compreenderá um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de suas informações, devendo contemplar barragens em construção, em operação e desativadas: deverá melhorar a qualidade dos dados disponíveis sobre as características das barragens brasileiras;*
- ◆ Capítulo IV – Artigo 14º - Parágrafo Único: *são princípios básicos para o funcionamento do SNISB: I – descentralização da obtenção e produção de dados e informações; II – coordenação unificada dos sistemas; III – acesso aos dados e informações garantido a toda a sociedade: deverá propiciar discussões sociais sobre a segurança das barragens; e*
- ◆ Capítulo V – Artigo 16º - V - § 2º: *o órgão fiscalizador deverá implantar o cadastro das barragens a que alude o inciso I no prazo máximo de 2 (dois) anos, a partir da data de publicação desta Lei: será muito importante para garantir a qualidade das informações sobre os barramentos brasileiros, principalmente dos já existentes.*

Acredita-se que, muito embora a Lei Brasileira exclua os pequenos barramentos de seu escopo e tampouco preconiza o uso do risco métrico para classificar os barramentos quanto à categoria de risco e ao potencial de dano, este é um passo significativo para a garantia da segurança de barragens e uma abertura para discussões futuras da necessidade de incrementar ou aumentar o escopo da Lei, como foi feito em países como o Canadá, Inglaterra e Portugal, conforme amplamente discutido em Zuffo 2005 e Zuffo e Genovez, 2008 e 2009.

Para que se atinja sucesso nas metas, objetivos, projetos e tudo o mais previsto na Política Nacional de Defesa Civil e na Política Nacional de Segurança de Barragens, o Brasil terá que sofrer uma transformação social profunda. E deseja-se, sinceramente, que isto ocorra num futuro próximo; o mais próximo possível, pois isto propiciaria ao país não só crescimento, mas, acima de tudo, um desenvolvimento social, que é uma das garantias para um crescimento econômico sustentável a longo prazo.

5) METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE RISCO PARA BARRAGENS

"É a marca de uma mente instruída ficar satisfeita com aquele grau de precisão que a natureza do assunto admite e não buscar exatidão onde só uma aproximação da verdade é possível."

Aristóteles

5.1) As Metodologias de Avaliação de Segurança baseadas em Risco: um breve histórico

A aplicação de metodologias tradicionais de avaliação de segurança é reconhecidamente fundamental para manter barragens seguras e continua tratando-se de uma prática indispensável no gerenciamento da segurança de barragens. Mas, podem não ser muito úteis na hora de hierarquizar as estruturas, levando-se em consideração aspectos econômicos. Sua principal limitação é na estimativa da confiabilidade dos vertedores e dos sistemas operacionais a eles relacionados, incluindo-se os fatores humanos ligados a questões operacionais. Ademais, as avaliações tradicionais de segurança são focadas somente nas condições físicas das barragens (ANCOLD, 2003). Pode-se afirmar, deste modo, que a abordagem tradicional de segurança tem seu foco voltado aos fatores de segurança e padrões de performance (Meghella *et al*, 2008).

Chauhan e Bowles (2001) constataram que a avaliação de risco para barragens está sendo amplamente utilizada a fim de complementar os resultados obtidos pelas abordagens tradicionais de avaliação de segurança. Ainda, os proprietários de barragens na Austrália, o Corpo de Engenheiros do exército americano (USACE) e o *US Bureau of Reclamation* vem utilizando a avaliação de risco como uma ferramenta de suporte a tomada de decisão.

Os estudos e as aplicações dos métodos e técnicas de análise de risco na área da segurança de barragens começaram há pouco mais de trinta anos e vem sendo adotadas em vários países (CNPGB, 2005). Segundo Harrauld *et al* (2006), as origens e a evolução deram-se a partir de observações feitas pelos engenheiros e pela sociedade civil e, ainda, por questões levantadas por diretrizes públicas ou de negócios, tais como:

- ◆ O envelhecimento das barragens: as solicitações de projeto estabelecidas antigamente para sismo e cheia máximos não são mais aceitáveis pela prática corrente;

- ◆ O aumento na ocupação de áreas a jusante de barragens: a sociedade civil atentou sobre as questões de uso e ocupação do solo e os riscos associados e sua tolerância começaram a diminuir. Contudo, expectativas relacionadas a uma maior proteção contra eventos naturais ou causados pelo homem fizeram com que a sociedade civil se organizasse e começasse a participar das decisões relacionadas à segurança dessas estruturas;
- ◆ A alocação de recursos governamentais a partir da performance da estrutura: por meio do princípio do “usuário-pagador”, existente no gerenciamento de recursos hídricos, o financiamento governamental está mudando o seu foco. De uma regulamentação prescritiva passou para uma regulamentação menos rígida, dando ênfase em justificativas de risco-benefício, cujo foco é a saúde e bem estar públicos e as regulamentações ambientais;
- ◆ O descomissionamento de usinas de geração elétrica e outras pressões no setor: nota-se um crescente aumento das avaliações de ativos pelas empresas concessionárias de energia, a fim de melhorar a performance de seus negócios - o que obviamente inclui a melhora da performance das barragens;
- ◆ Privatização de barragens: as barragens, que outrora eram de propriedade, operadas e mantidas por agências governamentais, passaram às mãos da iniciativa privada.

Em 1972, com a ruptura da barragem de *Búfalo Creek*, nos Estados Unidos, um inventário de barragens foi realizado nos Estados Unidos. Ficou constatado que 2.900 barragens estavam em condições inseguras, sendo que os vertedores de 2.350 delas apresentavam condições inadequadas. Assim, o interesse na aplicação de metodologias de avaliação de segurança de barragens baseadas em risco datam desta época. Em 1973, foi realizado o estudo denominado “Reavaliação da Adequação dos Órgãos de Descarga em Barragens Existentes”. Posteriormente, com a falha das barragens de Teton e de Taccoa Falls, as agências federais americanas foram instruídas a explorar as abordagens baseadas em risco, no processo de seleção de sítios, no projeto, na construção e na operação de barragens. Deste modo, em 1979 o Comitê de Segurança de Barragens produziu um primeiro manual composto por um conjunto de recomendações básicas que, em 1985, foi incrementado (Harrauld *et al*, 2006).

Em 1986, a USACE foi autorizada a manter periodicamente um inventário nacional sobre as barragens americanas e a publicá-lo toda vez que fosse atualizado. Em 1996, a FEMA foi o órgão governamental designado como coordenador do citado inventário e começou a comissionar vários projetos de pesquisa relacionados à segurança de barragens. As prioridades eram os órgãos de descarga/comportas, vertedores, análises dos modelos hidrológicos, das possíveis consequências em caso de ruptura, de risco, de galgamento e de sismicidade (Harrald *et al*, 2006).

A base reguladora para o uso de metodologias baseadas em risco pelas agências governamentais americanas teve início com a Ordem Executiva 12.866 (*Regulatory and Planning Review*), emitida em 1993. Em 1996, foi emitida sua complementação. Estes fatos são relevantes, pois encorajaram as agências a desenvolverem manuais e abordagens baseadas em risco, o que foi feito, além do desenvolvimento de algumas ferramentas para a avaliação de risco (Harrald *et al*, 2006).

O uso de análises de risco para avaliação de propostas de reabilitação no setor de recursos hídricos começou em 1991. Adotou-se uma metodologia de avaliação de risco mais sistematizada e voltada às questões de engenharia e de avaliação econômica de projetos (planejamento e construção), com fins de reduzir os estragos causados pelas inundações. Posteriormente, reconheceu-se que reabilitações mais amplas são como um investimento, pois evitam os custos de reparos operacionais e emergenciais, além do custo das perdas associadas.

A partir daí, desenvolveu-se uma estruturação das decisões economicamente baseadas e fortemente calçadas em métodos de análise de risco, combinados a análises probabilísticas de custo-benefício. Para programas de grandes reabilitações, aplicou-se os princípios da análise de risco em decisões relacionadas a investimentos a serem feitos, tomando como ponto de partida o envelhecimento das estruturas hidráulicas (Harrald *et al*, 2006).

A política corrente usa as metodologias de análises de risco em todos os projetos para redução de perdas relacionadas às enchentes, para melhorar a tomada de decisão. Enfatiza-se a incorporação de incertezas em variáveis chaves, tais como: a descarga excedente associada a sua frequência, a confiança na proteção a ser proporcionada pela estrutura existente e o estabelecimento de uma função “estado-estrago” para estudos econômicos. Esta abordagem considera diferentes alternativas, concebidas a partir das relações entre a performance da estrutura e os custos do projeto (Harrald *et al*, 2006).

No começo dos anos 90, a ANCOLD (*Australian Committee on Large Dams*) publicou o primeiro manual de segurança de barragens baseado em risco, de acordo com as diretrizes publicadas pela BC Hydro (órgão canadense). Foi explicitado, pela primeira vez, um critério de segurança que relaciona o risco tolerado à perda de vida humana, o qual foi baseado em práticas utilizadas em usinas nucleares e indústrias. O USBR (*US Bureau of Reclamation*) publicou, em 1995, alguns procedimentos de avaliação de risco e, atualmente, é a metodologia de avaliação de risco mais utilizada nos Estados Unidos (Harrald *et al*, 2006). Foi denominada de *Profiling System* (Sistema de Traçar Perfil) e será apresentada mais adiante por ser a pioneira.

Em março de 2000, um *workshop*, promovido pela FEMA, foi realizado com três propósitos distintos: 1) uma revisão nas práticas de avaliação da segurança de barragens baseadas em risco; 2) identificação de áreas em que estudos posteriores eram necessários e 3) recomendações sobre o como estabelecer essas necessidades. Participaram deste simpósio órgãos reguladores estaduais e federais, proprietários (públicos ou privados), associação de indústrias, engenheiros consultores e acadêmicos.

Identificaram-se algumas informações necessárias para a avaliação e gerenciamento da segurança de barragens e quatro áreas de aplicação para avaliação de risco, sejam quantitativas ou qualitativas, foram levantadas: 1) Abordagens por Identificação de Modos de Falhas (abordagem qualitativa), 2) Abordagens por Índices de Priorização, 3) Abordagens por Portfólio de Avaliação de Risco e 4) Abordagens por Avaliação Quantitativa Detalhada de Risco (Harrald *et al*, 2006).

A ANCOLD (2003) descreve três tipos de avaliação de risco em barragens, que serão amplamente discutidos no sub-item 5.4 deste capítulo. Por hora, é importante saber que existem as análises qualitativas, semi-quantitativas e quantitativas. As análises qualitativas fazem uso de palavras ou escalas semânticas para descrever as potenciais consequências e as possibilidades de acontecimento de eventos indesejáveis.

As análises semi-quantitativas fazem uso de escalas numéricas para quantificar os riscos, porém não avançam nas questões das consequências e possibilidades de acontecimento de eventos indesejáveis. Desta forma, pode ser vista como uma variação da análise qualitativa. As análises quantitativas estabelecem escalas numéricas para as possibilidades e consequências de eventos indesejáveis e refletem precisamente suas magnitudes.

Para este estudo, o tipo mais importante de metodologia de avaliação de risco é a semi-quantitativa, pois visa-se desenvolver um índice de priorização de risco para barragens, que pertence a esta família de métodos, muito embora discutir-se-á a aplicação de metodologias de risco de todos os tipos. Assim, alguns tipos de metodologias qualitativas e semi-quantitativas são (ANCOLD, 2003):

- ◆ Índices de Risco e de Sistemas de Pontuação de Risco: tipicamente utilizadas na fase da análise dos riscos;
- ◆ Identificação das Áleas: trata-se de elemento qualitativo necessário a todos os tipos de avaliação e análise dos riscos;
- ◆ Análises ou Identificação dos Modos de Falhas: tipicamente aplicadas na fase de análise dos riscos;
- ◆ Métodos matriciais: podem ser aplicados tanto na fase de análise quanto avaliação dos riscos;
- ◆ Método de controle das áleas e dos modos de falha: tipicamente aplicados na fase de avaliação dos riscos.

Pode-se perceber que a aplicação da avaliação de risco na segurança de barragens é um assunto premente em países como a Austrália, Canadá e Estados Unidos e está, ainda, em desenvolvimento. Uma vez que este é um assunto de extrema importância, deverá ganhar reconhecimento mundialmente. Mudanças sempre vem acompanhadas por desconforto e resistência, especialmente quando acompanhada por uma mudança significativa de paradigma, como é o caso da avaliação segurança de barragens baseada em risco.

Este capítulo talvez seja o mais importante deste estudo. Está dividido em mais 5 sub-ítem que tratarão de todas as questões relevantes para o desenvolvimento da metodologia a ser aqui proposta. No sub-ítem 5.2, tratar-se-á de fazer uma clara distinção entre as abordagens tradicionais e de risco. No 5.3, serão apresentadas algumas ferramentas utilizadas para a avaliação de risco. No sub-ítem 5.4, apresentar-se-ão os tipos e os níveis de metodologias de risco e, finalmente, no 5.5, um exemplo de método de avaliação de risco por índice será apresentado.

5.2) As Metodologias Tradicionais e de Risco: uma clara distinção

A abordagem tradicional trata a questão dos riscos e incertezas, porém não pode ser considerada como baseada em risco, pois não tem seu arcabouço estruturado na lei matemática da probabilidade. O modelo baseado em risco procura dar segurança ao decisor, propiciando uma compreensão das implicações dos riscos e das incertezas associadas (Bowles, 2003). Nota-se que, essas mudanças trarão mais confiança às questões de avaliação da segurança de barragens e uma maior garantia na seguridade dos cidadãos.

Contudo, há duas abordagens diferentes para avaliar a segurança de barragens, a denominada de tradicional e a baseada em risco. Suas definições são (ANCOLD, 2003):

- ◆ As Abordagens Tradicionais de segurança na engenharia de barragens são aquelas em que os riscos são controlados por regras estabelecidas em projeto, tais como, as cargas atuantes na estrutura, sua capacidade estrutural, os coeficientes de segurança, o período de retorno usado no dimensionamento dos órgãos de descarga, etc.
- ◆ A Abordagem ou avaliação de Risco é um processo de auxílio à tomada de decisão, em que são feitas recomendações de segurança baseadas nos riscos existentes, medidos a partir da tolerância da sociedade e do proprietário da estrutura. Avalia-se, também, se as medidas de controle de risco adotadas são adequadas. Caso contrário, alternativas viáveis para mitigação do risco deverão ser implementadas. Incorpora dados provenientes das fases de análise e da apreciação dos riscos.

A **Figura 5.1** traz um esquema que ajuda na compreensão de cada tipo de abordagem e suas inter-faces.

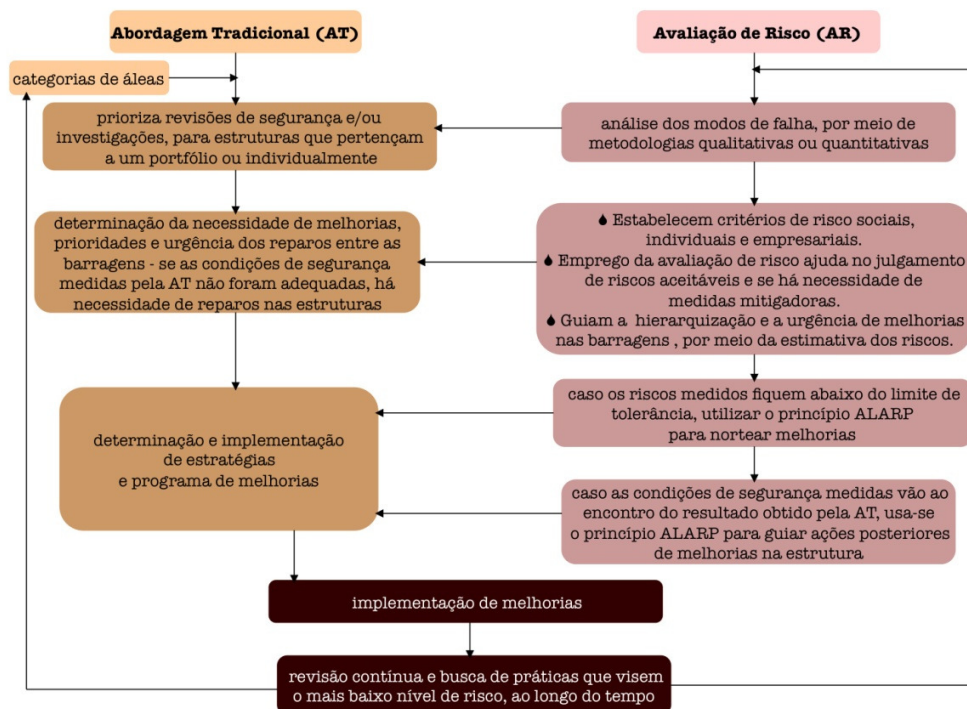


Figura 5.1. A avaliação de risco e a abordagem tradicional. Fonte: ANCOLD 2003.

De acordo com a **Figura 5.1**, pode-se concluir que as avaliações de risco proporcionam uma maneira diferente de enfrentar os problemas e podem e devem complementar as informações conseguidas a partir das metodologias de abordagem tradicional. Mesmo que existam certas limitações e lidem com incertezas, as metodologias de risco são boas ferramentas de auxílio à tomada de decisão, pois apontam diretamente para os riscos.

Segundo a ANCOLD (2003), existem duas técnicas de análise de risco: uma determinística e outra probabilística. Acredita-se que há uma terceira possibilidade: a análise difusa (esta será tratada no sub-item 5.3.2).

A análise determinística descreve um processo cujos resultados são sempre os mesmos para um determinado conjunto de dados de entrada. Desta forma, o resultado é determinado pelos dados de entrada. O modo determinista de análise não lida com a aleatoriedade, pois seu resultado não varia para um mesmo conjunto de variáveis. A abordagem tradicional é certamente embasada em análises deste tipo, muito embora faça uso da probabilidade para calcular o período de retorno para o dimensionamento da capacidade dos órgãos de descarga e as forças atuantes na estrutura.

Há várias combinações de metodologias aplicadas, a fim de gerenciar o risco em barragens, que fazem uso tanto das análises determinísticas como das probabilísticas. A **Tabela 5.1.** mostra algumas abordagens de avaliação de risco.

Tabela 5.1. Abordagens de Avaliação de Risco em Barragens.

Definição da carga por evento natural	Análise da resposta do sistema	Aplicação típica	Considerações
Determinística	Determinística	Para determinar a vazão de cheias e cargas sísmicas nos Estados Unidos	AT – amplamente utilizada nos EUA e inicialmente utilizada na Austrália. Substitutivo ao projeto de previsões de cheias extremas, na Austrália.
Probabilística	Determinística	Para determinar a vazão de cheias e cargas sísmicas na Austrália	AT – usada para determinar a sismicidade de projeto na Austrália e partes do Canadá, desde 1990. Substitutivo ao projeto de previsões de cheias, exceto as extremas.
Determinística	Probabilística	Nenhuma conhecida	Difícil de visualizar a utilização deste tipo de abordagem.
Probabilística	Probabilística	Portfólio de Avaliação de Risco (PAR)	AR – tolerância ou aceitação de um risco pode ser julgada a partir de critérios de segurança tolerável.

Fonte: ANCOLD, 2003.

Vale ressaltar que, o termo “resposta do sistema” refere-se ao modo pelo qual uma barragem se comporta, medida a partir da probabilidade condicional de falha, para um determinado conjunto de forças e condições coincidentes, tais como a “curva de fragilidade”. A curva de fragilidade é uma forma particular de resposta do sistema, que relaciona a probabilidade de falha em função de um nível de cargas ou forças agentes na barragem.

A análise probabilística descreve quaisquer processos que possam ser baseados em princípios estatísticos. Deste modo, a análise probabilística lida explicitamente com a aleatoriedade e suas variações possíveis, o que ajuda a descrever muito bem os processos naturais e suas propriedades. Este tipo de análise constitui a espinha dorsal das análises de risco.

A abordagem do risco incorpora dados que são baseados em incertezas, os quais são quantificados a partir do uso de distribuições de probabilidade. Sua influência no resultado da avaliação de risco pode ser expressa em termos do grau de segurança desejado, associado ao risco tolerado. A **Figura 5.2.** ilustra alguns exemplos de incertezas associadas aos dados de análise de risco em barragens.

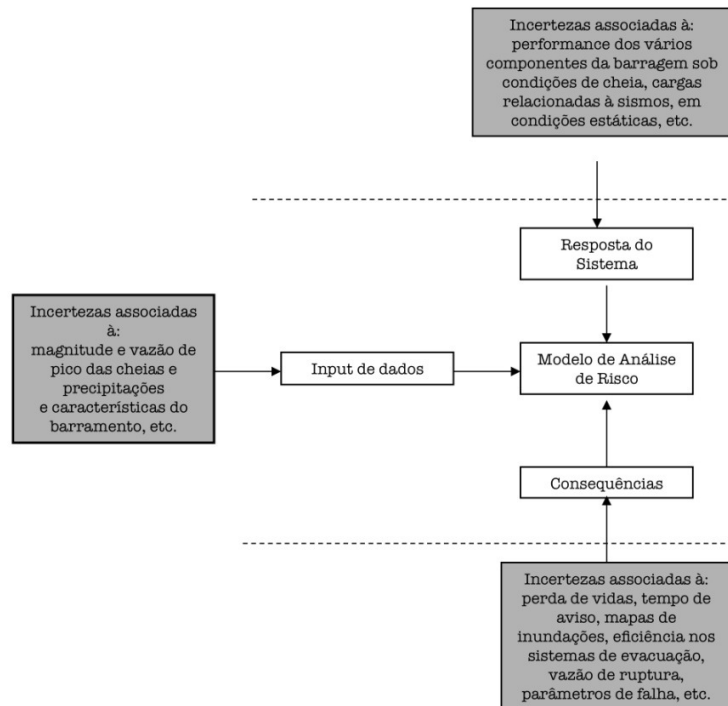


Figura 5.2. Exemplos de incertezas associadas à análise de risco em barragens. Fonte: modificado de Chauhan e Bowles (2001).

O uso de análises baseadas em incertezas proporciona uma maneira realçada de apresentar o resultado da avaliação de risco aos decisores, por incorporar no processo de avaliação representações baseadas em probabilidades e, conseqüentemente, aumenta-se o nível de confiança nos resultados da avaliação (Chauhan e Bowles, 2001).

Há três papéis óbvios desempenhados pelas avaliações de risco para barragens. São eles: um complemento à AT, uma alternativa à AT e uma base sólida para auxiliar à tomada de decisão. Vale ressaltar que, não há garantia que os riscos toleráveis serão alcançados por barragens que tiveram uma boa avaliação na AT, muito embora é comum que assim seja. Desta forma, a aplicação de metodologias de avaliação de risco é extremamente útil na ocasião de:

- ◆ Identificação de cenários e modos de falha críticos;
- ◆ Comparação e hierarquização dos riscos em barragens de um mesmo portfólio;
- ◆ Designação de prioridades e urgência por estudos mais detalhados;

- ◆ Consideração na implementação de estratégias prioritárias e urgentes para reduzir os riscos;
- ◆ Necessidade de suporte a decisão em avaliações de segurança de barragens existentes.

5.3) Ferramentas Utilizadas para Avaliação de Risco

A CNPGB (2005) fez um levantamento sobre os mais relevantes métodos para análise de riscos existentes e constatou que os mais utilizados são seis deles, os quais são: o HAZOP (*Hazard and Operability Analysis* – Análise das Áleas e da Operacionalidade), a FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis* – Análise e Efeitos dos Modos de Falha) e FMECA (*Failure Mode, Effect and Critically Analysis* – Análise, Efeitos e Severidade dos Modos de Falha), a ETA (*Event Tree Analysis* – Análise por Árvore de Eventos), a FTA (*Faulty Tree Analysis* – Análise por Árvore de Falhas) e o Nó Borboleta (*Nœud Papillon*). Algumas destas metodologias serão descritas ao longo deste sub-item.

A adoção de determinado caminho que leva a diminuição de riscos é baseada na avaliação de diferentes alternativas potenciais de ações compostas por múltiplos critérios. Os métodos multicriteriais, que são ferramentas de auxílios a tomada de decisão, foram desenvolvidos a fim de melhorar tanto o processo de tomada de decisão como a qualidade das decisões a serem tomadas.

De acordo com Harrald *et al* (2006), as análises de decisão tem seis funções básicas, as quais são:

1. estruturar o processo;
2. ilustrar as relações entre critérios;
3. ajudar na reflexão, na articulação e na quantificação dos pesos atribuídos às relações entre critérios, o que resultará em recomendações concernentes às alternativas;
4. ajudar as pessoas a realizarem avaliações de risco e de incertezas mais consistentes e racionais;
5. facilitar as negociações;

6. documentar como as decisões serão tomadas.

As metodologias mais comumente utilizadas para análises de tomada de decisão que envolvem riscos incluem:

- ◆ Árvores de Decisão (ver **Figura 5.4**);
- ◆ Diagramas de Influência (ver **Figura 5.5**);
- ◆ Método da Substituição do Valor de Compensação (ou, em inglês, SWT: *Surrogate Worth Trade off Method*): ênfase nas curvas de indiferença que são tangentes à série não dominada. Trata-se de um método iterativo – resolução analítica ou algoritmo de otimização (Zuffo, 1998);
- ◆ Teoria da Utilidade Multiatributo (ou, em inglês, MAUT: *Multi Attribute Utility Theory*): a função utilidade pode ser especificada numericamente. Assume axioma da pré-existência de um sistema completo de preferências, transitividade e independência das preferências do decisor (Zuffo, 1998);
- ◆ Método da Matriz de Prioridades (ou, em inglês, AHP: *Analytical Hierarchy Process*): decompõe o problema em níveis hierárquicos, determina uma medida global para cada alternativa, por meio de síntese dos valores dos agentes de decisão (matriz tecnológica), classificando-as ou priorizando-as (Zuffo, 1998);
- ◆ Método de Medir a Atratividade por uma Técnica de Avaliação Baseada em Categorias (ou, em inglês, MACBETH: *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*): é uma técnica de tomada de decisão que requer apenas julgamentos qualitativos sobre as diferenças de atratividade entre elementos, para gerar pontuações para cada critério e, assim, ponderá-los. Sete categorias semânticas de diferença de atratividade são utilizadas: nula, muito fraca, fraca, moderada, forte, muito forte e extrema. À medida que os julgamentos qualitativos são expressos, verifica-se automaticamente a sua consistência e procura-se resolver possíveis inconsistências. Por exemplo: se “a” é preferível a “b” e “b” é preferível a “c”, “a” tem que ser preferível a “c”; caso contrário, há uma inconsistência. Depois de atribuir pesos aos critérios, o método evolui para a construção de um modelo quantitativo de avaliação. Uma escala de pontuações deve ser atribuída a cada critério e seus pesos relativos devem ser calculados também a partir de uma escala semântica de preferências. Uma

pontuação global é calculada para cada opção, por meio de uma soma ponderada das pontuações nos múltiplos critérios (Bana e Vansnick, 1995 e 2005).

As técnicas de modelagem Multiatributo (MAUT) proporcionam um método de avaliação de decisões ou alternativas baseadas em critérios múltiplos. A técnica mais simplificada consiste em atribuir pesos aos critérios e cada alternativa de decisão é pontuada ou valorada para cada critério. O resultado agregado das pontuações atribuídas à cada alternativa é dado pela soma das “notas” obtidas para cada critério, que por sua vez são obtidas pela multiplicação do peso do critério pela pontuação alcançada para o mesmo critério. A alternativa que obtiver a pontuação final mais alta é a que atinge o maior grau de risco. Técnicas mais complexas, como a teoria da utilidade multiatributo e o método da matriz de prioridades (AHP), fazem as comparações das alternativas mais explicitamente e podem ser utilizadas para avaliar as hierarquias entre os critérios de avaliação.

Desta forma, a aplicação da técnica MAUT perpassa pelas seguintes etapas:

- ◆ Seleção e definição de atributos ou critérios que refletem as dimensões nas quais as decisões serão avaliadas;
- ◆ Definição das alternativas a serem analisadas;
- ◆ Quantificação dos níveis alcançados pelos critérios;
- ◆ Definição das escala dos critérios;
- ◆ Seleção dos pesos dos critérios;
- ◆ Condução da análise das relações;
- ◆ Amalgamação dos resultados a uma única função de valor;
- ◆ Resolução das diferenças entre os diferentes decisores ou *stakeholders*.

O USACE tem usado recentemente o Método da Matriz de Prioridades (AHP) na priorização e, conseqüente, seleção de projetos de manutenção de barragens a serem realizados. O principal objetivo é selecionar projetos de manutenção com o maior valor agregado, levando-se em consideração cinco critérios de benefícios a serem gerados, tais como: o retorno do investimento, segurança e saúde pública, confiabilidade, sustentabilidade ambiental e grau crítico apresentado pelo sistema (ou estrutura) como um todo. Usando a ferramenta *Expert Choice* do AHP, os gestores do USACE calcularam os

pesos relativos para cada um destes critérios, e atribuíram notas aos cinco critérios, para todos os projetos em análise, comparando-os par a par de acordo com a técnica do AHP. A ferramenta *Expert Choice* amalgamou os resultados, proveu a hierarquização geral e proporcionou uma análise de sensibilidade dos dados imputados - taxa ou nível de inconsistência dos pesos atribuídos aos critérios.

Banna e Vansnick (2006) publicaram um artigo em que provaram que o método AHP possui sérios problemas em seu algoritmo, o que torna o seu emprego problemático. Segundo os autores, a matemática do vetor de prioridade utilizada pelo AHP pode violar a condição da ordem de preservação, que é fundamental ao auxílio a decisão, pois é essencial para que se respeite aos valores e julgamentos imputados.

Keeney (1996) inova, revoluciona e contribui significativamente na melhora das técnicas multicriteriais quando afirma que a maneira em que tem se pensado sobre o tema tem sido realizada de trás para frente. Ou seja, pensa-se, em primeiro lugar, em identificar as alternativas e não em articular os valores que formarão a gama de alternativas factíveis. Deste modo, dá-se ênfase em escolhas mecânicas e pré-fixadas ao invés de focar-se nos objetivos que nortearão a tomada de decisão.

Entende-se por “valores”, neste caso, como sendo os princípios utilizados para avaliar possibilidades de caminhos. Eles podem ser éticos, técnicos, religiosos, ou qualquer referencial que ajude a aceitar ou rejeitar uma determinada ação. Segundo Keeney (1996), o reconhecimento e a articulação de valores fundamentais podem conduzir à identificação de oportunidades de decisão e a criação de alternativas melhores. Visa-se ter uma postura pró-ativa e, assim, construir alternativas mais atraentes, uma vez que foram ponderadas antes de vislumbrar-se qualquer possibilidade de decisão.

Keeney (1996) descreve procedimentos que ajudam a articular os valores pela identificação e estruturação qualitativa dos objetivos, por meio da elaboração de modelos simplificados. Eden (2004) propõe a utilização de mapas cognitivos como um desses modelos de simplificação e, atualmente, tratam-se de uma técnica amplamente utilizada. Eles podem ajudar a desnudar objetivos que estavam escondidos, direcionar a coleta de informações, melhorar a comunicação, facilitar a decisão por múltiplos decisores e guiar pensamentos estratégicos.

Além disso, o emprego dos mapas serve para auxiliar a representar o problema do

decisor cujo objetivo é identificar aqueles pontos que ele considera fundamental na composição do mesmo. Uma vez identificados os pontos ou elementos primários de avaliação (EPAs), é possível representá-los na forma de uma estrutura arborescente, que ajuda a aumentar o grau de compreensão do decisor. Desta forma constrói-se uma estrutura de valor ou uma árvore de pontos de vistas.

A **Figura 5.3** traz um resumo dos benefícios do raciocínio focado em valores.



Figura 5.3. Benefícios do raciocínio focado em valores. Fonte: Keeney (1996).

Desta forma, os valores devem e podem nortear os processos de tomada de decisão. Keeney (1996) fornece um roteiro básico de como estruturar um problema baseado em valores. Deve-se, portanto, começar pensando no que se deseja alcançar no final do processo decisório e nas ações que efetivamente ajudem na solução do problema. Se houver mais de um decisor, deve-se abordar cada um individualmente, para agrupar suas expectativas e visões posteriormente. Nesta etapa, ele(s) deve(m) explicitar seus objetivos, que são denominados de Elementos Primários de Avaliação (EPA).

Para melhor explicar todas as fases da técnica multicriterial baseada em valores, divide-se sua operacionalização em três fases: (A) a estruturação do contexto decisório; (B) a construção de um modelo de avaliação das alternativas; e (C) formulação de recomendações para possíveis ajustes naqueles pontos considerados fundamentais para o decisor (avaliador) (Lima *et al*, 2008).

Na fase A, estruturação do contexto decisório, deve-se identificar os atores envolvidos na tomada de decisão, ou seja, aqueles que participarão ativamente na construção do modelo. A seguir, é necessário identificar o tipo de alternativa (barragem) que será avaliada e a problemática em que ela está inserida. Várias são as técnicas que podem ser usadas a

fim de extrair do decisor aqueles pontos que ele considera fundamental para a tomada de decisão, como os já citados mapas cognitivos (Lima *et al*, 2008). As estratégias para identificar os EPAs encontram-se na **Tabela 5.2**, a seguir.

Tabela 5.2. Estratégias para identificar os Elementos Primários de Avaliação (EPAs).

Estratégia	Perguntas a Serem Feitas
Aspectos Desejáveis	Quais são os aspectos que você gostaria de considerar em seu problema?
Ações	Quais características distinguem uma ação (potencial ou fictícia) boa de uma ruim?
Dificuldades	Quais são as maiores dificuldades com relação ao estado atual?
Consequências	Quais são as consequências das ações boas / ruins / inaceitáveis?
Metas/Restrições/Linhas Gerais	Quais são as metas / restrições / e linhas gerais adotadas por você?
Objetivos Estratégicos	Quais são os objetivos estratégicos neste contexto?
Perspectivas Diferentes	Quais são para você, segundo a perspectiva de um outro decisor, os aspectos desejáveis / ações / dificuldades / etc?

Fonte: Ensslin *et al* (2001).

Uma vez construída a estrutura de valor, é necessário o estabelecimento de critérios que permitam mensurar o desempenho de cada alternativa a ser avaliada, em cada ponto de vista considerado. Cada critério é decomposto em diversos níveis (Nn), chamados de descritores, os quais fornecem um melhor entendimento daquilo que representa a preocupação do decisor ao mensurar uma dimensão do contexto decisório. Uma vez construídos os descritores, passa-se para a fase B, ou seja, a construção do modelo de avaliação das alternativas (Lima *et al*, 2008).

Para tal, é necessário quantificar o desempenho das alternativas em relação a cada critério identificado pelo avaliador e decomposto no diversos níveis dos descritores, de uma forma numérica por meio da função de valor. Uma vez quantificados estes critérios, é possível agregar estas informações locais de modo a obter uma avaliação global. Para que seja possível esta agregação é necessário um conjunto de parâmetros associados aos critérios os quais são chamados de taxas de compensação, ou pesos. Essas taxas são parâmetros que os decisores julgam adequados para agregar, de forma compensatória, desempenhos locais em um desempenho global (Lima *et al*, 2008).

Elaborada a avaliação local das alternativas, em todos os pontos de vistas, utiliza-se esta informação para comparar alternativas potenciais e determinar seus pontos fortes e fracos. Para uma melhor visualização do desempenho de cada alternativa, traça-se o seu

perfil de impacto. O perfil de impacto é especialmente útil, para possibilitar a geração de oportunidades para aperfeiçoá-las, favorecendo, com isso, o aumento de conhecimentos dos decisores sobre o seu problema. A partir do conhecimento dos pontos de vistas fundamentais onde o desempenho da alternativa mostrou-se inadequado, torna-se possível concentrar esforços para correção ou proposição de melhorias deste desempenho. Esta é a função da fase C no processo multicriterial baseado em valores, ou seja, a elaboração de recomendações (Lima *et al*, 2008).

No presente estudo, as técnicas multicriteriais deverão ser úteis para o estabelecimento dos pesos dos atributos de avaliação, muito embora o algoritmo do IPRB não as tenha empregado.

5.4) Tipos e Níveis de Metodologias de Risco

As análises de riscos podem classificar-se em (ANCOLD 2003 e CNPGB 2005):

- ◆ Análises qualitativas;
- ◆ Análises semi-quantitativas;
- ◆ Análises quantitativas.

O tipo de análise e avaliação depende do contexto e dos objetivos do proprietário da estrutura. Geralmente, aplicam-se os dois tipos de análise, em um mesmo estudo. Por exemplo, as identificações das áleas e dos modos de falha são formas qualitativas de análise de risco, mas facilitam a realização de análises quantitativas. A melhor forma de análise quantitativa existente necessita de elementos qualitativos, tais como a identificação de consequências intangíveis e ambientais (ANCOLD 2003).

A implementação de análises de riscos quantitativas encontra sérias dificuldades devido ao caráter singular das barragens e, ainda, está em fase de investigação e consolidação. Já as análises de risco qualitativas e semi-quantitativas, de uma maneira geral, podem ser objeto de aplicação, pois em alguns países, tratam-se de uma prática já bem estabelecida (CNPGB, 2005).

Não há razão para hierarquizar o uso de metodologias de risco. Ou seja, não é necessário empregar uma metodologia de abordagem qualitativa, para depois aplicar uma

metodologia quantitativa. O que existe são diferentes níveis de avaliação de risco, os quais serão amplamente explicitados no sub-item 5.4.3, deste capítulo. A seguir, far-se-á uma caracterização detalhada das análises qualitativas e semi-quantitativas (sub-item 5.4.1) e das análises quantitativas (sub-item 5.4.2).

Muito embora o índice a ser desenvolvido neste estudo não terá uma natureza puramente qualitativa, este tópico torna-se relevante para que se tente incorporar em seu algoritmo aspectos desejáveis às análises de risco que são proporcionadas por estes métodos.

5.4.1) As análises qualitativas e semi-quantitativas de risco

As análises qualitativas e semi-quantitativas podem ser descritas por cinco sub-grupos. São eles: os índices de risco e sistemas de pontuação de risco, identificação das áleas, análise ou identificação dos modos de falha (IMF ou FMEA, em inglês), métodos matriciais e método de controle das áleas e dos modos de falha.

Segundo Bowles (2003), ANCOLD (2003) e CNPGB (2005), suas definições são:

- ◆ **Identificação das Áleas:** envolve uma busca sistemática por todas as potenciais fontes de dano ao sistema - o conjunto de partes que compõem a barragem. Trata-se de um elemento qualitativo, a ser aplicado na fase de análise dos riscos. O Método HAZOP pode ser considerado como um destes métodos. Foi desenvolvido do começo dos anos 70 para uso de indústrias químicas e com o passar do tempo foi adaptado a outras áreas científicas. Inicialmente propiciava análises qualitativas de risco e foi adaptado para proporcionar análises semi-quantitativas, realizadas por meio da avaliação da severidade dos riscos, recorrendo a escalas de probabilidade e de gravidade. A engenharia de barragens pode fazer um bom uso deste método, a partir dos dados de observação, nas fases de projeto, construção, fiscalização, exploração e análise de comportamento das estruturas. Visa a análise sistemática dos desvios de determinadas grandezas com repercussão no comportamento do sistema, suas causas e consequências. Centra-se, portanto, na resposta dos vários sub-sistemas. Como principal vantagem, tem-se o seu caráter sistemático e uma aplicação relativamente expedita e como principal desvantagem, cita-se a não possibilidade de uma análise explícita dos modos de falha.

- ◆ Identificação de Modos de Falha (IMF): trata-se de um passo inicial na avaliação de risco e é prática comum em abordagens tradicionais de avaliação de segurança de barragens. A IMF fornece uma compreensão mais apurada na avaliação de segurança de uma barragem e serve de base para o fortalecimento de muitos aspectos do programa de segurança de barragens (ex.: monitoramento instrumental e visual, preparação de planos de emergência, gerenciamento e organização). Faltam manuais explicativos de como aplicar adequadamente a metodologia da IMF. Proporciona um diagnóstico qualitativo e, por este motivo, não é uma ferramenta de tomada de decisão. Trata-se de uma técnica sistemática para identificar os modos pelo qual o sistema pode falhar e não mais conseguir cumprir com o seu objetivo construtivo. É tipicamente qualitativa e também deve ser aplicada na fase da análise dos riscos.
- ◆ Índice de Priorização (IP): abordagens pelo IP são valiosas e vem aumentando suas utilizações a fim de priorizar as questões de segurança e investigações de barragens. Mas, devem ser calibradas e devem incorporar os riscos de uma maneira mensurável. Sua utilização é geralmente menos custosa do que o Portfólio de Avaliação de Risco (PAR), porém mais limitadas no escopo de seu resultado. Geralmente são utilizados para conseguir uma hierarquização inicial, em barragens que constam em um mesmo portfólio. São úteis para nortear a ordem das barragens que necessitam estudos posteriores mais aprofundados ou para ajudar a estabelecer requerimentos de vigilância e monitoramento. Devem refletir o risco métrico das chances de ocorrência e suas consequências. Geralmente, fazem parte da análise do risco, pois não leva em consideração à tolerabilidade ou aceitação do risco medido. É uma ferramenta eficaz, que auxilia grandemente o gerenciamento dos riscos.
- ◆ Método Matricial: envolve o preenchimento de uma matriz, em que cruza os dados sobre as consequências com as chances de ocorrência. Pode ser empregada nas fases de análise ou de avaliação do risco. O Portfólio de Avaliação de Risco (PAR) é um exemplo deste tipo de metodologia. Trata-se de uma abordagem valiosa e sua aceitação vem aumentando consideravelmente, visto que visa priorizar medidas remediáveis de segurança, baseadas no custo-eficiência e posteriores investigações para um grupo de barragens. Os resultados do PAR devem ser utilizados respeitando-se as limitações desse tipo de abordagem e devem ser periodicamente atualizados. O FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis* – Análise e Efeitos dos Modos de Falha) e o FMECA (*Failure Mode,*

Effect and Critically Analysis – Análise, Efeitos e Severidade dos Modos de Falha) são outros exemplos deste tipo de método. Ao risco se refere a probabilidade de ocorrência de um evento indesejável multiplicado por suas consequências, ou seja: $\text{Risco} = \text{probabilidade} \times \text{consequência}$. Ou numa expressão mais elaborada, pode-se definir o risco como: $\text{Risco} = (\text{ameaça})^3 \times \text{vulnerabilidade} \times [\text{consequências diretas (curto prazo)} + \text{consequências indiretas (curto e longo prazos)}]$.

- ◆ Método de Controle das Áreas e dos Modos de Falha: tipicamente, possuem forma tabular, assim como os métodos matriciais. Sua aplicação envolve resposta a perguntas, tais como: *Quais são as fontes potenciais de danos?*, (as áreas). *O que pode dar errado?* (os modos de falha e suas consequências). *O que pode ser feito para eliminar ou reduzir os riscos a níveis tolerados?* (as medidas de controle de risco). Desta forma, estes métodos são utilizados na fase de avaliação do risco.

Uma análise qualitativa ou semi-quantitativa bem feita pode ser muito importante no gerenciamento de riscos de barragens. Os estudos qualitativos, se forem bem conduzidos, podem certamente calçar decisões acertadas. Muito embora, é uma tarefa árdua comparar riscos provenientes de diferentes modos de falhas, sem quantificá-los, pois não são independentes entre si.

As **Tabelas 5.3, 5.4 e 5.5** apresentam, segundo Bowles (2003), os pontos fortes e fracos da IMF, IP e PAR.

Tabela 5.3. Resumo dos Pontos Fortes e Fracos da IMF.

Pontos Fortes	Pontos Fracos
Relativamente baixo esforço para executá-la.	Incorre em custos adicionais.
Identificação de modos de falha.	
Abordagem por equipe interdisciplinar.	Falta de um manual que contenha instruções quanto a periodicidade de aplicação e a consistência dos dados encontrados.
Aumenta a compreensão dos riscos.	
Ampla aceitação.	
Fortalece a abordagem tradicional (segurança nos modos de falha identificados).	Existem poucos dados históricos sobre ruptura de barragens para analisar os mecanismos de falha adequadamente.
Pode ser usado como dado de entrada na priorização das questões de segurança de barragens.	
Cruza importantes informações de segurança necessárias à tomada de decisão.	Processo pode não envolver prontamente o público em geral.
Promove dados de entrada úteis para a compreensão dos efeitos dos modos de falha.	

Fonte: Bowles, 2003.

Tabela 5.4. Resumo dos Pontos Fortes e Fracos do IP.

Pontos Fortes	Pontos Fracos
Promove meios de priorizar as questões de segurança.	Perigo de mau uso dos resultados.
Processo eficiente.	Mais superficialidade que substancialidade. Os modos de falha podem se perder no processo.
Um processo que prontamente vai a favor da segurança.	Falta de manuais publicados.
Prove justificativas para a hierarquização de barragens.	Somente provê uma medida relativa da severidade do risco.
Seu resultado é auto-explicativo.	Pode não ser altamente a favor da segurança.
Um processo sistemático.	Geralmente baseado em uma medida não métrica de risco.
Identificação de questões de segurança em xequê.	

Fonte: Bowles, 2003.

Pode parecer que há incoerência entre o terceiro ponto forte e o quinto ponto fraco do IP (**Tabela 5.4**). Pode-se pensar que o fato do índice ir a favor da segurança é algo indesejável por incorrer em custos extras. Porém, acredita-se que este fator seja um ponto forte. Além do mais, a experiência do avaliador de risco é de suma importância, dada a subjetividade inerente à avaliações de risco para barragens, principalmente na ocasião de atribuir pesos aos atributos (ou critérios) de avaliação.

Tabela 5.5. Resumo dos Pontos Fortes e Fracos do PAR.

Pontos Fortes	Pontos Fracos
Fornecer meios de priorização das medidas de redução de riscos.	Incertezas nos dados de entrada e perigo de mau uso de seu resultado.
O uso do custo-eficiência da redução de riscos proporciona uma maior rapidez nas ações de redução do risco.	
Fornecer justificativas para priorização e para a redução dos riscos.	
Pode prontamente comunicar seus resultados.	Tipicamente não envolve análise profunda sobre os riscos.
Geralmente considerado como um processo a favor da segurança	
Faz uso do risco métrico	
Um processo eficiente	Custoso.
Prove identificação das questões de segurança em xequê.	
Prove base para a integração de posse da barragem e as considerações sobre segurança para o dono da barragem	Falta de manuais e práticas já experimentadas.
Um processo sistemático	

Fonte: Bowles, 2003.

Contudo, observa-se que as metodologias IP e PAR são bem parecidas em sua essência.

5.4.2) As análises quantitativas de risco

A avaliação quantitativa de riscos é muito utilizada em indústrias, cujos processos são altamente perigosos. Os desafios enfrentados pela análise de riscos em barragens são maiores que os enfrentados por estas indústrias, pois cada estrutura é única. Elas podem ser muito precisas na estimativa de risco relacionada a confiabilidade de componentes elétricos e mecânicos, como as comportas, por exemplo (ANCOLD 2003).

As metodologias para análises e avaliações quantitativas de risco visam enumerá-los em termos de chances de ocorrência (probabilidade em termos quantitativos) e suas consequências. Conforme já foi tratado anteriormente no Capítulo 3, sabe-se que alguns aspectos de risco não são quantificáveis, tais como: o pesar pela morte de um ente querido e o trauma por perdas sofridas, econômicas ou não (ANCOLD 2003).

Alguns aspectos de segurança relacionados à barragens podem ser avaliados quanto sua confiabilidade – geralmente componentes estruturais. Porém outros aspectos – como o *piping*, por exemplo – não podem ser abordados desta forma. As performances “históricas” da estrutura podem ser úteis como um guia para estipular a probabilidade de falha. Na verdade, quaisquer fontes de informação sobre a barragem são aplicáveis à avaliação. Isto inclui análises, extrapolação e interpolação das informações, ajuste dos resultados das análises ou um conjunto de dados que sirvam ao objetivo proposto. De qualquer modo, um alto grau de discernimento é imprescindível, pois a base estatística certamente não representará as probabilidades de ocorrência de falhas em estruturas peculiares (ANCOLD 2003). Uma questão fundamental a este tipo de abordagem de risco é que a análise probabilística utilizada seja lógica e baseada em conhecimentos científicos comprovados.

Portanto, a Avaliação Quantitativa de Risco (AQR) é uma abordagem valiosa por prover visões e compreensão dos modos de falha (probabilidades e consequências). As incertezas nos dados de entrada e os resultados obtidos devem ser levados em consideração. São necessárias abordagens melhoradas na estimativa de probabilidades e nas consequências de uma falha na estrutura. Os critérios de aceitação/tolerância do risco necessitam de desenvolvimento e, com isso, ganhar ampla aceitação (Bowles, 2003).

A seguir, apresentam-se dois exemplos de metodologias quantitativas de avaliação e análise de risco. São elas:

- Árvore de Decisão:** trata-se de métodos gráficos e analíticos para quantificar as naturezas probabilísticas na tomada de decisão. Combinam nós de decisão (escolha de alternativas de decisão) com nós de possibilidades (para cada alternativa escolhida qual seriam suas consequências). O responsável pelo equacionamento do problema especifica as alternativas, seus potenciais resultados e o valor probabilístico ou a consequência de cada resultado decorrente. Se a probabilidade de cada resultado for estimada, a árvore de decisão poderá ser lida de “trás para frente” e um valor esperado ou provável poderá ser calculado e atribuído à cada alternativa. A alternativa escolhida será a que apresentar o maior valor provável de risco. É apropriada em três situações: quando há um conjunto limitado de alternativas de decisão, as possíveis consequências de eventos podem ser estimadas e as decisões a serem tomadas podem basear-se em valores probabilísticos. Contudo, são muito úteis para a representação de sequências e consequências de ações. Trata-se da metodologia mais empregada para avaliação de risco em barragens (Harrald *et al* 2006). A **Figura 5.4** ilustra um modelo de árvore de decisão.

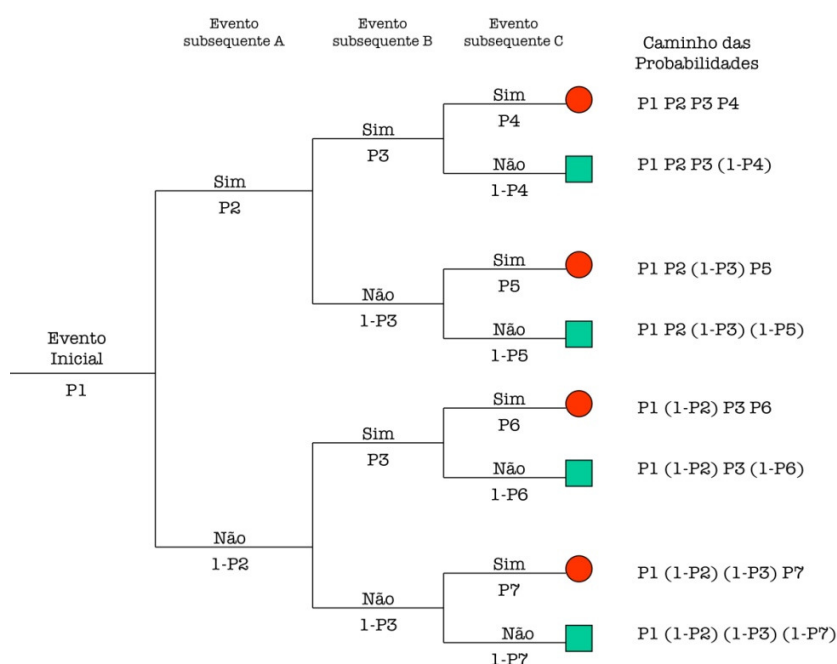


Figura 5.4. Exemplo de Árvore de Decisão. Fonte: Slunga (2001).

- Diagramas de Influência:** tratam-se de alternativas gráficas às árvores de decisão. Os nós de decisão são representados por quadrados, os nós de

possibilidades por círculos e as consequências por outra forma qualquer, mas geralmente por hexágonos. Podem ser utilizados para identificar e avaliar tramas complexas relacionadas à tomada de decisão. A **Figura 5.5** ilustra o uso de diagramas de influência utilizados pela USACE, para a avaliação de projetos de canais que envolve dois conjuntos de decisão: a opção de dragagem ou a opção pela reabilitação (Harrald *et al* 2006).

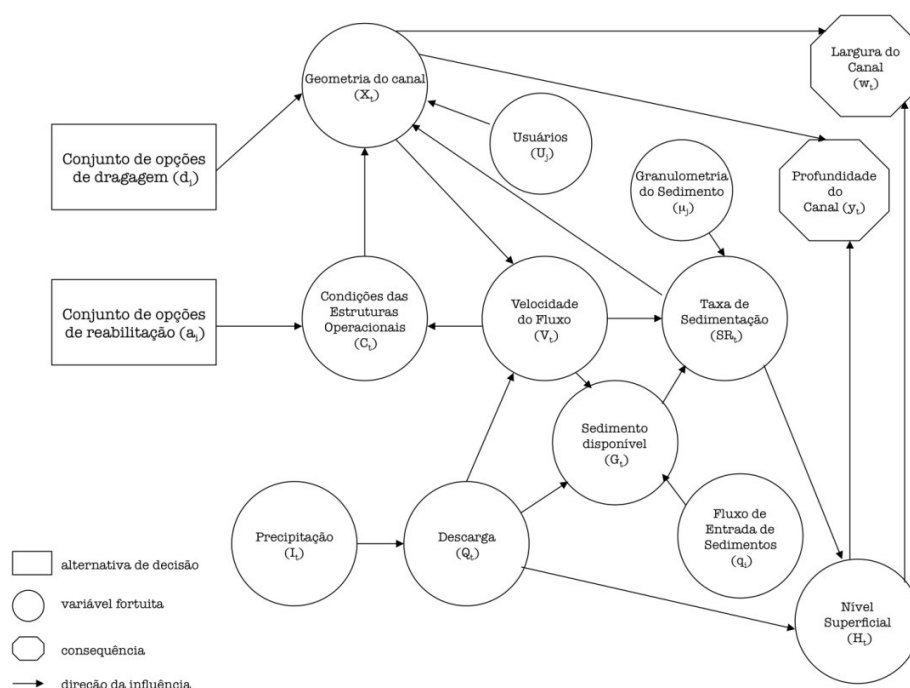


Figura 5.5. Exemplo de Diagrama de Influência. Fonte: Harrald *et al* (2006).

A **Tabela 5.6** apresenta, segundo Bowles (2003), os pontos fortes e fracos da AQR.

Tabela 5.6. Resumo dos Pontos Fortes e Fracos da AQR.

Pontos Fortes	Pontos Fracos
Valiosa na entrada de dados e justificativas para decisões de segurança, incluindo-se a priorização das questões de segurança.	Falta de um processo padronizado e experiência prática.
Prove uma quantificação das questões de segurança pelo uso de um processo sistemático baseado no risco métrico.	Guias para a determinação de riscos tolerados necessitam de desenvolvimento e, ainda, conseguir ampla aceitação.
Pode levar a uma melhor identificação, compreensão e comunicação das questões de segurança e assegura que as questões significativas tenham sido consideradas e apontadas.	Incertezas nas estimativas de probabilidades e perdas de vidas.
Pode-se incluir considerações sobre incertezas estimadas.	Comunicação das incertezas aos decisores e outros.
Geralmente inclui análises mais profundas.	Custosa.
Um processo baseado na interdisciplinaridade da equipe e relaciona considerações sobre segurança de barragens aos proprietários.	Terminologia nova e complexa.

Fonte: Bowles, 2003.

Deste modo, a razão mais importante para o uso de avaliações e análise de risco quantitativas é que elas proporcionam a comparação do risco oferecido por estruturas de um mesmo portfólio. Tal comparação é prejudicada em metodologias puramente qualitativas, muito embora, para alguns aspectos seja impossível medir o seu grau de confiabilidade, conforme já elucidado. Ainda, a forma numérica (10^{-8}) de expressão de probabilidade proporciona uma sensação de mais precisão que as formas semânticas (alto risco) e provê uma base de julgamento para a comunidade se os riscos à vida, por exemplo, estão sendo adequadamente prevenidos (ANCOLD, 2003).

5.4.3) Os níveis de metodologias de risco

As análises qualitativas podem ser tão detalhadas quanto as análises quantitativas costumam ser. O que as diferem são os níveis de profundidade da avaliação, os quais podem ser: superficial, preliminar, detalhado e muito detalhado. Para cada um destes níveis, um conjunto de dados mais ou menos profundos deverão ser compilados.

A **Tabela 5.7** trás uma descrição dos níveis de avaliação de risco. As **Tabelas 5.8, 5.9 e 5.10** trazem informações extras que ajudam na compreensão dos níveis descritos na **Tabela 5.7**.

Tabela 5.7. Níveis de Avaliações de Risco.

Nível	Tipo	Inputs de Engenharia	Estimativa da Probabilidade de Falha	Estimativa das Consequências	Método de Avaliação de Risco
Superficial	Qualitativa ou Quantitativa	Básico	Superficial	Básico ao Moderado	Básico
Preliminar	Quantitativa	Moderado ao Básico	Preliminar	Moderado	Moderado ao Básico
Detalhado	Quantitativa	Avançado ao Moderado	Detalhado	Avançado ao Moderado	Detalhado ao Moderado
Muito Detalhado	Quantitativa	Avançado ao Muito Avançado	Muito detalhado	Avançado ao Muito Avançado	Detalhado ao Muito Detalhado

Fonte: ANCOLD 2003.

Vale ressaltar que, somente as avaliações de risco *detalhadas* e *muito detalhadas* devem ser utilizadas em conjunto com as abordagens tradicionais de segurança. Estudos *superficiais* ou *preliminares* somente devem utilizados para hierarquizar riscos ou para identificar questões que não são abarcadas pelos métodos tradicionais. Grande parte dos estudos *detalhados* são úteis apenas para hierarquizar os riscos (ANCOLD 2003).

Tabela 5.8. Níveis de *inputs* de engenharia necessários à avaliação de risco.

Nível	Descrição geral de questões típicas
Básico	◆ Juntar informações disponíveis e relatórios (projeto, sobre a construção, monitoramento, vigilância). ◆ Uso e adaptação de estudos existentes sobre cheias e sismicidade. ◆ Utilização de análises existentes sobre a estabilidade do maciço de material solto ou estabelecer opinião própria sobre esta questão. ◆ Avaliar filtros e tubulações baseado em dados existentes. ◆ Avaliar a liquefação do maciço pela presença de materiais que a induzam e pelo uso de dados disponíveis. ◆ Avaliar a estabilidade da barragem de concreto pelo uso de julgamento próprio, cálculos existentes ou básicos. ◆ Avaliar comportas, válvulas e vertedores, por julgamento próprio.
Moderado	◆ Busca detalhada por informações e relatórios (projeto, sobre a construção, monitoramento, vigilância). ◆ Uso de critérios contemporâneos para previsões de cheias e de sismicidade específicos para a barragem. ◆ Re-avaliar a estabilidade do maciço de material solto, usando dados disponíveis ou poucos dados adicionais. ◆ Avaliar filtros e tubulações detalhadamente, baseado em dados existentes ou poucos dados adicionais. ◆ Avaliar a liquefação do maciço pela presença de materiais que a induzam e pelo uso de dados disponíveis ou poucos dados adicionais. ◆ Avaliar a estabilidade da barragem de concreto sob cargas de cheias, usando análises convencionais de estimativa, no corpo e na fundação. Para avaliação de sismicidade, fazer uso de análises costumeiras. ◆ Avaliar comportas, válvulas e vertedores, por dados históricos de performance e julgamento próprio.
Avançado	◆ Busca detalhada por informações e relatórios. ◆ Uso de critérios contemporâneos para previsões de cheias e de sismicidade, específicos para a barragem. ◆ Avaliar a estabilidade do maciço de material solto e deformações potenciais pós-falha, detalhadamente, por novas investigações das condições, se necessário. ◆ Avaliar filtros e tubulações detalhadamente, baseado em dados existentes ou em ensaios laboratoriais com os mesmos tipos empregados na barragem, se necessário. Fazer testes de erosão/filtros, se necessário. ◆ Avaliar a liquefação do maciço pela presença de materiais que a induzam e pelo uso de dados disponíveis ou dados adicionais. ◆ Avaliar a estabilidade da barragem de concreto sob cheias, pelo uso de análises convencionais de estimativa ou medidas <i>in loco</i>. Investigar detalhadamente as cargas atuantes de sobrepressão e as propriedades da fundação. Para sismicidade, usar análises detalhadas. ◆ Avaliar comportas, válvulas e vertedores, por análises básicas de confiabilidade.
Muito Avançado	◆ Busca detalhada por informações e relatórios. ◆ Uso de critérios contemporâneos para previsões de cheias e de sismicidade, específicos para a barragem. ◆ Avaliar a estabilidade do maciço de material solto e deformações potenciais pós-falha, detalhadamente, por novas investigações das condições, se necessário. ◆ Avaliar filtros e tubulações detalhadamente, baseado em ensaios laboratoriais com os mesmos tipos empregados na barragem. Fazer testes de erosão/filtros, se necessário. ◆ Avaliar a liquefação do maciço pela presença de materiais que a induzam e pelo uso de dados disponíveis ou dados adicionais. Deformações pós-falha devem ser estimadas numericamente ou uma análise numérica dinâmica deve ser feita. ◆ Avaliar a estabilidade da barragem de concreto sob cheias, pelo uso de análises convencionais de estimativa ou medidas <i>in loco</i>. Investigar detalhadamente as cargas atuantes de sobrepressão e as propriedades da fundação. Para sismicidade, usar análises detalhadas de modelagem das incertezas relacionadas a todos os parâmetros. Se crítica, fazer uso de análises numéricas dinâmicas lineares e não lineares. ◆ Avaliar comportas, válvulas e vertedores, por análises básicas de confiabilidade.

Fonte: modificado de ANCOLD 2003.

Os níveis descritos na **Tabela 5.8** são apenas um guia. Se os resultados não se mostrarem sensíveis aos inputs de engenharia, pode ser recomendável que se adote um nível inferior – por exemplo: do nível avançado para o moderado (ANCOLD 2003).

Tabela 5.9. Níveis das consequências avaliadas do risco.

Descrição Geral				
Nível	Cenários de Falha da Barragem	Avaliação das Inundações a Jusante	Avaliação das Consequências em Termos de Perda de Vidas (PVE)	Avaliação das Consequências Econômicas e Financeiras
Básico	Um único dia ensolarado e cenários de cheia relacionados.	rota do pico máximo da cheia ou um simples modelo bidimensional de inundação.	PVE por julgamentos de engenharia baseados no PAR.	Geralmente, não quantificadas.
Moderado	Um ou mais cenários para componentes importantes da barragem e níveis de cheia no reservatório.	um simples modelo bidimensional de inundação (mapa unifilar).	PVE por julgamentos de engenharia baseados no PAR, e tempo de alerta usando fórmulas empíricas e julgamento próprio.	Geralmente, não formalmente quantificadas. Se quantificadas, geralmente só estima-se as consequências diretas.
Avançado	Um ou mais cenários para componentes importantes da barragem e estágios de cheia no reservatório.	um ou dois modelos bidimensionais de inundação, com e cursos d'água antecedentes e tributários (mapa de risco).	PVE por julgamentos de engenharia baseados no PAR, e tempo de alerta usando fórmulas empíricas e julgamento próprio e avaliação por PAR. Rotas de fuga e gerenciamento de procedimentos de emergência.	Consequências financeiras e econômicas diretas são estimadas detalhadamente. Consequências indiretas são estimadas indiretamente ou não são estimadas.
Muito Avançado	Mais de um cenário para componentes importantes da barragem e estágios de cheia no reservatório.	modelos matemático, dois modelos bidimensionais de inundação, com muitos modelos de ruptura e cursos d'água antecedentes e tributários; considera o fator tempo (tipo de representação gráfica dos risco)	PVE por julgamentos de engenharia baseados no PAR, e tempo de alerta usando fórmulas empíricas e julgamento próprio e avaliação detalhada por PAR. Rotas de fuga e para gerenciamento de procedimentos de emergência.	Consequências financeiras e econômicas diretas e indiretas são estimadas detalhadamente.

Fonte: modificado de ANCOLD 2003.

Tabela 5.10. Métodos de Avaliação de Risco.

Nível	Descrição Geral
Básico	Qualitativo ou segurança a vida – social e individual – critérios de risco para hierarquizar e identificar modos de falha de alto risco.
Moderado	Segurança a vida – social e individual – critérios de risco para hierarquizar e identificar modos de falha de alto risco. Avaliação direta dos riscos econômicos e financeiros para identificar modos de falha de alto risco para o negócio, o empreendimento.
Avançado	Segurança a vida – social e individual – critérios de risco para hierarquizar e identificar modos de falha de alto risco. Avaliação direta dos riscos econômicos e financeiros para identificar modos de falha de alto risco para o negócio, o empreendimento. Medidas mitigadoras avaliadas quanto aos seus custos de implementação, associados a dados estatísticos de vidas salvas.
Muito Avançado	Segurança a vida – social e individual – critérios de risco para hierarquizar e identificar modos de falha de alto risco. Avaliação direta dos riscos econômicos e financeiros para identificar modos de falha de alto risco para o negócio, o empreendimento. Medidas mitigadoras avaliadas quanto aos seus custos de implementação, associado a cada dado estatístico de vidas salvas. É muito desejável que a análise inclua modelagem das incertezas nos dados de entrada.

Fonte: modificado de ANCOLD 2003.

5.5) Um exemplo de índice de risco para barragens: o RIC

É importante detalhar a metodologia de avaliação de risco de barragens desenvolvida, em 2001, por Andersen *et al*, por se tratar de um índice de priorização. Vale como um exemplo deste tipo de metodologia. Isto é válido, pois a metodologia de Andersen já foi utilizada e validada.

A metodologia desenvolvida por Andersen *et al* é um índice de risco por se tratar de uma ferramenta que indica os níveis de riscos potenciais, que estão associados às barragens de material solto. Não é uma medida de risco, mas um indicador de risco. Estes riscos são quantificados pelas deficiências no estado físico da barragem, pelos pesos estabelecidos pelos critérios a serem avaliados e graus de vulnerabilidade potencial da estrutura e seu potencial de dano.

A **Figura 5.6** ilustra o resumo da metodologia proposta por Andersen *et al*.



Figura 5.6. Resumo da Metodologia RIC. Fonte: Andersen *et al* (2001).

Deste modo, as quatro fases (**Figura 5.6**) que caracterizam a aplicação do método RIC estão descritas a seguir, nos subitens 5.5.1, 5.5.2. e 5.5.3.

5.5.1) Importância da Barragem no Inventário

A importância da barragem de material solto em um inventário pode ser determinada a partir da indicação dos riscos potenciais a ela atribuídos. Um indicativo do risco oferecido por uma barragem pode ser expresso em função de sua Vulnerabilidade (V) e seu Potencial de Dano (PD). A vulnerabilidade da barragem e do meio ambiente a jusante dela pode ser definida por seu grau de susceptibilidade ao dano, ou seja, o prejuízo acarretado pela falha de alguma outra barragem. O potencial de dano pode ser medido justamente pelo oposto de

sua vulnerabilidade, ou seja, por danos específicos a propriedades ou a vidas, resultantes de sua própria falha.

A medida da vulnerabilidade de uma estrutura e meio ambiente a jusante dela pode depender de características intrínsecas (I), extrínsecas (E) e não variáveis em função do tempo, como as estipuladas no projeto da estrutura (D). São elas:

- ◆ (I): altura (I_1), tipo (I_2), tipo de fundação (I_3) e capacidade do reservatório (I_4);
- ◆ (E): idade da barragem (E_1) e sismicidade (E_2);
- ◆ (D): adequação do vertedor (D_1) e movimentação do maciço (D_2).

Cada um dos fatores de vulnerabilidade devem receber notas que variam de 1 a 10 e seu resultado final é dado pela **Equação 5.1**, a seguir:

$$V = \frac{(I_1 + I_2 + I_3 + I_4)}{4} \cdot \frac{(E_1 + E_2)}{2} \cdot \frac{(D_1 + D_2)}{2} \quad (5.1)$$

As **Tabelas 5.11 a 5.14** trazem as notas possíveis a cada um dos atributos intrínsecos.

Tabela 5.11. Características Intrínsecas (I_1 =Altura da Barragem).

Altura da Barragem (m) (1)	Pontuação (2)
< 2,7	1
2,7 – 12,2	3
12,2 – 30,5	6
> 30,5	10

Fonte: modificado de Andersen *et al* (2001).

Tabela 5.12. Características Intrínsecas (I_2 =Tipo de Barragem).

Tipo de Barragem (1)	Descrição (2)	Pontuação (3)
Enrocamento	Composta principalmente de pedregulho ou partículas de maior tamanho	4
Terra	Composta principalmente de cascalho, areia e/ou partículas do tamanho de silte e argila	10

Fonte: Andersen *et al* (2001).

Tabela 5.13. Características Intrínsecas (I_3 =Tipo de Fundação).

Tipo de Fundação (1)	Pontuação (2)
Rocha	1
Arenoso ou <i>Moraine</i> (tipo de solo formado pela acumulação de partículas glaciais não consolidadas e rochas)	5
Aluvião	10

Fonte: modificado de Andersen *et al* (2001).

Tabela 5.14. Características Intrínsecas (I_4 =Capacidade do Reservatório).

Capacidade do reservatório (ha.m) (1)	Pontuação (2)
< 6,17	1
6,17 – 123	3
123 – 6.170	6
> 6.170	10

Fonte: Andersen *et al* (2001).

As **Tabelas 5.15** e **5.16** mostram as notas dos atributos extrínsecos. O atributo Idade da Barragem refere-se à idade aparente, que leva em conta a manutenção da barragem. Caso não seja assim considerado, poderia ser pensada uma outra distribuição, como por exemplo uma curva em que com o aumento da idade aumentaria também a probabilidade de falha.

Tabela 5.15. Características Extrínsecas (E_1 =Idade da Barragem).

Idade da Barragem (anos) (1)	Pontuação (2)
0 – 9	10
10 – 29	8
30 – 59	5
60 – 99	2
> 100	1

Fonte: Andersen *et al* (2001).

Tabela 5.16. Características Extrínsecas (E_2 =Sismicidade).

Intensidade Modificada de Mercalli (1)	Pontuação (2)
V ou menor	1
VI	2
VII	6
VIII	8
IX	10

Fonte: Andersen *et al* (2001).

Tabela 5.17. Características de Projeto (D_1 =Adequação dos Órgãos de Descarga).

Condições (1)	Pontuação (2)
(a) condições conhecidas	
Capacidade dos vertedores é inferior a metade da capacidade requerida	10
Capacidade dos vertedores é maior que a metade da capacidade requerida	5
Capacidade dos vertedores é maior que a capacidade requerida	1
(b) condições suspeitas	
Capacidade dos vertedores é menor que a requerida	5
Capacidade dos vertedores é maior que a requerida	2
Obs.: somente pontue a estrutura com as condições (a) se um estudo hidrológico e hidráulico tenha sido feito. Caso contrário, utilize (b).	

Fonte: Andersen *et al* (2001).

Tabela 5.18. Características de Projeto (D_2 = Instabilidade do Maciço).

Condições (1)	Pontuação (2)
(a) condições conhecidas	
Fator de segurança contra o movimento do maciço é menor que o requerido	10
Fator de segurança contra o movimento do maciço é maior que o requerido	1
(b) condições suspeitas	
Fator de segurança contra o movimento do maciço é menor que o requerido	7
Fator de segurança contra o movimento do maciço é maior que o requerido	2
Obs.: estrutura com as condições (a): uma análise de estabilidade do maciço tenha sido feita; condições (b) <i>menor que o requerido</i> : há evidência visível de instabilidade potencial dos taludes.	

Fonte: Andersen *et al* (2001).

Três medidas de Potencial de Dano (PD) podem ser atribuídas para medi-lo. São eles: Alto (10), Médio (5) e Baixo (1). Para um PD alto, tem-se que há um grande número de vidas em risco. Para PD médio, atribui-se uma condição onde não há vidas em risco, porém perdas econômicas, dano ao meio ambiente e uma ruptura nos modos de vida e sustento são esperadas. Para PD baixo, não há risco potencial algum a perda de vidas e as perdas econômicas e do meio ambiente esperadas são ínfimas; podem até estar limitadas ao próprio dono da estrutura.

A importância de uma barragem em um inventário ($I_{barragem}$) é determinada a partir da **Equação 5.2**, a seguir:

$$I_{barragem} = V * PD \quad (5.2)$$

5.5.2) Importância Relativa das Condições Físicas

Segundo Andersen *et al* (2001), há uma série de fatores que podem levar uma barragem de material solto a falhar. A **Tabela 5.19** lista algumas condições físicas observáveis que podem levar uma barragem de material solto a falhar.

Tabela 5.19. Algumas condições físicas que podem levar barragens de material solto a falhar.

Condições Físicas que podem levar à falha da estrutura	Modos de Falha
1. Perda ou insuficiência da capacidade do vertedor	Galgamento
2. Perda de borda livre	
3. Perda de função das descargas de fundo	
4. Erosão nos vertedores	Erosão Externa
5. Perda ou inadequação na proteção superficial do maciço	
6. Infiltrações no maciço	Piping
7. Infiltrações na fundação	
8. Deformações no maciço	Movimento do Maciço
9. Deformações na fundação	

Fonte: Andersen *et al* (2001).

As condições físicas descritas na **Tabela 5.19** podem ser consideradas como uma análise de criticidade simplificada. Ela é empregada para estimar a importância relativa de cada condição, quanto as probabilidades condicionadas de ocorrência, dos quatro modos de falha. A importância relativa é definida como a probabilidade de qualquer um dos eventos listados iniciar um processo de falha na estrutura.

As probabilidades condicionadas são determinadas a partir de duas ações: a análise de todos os dados disponíveis sobre a barragem, relacionados a sua construção, performance e comportamento - geralmente, esta etapa é cumprida após a inspeção da estrutura; e determinação das probabilidades condicionadas para os quatro modos de falha, ou seja, $P[M_i|F]$ a probabilidade do modo de falha i iniciar um processo de falha na estrutura. A atribuição das probabilidades são baseadas no julgamento do avaliador.

As probabilidades de falha a serem consideradas podem ser utilizadas como “probabilidades prévias”, que foram estimadas a partir de dados históricos. Representam, deste modo, a melhor maneira de estimar probabilidades de falha para barragens cujos dados sejam inexistentes, insuficientes ou não disponíveis. A **Tabela 5.20**, Andersen *et al* (2001) apresentam as probabilidades prévias para os quatro modos de falha identificados na **Tabela 5.19**, provavelmente mensuradas a partir de base estatística não disponibilizada.

Tabela 5.20. Probabilidades prévias para os modos de falha.

Modo de Falha (1)	Probabilidade Prévia de Ocorrência (2)
Galgamento	0,49
Piping	0,32
Movimento do Maciço	0,09
Erosão Superficial	0,10

Fonte: Andersen *et al* (2001).

Estes dados podem, ainda, ser atualizados a partir da **Equação 5.3**, a seguir.

$$P^n[M_i|X_i \cap F] = \frac{P[X_i|M_i \cap F]P[M_i|F]}{\sum_{i=1}^4 P[X_i|M_i \cap F]P[M_i|F]} \quad (5.3)$$

Em que: X_i =observação de um atributo relativo ao modo de falha i , $P^n[M_i|X_i \cap F]$ é a probabilidade condicionada atualizada para o modo de falha i , devido a presença do atributo X_i . O denominador é o resumo dos quatro modos de falha possíveis. As probabilidades condicionadas devem ser calculadas e discriminadas em uma tabela. Como exemplo, tem-se a **Tabela 5.21**, a seguir.

Tabela 5.21. Probabilidades condicionadas dos atributos.

Atributos	Modos de falha															
	Erosão Superficial				Piping				Deformação do Maciço				Galgamento			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Capacidade do vertedor é menor que a requerida pela cheia de projeto.																
Maciço erodido, sem mecanismo de proteção.																
Materiais das comportas ou tubulações facilmente desgastáveis ou degradáveis.																
Materiais desgastados e/ou degradados nos canais dos vertedores ou sob os peitoris e paredes guia.																
Mau dimensionamento do <i>riprap</i> /superfície de proteção a montante para direcionar os fluxos do reservatório e de temporais.																
Inadequação dos materiais de proteção da superfície a jusante contra o escoamento superficial.																
Condutos no sopé de jusante, completamente submersos.																
Material erodido na fundação, sem mecanismos de defesa.																
Fator de segurança relativo a movimentações do maciço fora dos padrões mínimos.																
Fator de segurança relativo a movimentações da fundação fora dos padrões mínimos.																
Material do maciço sofrivelmente compactado																
Material da fundação inadequado ou de má qualidade																
Filtros do dreno do sopé em mau estado																
Material da fundação pouco compactável																

Fonte: Andersen *et al* (2001).

A probabilidade condicionada igual a 0,5 indica que um atributo não faz efeito na probabilidade condicionada atualizada, para um modo de falha. Quanto a probabilidade condicionada for menor/maior que 0,5 é um indicativo de que a presença do atributo decresce/acresce as chances da estrutura falhar devido ao modo de falha. São definidas as probabilidades condicionadas atualizadas para os quatro casos, os quais são:

- 1) quando o atributo está presente na estrutura (A, na **Tabela 5.21**);
- 2) quando suspeita-se da presença dele (B, na **Tabela 5.21**);
- 3) quando suspeita-se da sua ausência (C, na **Tabela 5.21**);
- 4) quando sabe-se que ele está ausente (D, na **Tabela 5.21**).

Depois disto, o avaliador considera cada modo de falha e atribui uma probabilidade condicionada a cada uma das condições físicas associadas a ele $P[C_j|M_i]$, que pode ser interpretada pela probabilidade da condição física j estar associada ao modo de falha i . Ao atribuir estas probabilidades, o avaliador pode responder à seguinte questão: *Considerando-se um modo de falha em particular, qual é a chance relativa de cada condição física associada precipitar a falha da estrutura?*

Após atribuir o segundo nível de probabilidades relacionadas, a importância relativa de cada condição física (RI_j) é calculada de acordo com a **Equação 5.4**, a seguir.

$$RI_j = P[C_j|M_i] \cdot P[M_i|F] \cdot I_{barragem} \quad (5.4)$$

A **Tabela 5.22** ilustra a determinação da importância relativa hipotética a cada condição física, para uma barragem de material solto. Neste exemplo, a importância da barragem dentro do inventário foi considerada como sendo 1.000.

Tabela 5.22. Cálculo hipotético de importância relativa das condições físicas.

Probabilidade Condicionada para os Modos de Falhas (1)	Probabilidade Condicionada para as Condições Físicas (2)	Importância Relativa das condições físicas observáveis para a barragem (3)	Importância Relativa das condições físicas observáveis para o inventário (4)
Galgamento (60%)	Inadequação da capacidade do vertedor 30%	30% X 60% = 18%	0,18 X 1.000 = 180
Galgamento (60%)	Perda de borda livre 10%	10% X 60% = 6%	0,06 X 1.000 = 60
Galgamento (60%)	Perda da funcionalidade das descargas de fundo 60%	60% X 60% = 36%	0,36 X 1.000 = 360
Erosão Externa (0%)	-*	-*	-*
Piping (30%)	Piping no maciço 70%	70% X 30% = 21%	0,21 X 1.000 = 210
Piping (30%)	Piping na fundação 30%	30% X 30% = 9%	0,09 X 1.000 = 90
Movimentação do Maciço (10%)	Deslizamento no maciço 50%	50% X 10% = 5%	0,05 X 1.000 = 50
Movimentação do Maciço (10%)	Deslizamento da fundação e maciço 50%	50% X 10% = 5%	0,05 X 1.000 = 50
* Não são necessários cálculos posteriores, pois a probabilidade condicionada calculada é menor que 10%.			

Fonte: Andersen *et al* (2001).

5.5.3) Inspeção para Analisar as Condições Físicas Atuais

É importante ressaltar que, a análise da importância relativa das condições físicas é realizada após a inspeção da barragem, de sua documentação, entre outros dados relevantes levantados. Para que se possa aplicar a metodologia proposta por Andersen *et al* (2001), é necessário quantificar as nove condições físicas, que constam na **Tabela 5.19**, em termos de condições de funcionamento (CF_j).

A condição de funcionalidade (CF_j) é quantificada por um número que varia de 0 (péssima) a 10 (ideal). A **Tabela 5.23** mostra a escala das condições de funcionamento e sua respectiva interpretação de funcionalidade.

Tabela 5.23. Escalas de Condição de Funcionalidade.

Condição de Funcionalidade (CF) (1)	Descrição Geral da Condição (2)
10	Excelente: completamente funcional. Sinais de envelhecimento e desgaste podem estar invisíveis.
9-8	Boa: perda ínfima de funcionalidade ou pequena deterioração.
7-6	Regular: alguma perda de funcionalidade ou deterioração, mas sua performance não é significativamente afetada.
5-4	Marginal: perda moderada da funcionalidade ou deterioração moderada da estrutura, mas sua performance ainda está adequada.
3-2	Ruim: perda séria de funcionalidade ou deterioração significativa. Sua performance é inadequada.
1	Muito Ruim: perda extensiva de funcionalidade ou deterioração quase que total. Performance sofrível.
0	Péssima: não há funcionalidade. Não pode cumprir com sua função construtiva.

Fonte: Andersen *et al* (2001).

As **Tabelas 5.24 a 5.32** trazem informações sobre como quantificar os nove atributos físicos para se chegar a condição de funcionalidade da barragem.

Tabela 5.24. Checklist para a inspeção da condição da capacidade do vertedor.

Indicador (1)	Escala de condição sugerida (2)
0-10% obstruída	7-10
10-25% obstruída	4-7
> 25% obstruída	0-4
Na ausência de qualquer obstrução, deve-se atribuir nota 10.	

Fonte: Andersen *et al* (2001).

Tabela 5.25. Checklist para a inspeção da perda de borda livre.

Indicador (1)	Escala de condição sugerida (2)
Perda de 0-10%	7-10
Perda de 10-25%	4-7
Perda > 25%	0-4
Próxima a crista	0-5
Na ausência de perda, deve-se atribuir nota 10.	

Fonte: Andersen *et al* (2001).

Tabela 5.26. Checklist para a inspeção da perda de funcionalidade da descarga de fundo.

Indicador (1)	Escala de condição sugerida (2)
Obstruções nos componentes dos órgãos de descarga de fundo	
0-10% obstruída	7-10
10-25% obstruída	4-7
> 25% obstruída	0-4
Suspeita de obstrução mas não verificada	7-10
Válvulas e comportas da descarga de fundo	
Funcionamento apropriado ou recentemente reparada	6-10
Não operada recentemente	0-5
Não há disposição do proprietário em testar as comportas	0-1
Válvulas e comportas não podem ser abertas	0
Na ausência de qualquer indicador, deve-se atribuir nota 10. Caso não haja descarga de fundo, não considerar este critério na avaliação de risco.	

Fonte: Andersen *et al* (2001).

Tabela 5.27. Checklist para a inspeção de erosão no vertedor.

Indicador (1)	Escala de condição sugerida (2)
Nenhuma ou mínima	7-10
Alguma a moderada	4-7
Séria a extensiva	1-4
Crítica com perda de soleira de jusante	0
Na ausência de erosão ou deterioração, deve-se atribuir nota 10.	

Fonte: Andersen *et al* (2001).

Tabela 5.28. Checklist para a inspeção da perda de material da superfície de proteção do maciço.

Indicador (1)	Escala de condição sugerida (2)
Perda da proteção do talude de montante	
Nenhuma perda ou degradação até moderadas	4-10
Perda ou degradação entre séria e extensiva	1-4
Perda ou degradação crítica (exposição dos materiais estruturais)	0
Perda de material na superfície do maciço	
Pequena (0 a 0,3 m)	7-10
Moderada (0,3 a 0,6 m)	5-7
Extrema (>0,6 m)	0-5
Na ausência de perdas, deve-se atribuir nota 10.	

Fonte: Andersen *et al* (2001).

Tabela 5.29. Checklist para a inspeção de *piping* no maciço.

Indicador (1)	Escala de condição sugerida (2)
Fluxos com turbidez	
Evidências de ocorrências prévias, cujas causas não foram corrigidas	2-7
Em ocorrência	0-2
Orifícios ou depressões na superfície da barragem	0-5
Presença de poças d'água na maciço, resultante de áreas de infiltrações sem controle	
Mudanças na vegetação da superfície	5-10
Áreas superficiais fofas ou molhadas	4-8
Fluxo superficial constante	2-7
Aumento no fluxo superficial	0-4
Presença de sistemas radiculares, tocos de vegetação ou de atividade animal no maciço	0-5
Na ausência de qualquer um dos indicadores, deve-se atribuir nota 10.	

Fonte: Andersen *et al* (2001).

Tabela 5.30. Checklist para a inspeção de *piping* na fundação.

Indicador (1)	Escala de condição sugerida (2)
Fluxos com turbidez	
Evidências de ocorrências prévias, cujas causas não foram corrigidas	2-7
Em ocorrência	0-2
Orifícios ou depressões na superfície da barragem	0-5
Presença de poças d'água na maciço, resultante de áreas de infiltrações sem controle	
Mudanças na vegetação da superfície	5-10
Áreas superficiais fofas ou molhadas	4-8
Fluxo superficial constante	2-7
Aumento no fluxo superficial	0-4
Presença de sistemas radiculares, tocos de vegetação ou de atividade animal no maciço	0-5
Na ausência de qualquer um dos indicadores, deve-se atribuir nota 10.	

Fonte: Andersen *et al* (2001).

Tabela 5.31. Checklist para a verificação de movimentação do maciço.

Indicador (1)	Escala de condição sugerida (2)
Pressões exercidas no maciço por afloramentos de água, cuja inferência pode se dar pela observação de áreas com vazamentos incontroláveis	
Mudanças na vegetação superficial	5-10
Áreas superficiais moles e molhadas	4-8
Fluxo superficial constante	2-7
Fluxo superficial crescente	0-4
Evidências superficiais de movimentos do maciço, tais como rachaduras e concavidades	
Pequeno e localizado	2-8
Grande e extensivo	0-2
Na ausência de qualquer um dos indicadores, deve-se atribuir nota 10.	

Fonte: Andersen *et al* (2001).

Tabela 5.32. Checklist para a verificação de movimentação do maciço e fundação.

Indicador (1)	Escala de condição sugerida (2)
Pressões exercidas no maciço e fundação por afloramentos de água, cuja inferência pode se dar pela observação de áreas com vazamentos incontroláveis	
Mudanças na vegetação superficial	5-10
Áreas superficiais moles e molhadas	4-8
Fluxo superficial constante	2-7
Fluxo superficial crescente	0-4
Evidências superficiais de movimentos do maciço, tais como rachaduras, deslizamentos rasos e saliências	
Pequeno e localizado	2-8
Grande e extensivo	0-2
Na ausência de qualquer um dos indicadores, deve-se atribuir nota 10.	

Fonte: Andersen *et al* (2001).

5.5.4) Cômputo do Índice de Risco

Por fim, basta combinar os resultados obtidos na vistoria com os obtidos pela **Equação 5.2**, a qual determina a importância da barragem. Daí, resultará um conjunto de índices de risco, que indicarão os “pesos” das deficiências. Para cada condição observada na estrutura, cujo “peso” foi diferente de zero, deve-se calcular o índice de risco para a j^a condição. Isto se dá a partir da aplicação da **Equação 5.5**, a seguir:

$$RIC_j = RI_j \cdot \frac{(10 - CF_j)}{10} \quad (5.5)$$

Em que:

- ♦ RIC = índice de risco;

- ◆ RI_j = importância relativa de cada condição física;
- ◆ CF_j = condição de funcionalidade.

5.6) Conceitos sobre Distribuições de Probabilidade para Avaliação dos Atributos

5.6.1) Considerações Iniciais

A determinação do IPRB considerará atributos da barragem quantificáveis a partir da probabilidade de ocorrência de uma ruptura relacionada a cada atributo. Para tal, serão utilizados dados empíricos a serem “transformados” em uma distribuição de probabilidade. Vale lembrar que tais atributos serão denominados de subcritérios de avaliação, a saber: altura do barramento, volume do reservatório, comprimento, tipo de material, tipo de fundação, tipo de vertedor, idade, risco sociológico, TR dos órgãos de descarga e as condições gerais da barragem.

Existem alguns modelos para a estimativa de tais probabilidades de ocorrência. Aqui, serão listados e descritos apenas dois. Tratam-se dos mais comuns e são recomendados pela ANCOLD (2003). São eles: os métodos da performance histórica e das árvores de eventos e falhas.

O método da performance histórica faz uso de dados de falhas relativas às barragens de um mesmo tipo. Avalia-se a frequência de falhas ocorridas com estas barragens e considera-se que a performance futura de tais barragens serão similares. Não utiliza diretamente as cargas atuantes no reservatório, em condições normais ou de cheia. Tampouco permite o detalhamento das características das barragens e das habilidades dos operadores das barragens. Geralmente, analisa questões relacionadas ao corpo da barragem, mas não das estruturas auxiliares, tais como vertedores e sistemas de comportas. É indicado somente para avaliações de níveis superficial ou preliminar (ANCOLD 2003), tais como avaliações de risco por índices de priorização.

O método das árvores de eventos e de falhas propiciam a modelagem dos mecanismos de falha, a partir do evento gerador até o resultado final. São aplicáveis às condições do reservatório, detalhes da barragem, sua fundação e seus mecanismos de proteção contra rupturas. Entretanto, há pouca base objetiva para estimativa das probabilidades condicionadas. Desta forma, uma grande dose de subjetividade é necessária na hora de

julgar as probabilidades de ocorrência de eventos indesejáveis. Pode ser necessário recorrer a dados de performance histórica para aferir os resultados obtidos por esta metodologia (ANCOLD 2003).

As **Figuras 5.7 e 5.8** ilustram modelos de árvores de falha e eventos.

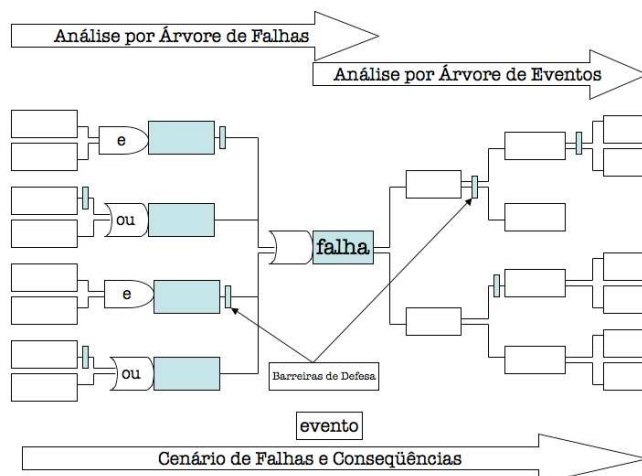


Figura 5.7. Modelo esquemático de uma árvore de falha e eventos. Fonte: CNPGB (2005).

Tipo de Sobrecarga	Evento Inicial	Resposta do Sistema	Resultado
Eventos Hidrológicos	Chuva	0 a 212 m ³ /s	Sem Falha.....Passagem da cheia Estresse excessivo do concreto.....Rompimento do concreto Galgamento pelo material solto.....Rompimento do material solto
		212 a 411 m ³ /s	Sem Falha.....Passagem da cheia Estresse excessivo do concreto.....Rompimento do concreto Galgamento pelo material solto.....Rompimento do material solto
		411 a 2.880 m ³ /s	Sem Falha.....Passagem da cheia Estresse excessivo do concreto.....Rompimento do concreto Galgamento pelo material solto.....Rompimento do material solto
	Tempestade	0 a 212 m ³ /s	Sem Falha.....Passagem da cheia Estresse excessivo do concreto.....Rompimento do concreto Galgamento pelo material solto.....Rompimento do material solto
		212 a 411 m ³ /s	Sem Falha.....Passagem da cheia Estresse excessivo do concreto.....Rompimento do concreto Galgamento pelo material solto.....Rompimento do material solto
		1.943 m ³ /s	Sem Falha.....Passagem da cheia Estresse excessivo do concreto.....Rompimento do concreto Galgamento pelo material solto.....Rompimento do material solto
Eventos Sísmicos	Terremoto	0 a 0,05 g	Sem Falha.....Sem alteração no volume do reservatório Estresse excessivo do concreto.....Rompimento do concreto
		0,05 a 0,10 g	Sem Falha.....Sem alteração no volume do reservatório Estresse excessivo do concreto.....Rompimento do concreto
		> 0,45 g	Sem Falha.....Sem alteração no volume do reservatório Estresse excessivo do concreto.....Rompimento do concreto
Eventos Internos	Estresse excessivo do concreto Fundação Vários	Sem Falha.....	Sem alteração no volume do reservatório
		Falha estrutural.....	Rompimento da barragem de concreto
	Piping da barragem de material solto Estabilidade do talude barragem TE ou ER Piping nas comportas Estabilidade da fundação em barragens TE ou ER	Sem Falha.....	Sem alteração no volume do reservatório
		Falha estrutural.....	Rompimento da barragem de TE ou ER

Figura 5.8. Um exemplo do método da árvore de falha. Fonte: CNPGB (2005).

Portanto, para atribuir as probabilidades de ocorrência relacionadas a cada subcritério de avaliação, far-se-á uso de dados estatísticos históricos sobre falhas com barragens, uma vez que o outro método citado (árvore de falhas e eventos) geralmente utiliza os referidos dados para auferir seus resultados. Além disso, dada a natureza do IPRB, a utilização de dados históricos mostra-se apropriada, pois é indicada somente para avaliações de níveis superficial ou preliminar, tais como avaliações de risco por índices de priorização.

5.6.2) Exemplos de Distribuições de Probabilidade

As distribuições de probabilidade são a representação de como as probabilidades de um determinado evento aleatório se distribui ao longo de seu universo de ocorrência. Há expressões matemáticas que procuram descrever tais distribuições. Essas expressões são ditas “teóricas”, pois procuram representar o comportamento de uma variável aleatória qualquer, que pode ser simétrica ou assimétrica, achatada ou alongada e, portanto pode representada por diferentes funções.

As distribuições teóricas são expressões matemáticas que procuram descrever as probabilidades de uma determinada variável aleatória¹ e, geralmente, descrevem as probabilidades de ocorrência de variáveis aleatórias contínuas. As distribuições teóricas são determinadas por meio das estatísticas da amostra do evento que se procura descrever.

Distribuições teóricas:

Uma distribuição teórica é um modelo matemático que descreve um comportamento de uma determinada variável, ou melhor, uma determinada variável aleatória pode ser representada por um modelo matemático que descreve sua provável distribuição probabilística. Uma distribuição teórica é determinada por meio de parâmetros da distribuição, que por sua vez descrevem sua natureza específica por meio de valores particulares determinados. São vários os modelos matemáticos que procuram representar diferentes comportamentos probabilísticos das amostras, e citam-se algumas: Distribuição Normal, Log-Normal, Gamma, Beta, Exponencial, Fisher-Tippet, Pearson (Tipo I, II e III), Log-Pearson (Tipo I, II e III), Gumbel, Log-Gumbel, etc, que podem ainda ser definidas por

¹ As variáveis aleatórias contínuas são aquelas que podem assumir qualquer valor real em um espaço finito ou infinito contável, como exemplo pode-se citar a temperatura, ou o preço dos combustíveis. Já as distribuições discretas só podem assumir valores inteiros, como exemplo de variáveis discretas cita-se: resultado de um jogo de dados cujos resultados podem assumir os valores de 1 a 6, ou jogo de moedas cujos resultados são limitados somente aos eventos cara ou coroa, não é possível a ocorrência de $\frac{1}{4}$ de cara e $\frac{3}{4}$ de coroa.

dois ou três parâmetros da amostra, geralmente a média ou esperança (θ_1), desvio-padrão ou variância (θ_2), como também a assimetria (γ).

Distribuições de probabilidades para variáveis contínuas:

Distribuição Normal:

Esta distribuição, também conhecida como “distribuição normal de Gauss” em homenagem ao matemático alemão Karl Friedrich Gauss (1777-1855), a quem é atribuído o pioneirismo no tratamento dos erros aleatórios de medidas experimentais. É utilizada para descrever o comportamento de variáveis aleatórias que gravitam em torno de um valor central, descrito pela média da amostra.

A distribuição normal é representada por dois parâmetros, pelas funções densidade de probabilidade (fdp) e probabilidade acumulada (fpa), expressas respectivamente por:

$$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\theta_2^2}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\theta_1}{\theta_2}\right)^2\right] \quad (5.6)$$

$$F_x(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi\theta_2^2}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\theta_1}{\theta_2}\right)^2\right] dx \quad (5.7)$$

A **Figura 5.9**, a seguir, ilustra a função de densidade de probabilidade e função acumulada de probabilidade da distribuição normal, com $\theta_1=8$ e $\theta_2=1$.

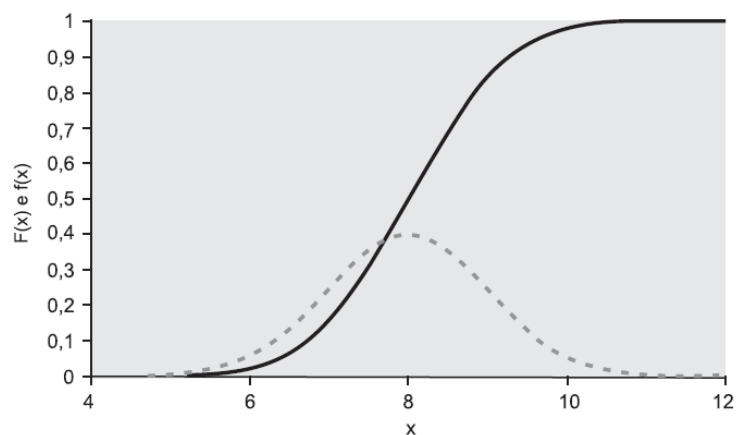


Figura 5.9. Função de densidade de probabilidade e função acumulada de probabilidade da distribuição normal, com $\theta_1=8$ e $\theta_2=1$. Fonte: Naghettini e Pinto (2007).

Os parâmetros θ_1 e θ_2 representam a esperança e a variância de uma variável Normal e são dados por: $\theta_1 = E[X] = \mu$, $\theta_2 = Var[X] = \sigma^2$, com um coeficiente de assimetria $\gamma=0$. Desta forma, as **Equações (5.6) e (5.7)** podem ser reescritas da seguinte maneira:

$$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \text{ para } -\infty < x < \infty \quad (5.8)$$

A nomenclatura $N(0,1)$ representa uma distribuição Normal de média (μ) igual a zero e desvio padrão (σ) igual a 1. A média de uma variável Normal X é igual ao parâmetro de posição, em torno do qual os valores de X dispersam-se simetricamente. O desvio padrão, por sua vez, é o parâmetro de escala que indica o grau com que a variável X dispersa-se em torno de sua média (μ).

A função de probabilidade acumulada (fpa) da distribuição Normal não tem solução analítica. Este inconveniente pode ser superado pela adoção de uma transformação linear por meio da variável reduzida, expressa por: $z = \frac{X - \mu}{\sigma}$.

A variável z recebe o nome de variável reduzida e a distribuição de probabilidade de Z recebe o nome de distribuição Normal padrão, ou distribuição normal canônica. A função de probabilidade acumulada da distribuição normal padrão pode ser obtida mediante integração numérica e seus resultados tabelados, descritos pela tabela de distribuição normal.

Distribuição Log-Normal:

Em muitas aplicações estatísticas, é comum que uma determinada variável não seja bem representada por uma determinada distribuição, porém uma mudança em sua base talvez possibilite representá-la por uma distribuição probabilística. A distribuição Log-Normal aplica a distribuição Normal aos logaritmos das variáveis. Desta forma, a função densidade de probabilidade de uma variável Log-Normal X é dada por:

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma_{\ln(x)} \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x) - \mu_{\ln(x)}}{\sigma_{\ln(x)}}\right)^2\right] \text{ para } x > 0.$$

O cálculo de probabilidades e de funções inversas pode ser efetuado da mesma maneira que o realizado pela distribuição Normal, mas a variável torna-se o logaritmo da

variável original $Y=\ln(X)$ e sua inversa $X=\exp(Y)$. A esperança e a variância de uma variável Log-Normal são representadas pelas seguintes expressões: $E[X]=\mu_x=\exp\left[\mu_{\ln(x)}+\frac{\sigma_{\ln(x)}^2}{2}\right]$ e $Var[X]=\sigma_x^2=\mu_x^2\left[\exp(\sigma_{\ln(x)}^2)-1\right]$.

Dividindo-se a Variância por μ_x^2 e, em seguida, extraindo-se a sua raiz quadrada, obtêm-se a expressão para o coeficiente de variação da variável Log-Normal, representada pela expressão:

$$CV_x = \sqrt{\exp[\sigma_{\ln(x)}^2]-1} \quad (5.9)$$

O coeficiente de assimetria da distribuição Log-Normal é dado pela expressão:

$$\gamma = 3CV_x + (CV_x)^3 \quad (5.10)$$

Como $CV_x > 0$, tem-se como resultado que a distribuição Log-Normal é sempre assimétrica para a direita (positiva), cujo coeficiente de assimetria é proporcional ao coeficiente de variação. A **Figura 5.10** traz exemplos de funções de densidade de probabilidade Log-Normal.

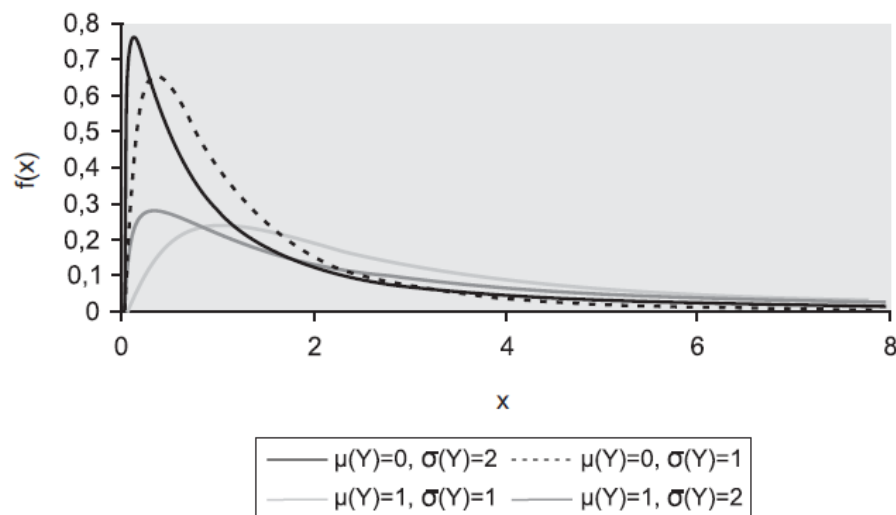


Figura 5.10. Exemplos de funções de densidade de probabilidade Log-Normal. Fonte: Naghettini e Pinto (2007).

Distribuição Exponencial:

A distribuição exponencial possui inúmeras aplicações em diversas áreas do conhecimento e, em particular, nas variáveis hidrológicas. A função de densidade de distribuição exponencial é dada pela seguinte expressão: $f_x(x) = \frac{1}{\theta} \exp\left(-\frac{x}{\theta}\right)$ ou $f_x(x) = \lambda \exp(-\lambda x)$ para $x \geq 0$, em que θ (ou $\lambda = \frac{1}{\theta}$) é o único parâmetro da distribuição. A função de probabilidade acumulada da distribuição exponencial é dada por: $F_x(x) = 1 - \exp\left(-\frac{x}{\theta}\right)$ ou $F_x(x) = 1 - \exp(-\lambda x)$.

A esperança, variância e o coeficiente de assimetria da distribuição exponencial são dados por: $E[X] = \theta$ ou $E[X] = \frac{1}{\lambda}$; $Var[X] = \theta^2$ ou $Var[X] = \frac{1}{\lambda^2}$; $\gamma = 0$.

O coeficiente de assimetria da distribuição exponencial é fixo e positivo. A **Figura 5.11**, a seguir, apresenta as funções densidade de probabilidade e funções de probabilidades acumuladas para $\theta=2$ e $\theta=4$.

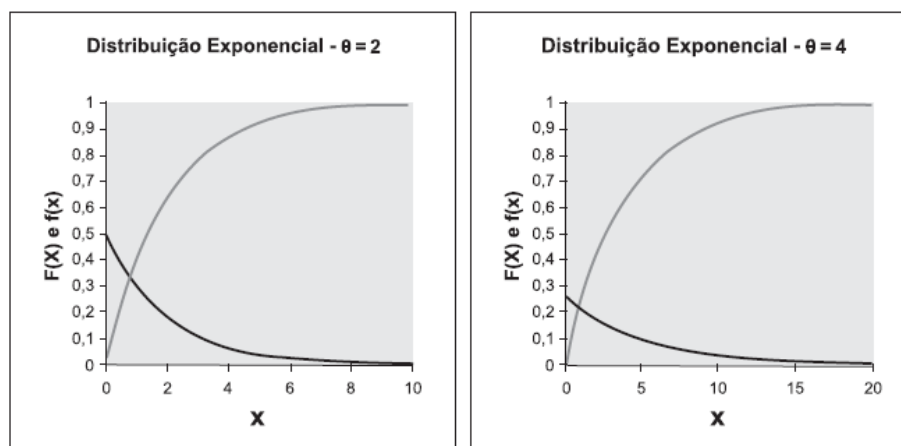


Figura 5.11. Funções de densidade de probabilidade e funções de probabilidades acumuladas para $\theta=2$ e $\theta=4$. Fonte: Naghettini e Pinto (2007).

Distribuição Gamma:

Muitas variáveis hidrológicas possuem assimetria positiva, com cauda alongada para a direita. Geralmente, a distorção ocorre quando existe um limite físico à esquerda, que é

próximo à variação dos dados. Há uma variedade de distribuições contínuas que são limitadas à esquerda por zero; no presente caso, pode-se citar os subcritérios altura, volume do reservatório, comprimento, etc.

A função densidade de probabilidade da distribuição Gamma tem como expressão geral: $f_x(x) = \frac{\left(\frac{x}{\theta}\right)^{\eta-1} \exp\left(-\frac{x}{\theta}\right)}{\theta \Gamma(\eta)}$, para x, θ e $\eta > 0$, em que θ e η representam os parâmetros de escala e de forma, respectivamente. Na forma sintética, a distribuição Gamma é representada por $X \sim Ga(\theta, \eta)$. Segundo Naghettini e Pinto (2007), $\Gamma(\eta)$ denota o fator de normalização que obriga a área total da densidade ser igual à unidade. A função Gamma Completa $\Gamma(\eta)$ expressa esse fator de normalização do argumento η , que é dada por:

$$\Gamma(\eta) = \int_0^{\infty} x^{\eta-1} e^{-x} dx \quad (5.11)$$

A função de probabilidades acumuladas da distribuição Gamma é definida por:

$$F_x(x) = \int_0^x \frac{\left(\frac{x}{\theta}\right)^{\eta-1} \exp\left(-\frac{x}{\theta}\right)}{\theta \Gamma(\eta)} dx \quad (5.12)$$

A integral da função de probabilidades acumuladas não pode ser obtida analiticamente. Desta forma, o cálculo das probabilidades da distribuição Gamma deve ser realizado por aproximações numéricas. Para valores elevados de η , é possível a adoção de uma aproximação bastante simples e que conduz a resultados satisfatórios, que faz uso da variável Gamma normalizada pelo parâmetro escala.

A referida aproximação considera uma variável Gamma X , com parâmetro de escala θ e a variável Gamma padrão, por sua vez, é descrita por $\xi = \frac{x}{\theta}$. Demonstra-se, neste caso, que $\theta_\xi = 1$, sendo o parâmetro de forma é o mesmo tanto para X quanto para ξ . Desta forma, verifica-se que a função de probabilidade acumulada de X pode ser representada por:

$$F_x(x) = \frac{\int_0^x \xi^{\eta-1} e^{-\xi} d\xi}{\int_0^{\infty} \xi^{\eta-1} e^{-\xi} d\xi} = \frac{\Gamma_i(\xi, \eta)}{\Gamma(\eta)} \quad (5.13)$$

entre a função Gamma incompleta $\Gamma_i(\xi, \eta)$ e a função Gamma completa $\Gamma(\eta)$.

Segundo Naghettini e Pinto (2007), esse quociente pode ser aproximado pela distribuição Normal padrão $\phi(u)$, calculada no ponto u , o qual é definido por:

$$u = 3\sqrt{\eta} \left(\sqrt{\frac{\xi}{\eta}} - 1 + \frac{1}{9\eta} \right) \quad (5.14)$$

Os valores esperados para a esperança, variância e o coeficiente de assimetria da variável Gamma são dados por: $E[X] = \eta\theta$, $Var[X] = \eta\theta^2$ e $\gamma = \frac{2}{\sqrt{\eta}}$.

A **Figura 5.12**, a seguir, traz exemplos de funções densidade de probabilidades da distribuição Gamma.

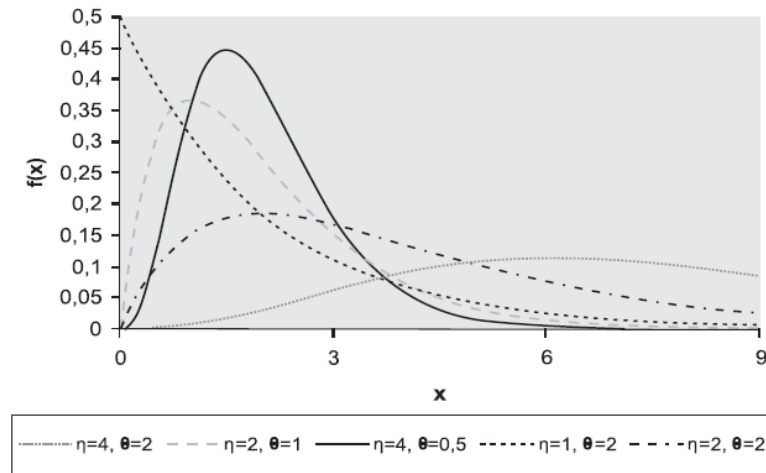


Figura 5.12. Exemplos de funções densidade de probabilidades da distribuição Gamma.

Fonte: Naghettini e Pinto (2007).

6) Metodologia

"Índice: relação entre valores de qualquer medida ou gradação; número adimensional ou não que pode servir para a comparação de fenômenos aleatórios em tempos ou situações diversas; símbolo numérico ou literal que se associa a outro para caracterizar um novo símbolo."

Aurélio Buarque de Holanda Ferreira

6.1) O Índice de Priorização de Risco para Barragens (IPRB)

6.1.1) Generalidades

Avaliações de risco por índices são valiosas, pois permitem aferir diferentes aspectos, que, individualmente, informam um possível comprometimento da segurança da barragem. Quando os aspectos são avaliados em conjunto, os índices possibilitam um diagnóstico global das condições de segurança da estrutura. Geralmente sua utilização não é custosa. São utilizados para conseguir uma hierarquização inicial, em barragens que constam em um mesmo portfólio, seja de um mesmo proprietário, dentro de um mesmo curso d'água, bacia hidrográfica ou estudo. São úteis para nortear a ordem das barragens que necessitam de estudos posteriores mais aprofundados ou para ajudar a estabelecer requerimentos de vigilância e monitoramento. Devem, preferencialmente, refletir o risco métrico das chances de ocorrência e suas consequências. Portanto, trata-se de uma ferramenta eficaz, que auxilia grandemente o gerenciamento dos riscos.

A maioria das barragens construídas no mundo tem entre 10 e 20 metros de altura. Na América do Sul, 57% das barragens construídas tem altura entre 0 e 30 metros, sendo a média mundial 65% para este intervalo de alturas. Quanto ao volume do seu reservatório, a maioria das barragens sul americanas tem capacidade de armazenamento entre 1 e 100 milhões de metros cúbicos – cerca de 52% - e a média mundial para o mesmo volume é de 59%. Nota-se claramente, que realmente a maioria das barragens construídas no mundo é de pequeno porte (Zuffo, 2005).

As barragens que mais sofreram falhas foram as com altura entre 11 e 20 metros (34%), seguidas daquelas com altura entre 21 e 30 metros (15%) e das com altura entre 31 e 40 metros (12%). As barragens acima de 81 metros de altura correspondem à menor porcentagem de acidentes (cerca de 4%), o que pode ser atribuído a um melhor monitoramento destas estruturas, além de, geralmente, possuírem instrumentos e regras de operação e manobra dos dispositivos de controle (comportas) de vertedores e saídas d'água

melhor definidas e detalhadas (Zuffo, 2005).

Desta forma, conclui-se que as barragens de menor porte oferecem um maior risco a sociedade. Várias razões podem ser associadas a esta afirmação: os empreendedores deste tipo de estrutura não atentam para técnicas construtivas refinadas, não definem regras operacionais, muitas vezes não realizam o projeto da obra e tampouco se preocupam com a manutenção das partes constituintes das mesmas.

Geralmente, as pessoas não associam acidentes com barragens de pequeno porte a grandes perdas. Como se pode observar com a ajuda das estatísticas, isto não corresponde, em absoluto, a realidade e deverá servir de alerta aos órgãos públicos encarregados de aprovar e fiscalizar tais obras. Os responsáveis pela elaboração de leis, manuais, enfim, aspectos relacionados com a segurança de barragens, acabam se preocupando mais com as estruturas de maior porte, deixando de lado as pequenas estruturas, haja visto a Lei nº 168, relativa à segurança de barragens citada no Capítulo 4 deste estudo, que é destinada a barramentos maiores ou iguais a 15 metros. Poucos países, como, por exemplo, Portugal e Canadá, possuem regras legais específicas para barragens de pequeno porte (Zuffo, 2005).

Pode-se afirmar que as barragens que estão mais sujeitas a falhas são as de terra (47%), seguidas pelas de enrocamento (21%), concreto de gravidade (12%), rejeitos (9%), em arco (7%), contrafortes e mista de arcos múltiplos e concreto de gravidade, ambas com cerca de 2%. Somente as barragens de arcos múltiplos não apresentaram acidentes (Zuffo, 2005). Contudo, o índice proposto neste trabalho será elaborado para avaliar o risco de rompimento de pequenas barragens de material solto.

6.1.2) Algoritmo do IPRB

A grande crítica observada quanto aos índices de priorização de risco é que eles não medem o risco métrico, ou seja, o risco medido a partir da probabilidade de falha da estrutura relacionado aos atributos observados no barramento, combinado a probabilidade de ocorrência dos modos de falha considerados.

Desta forma, optou-se por atribuir um risco métrico ao resultado do cálculo do IPRB, seguindo a lógica proposta no Teorema da Probabilidade Total. Assim, o IPRB deverá ser calculado a partir da **Equação 6.1**, a seguir.

$$IPRB = PI_1 * PMF_{I1} + PI_2 * PMF_{I2} + PI_3 * \sum PMF_{I3} + PI_4 * PMF_{I4} + PI_5 * \sum PMF_{I5} + PI_6 * PMF_{I6} + PE_1 * \sum PMF_{E1} + PE_2 * PMF_{E2} + PD_1 * \sum PMF_{D1} + PD_{2,n} * \sum PMF_{D2,n}$$

(6.1)

Em que:

- ◆ IPRB – Índice de Priorização de Risco da Barragem;
- ◆ PI_n – probabilidade associada ao atributo intrínseco n ($n=6$);
- ◆ PMF_{In} – probabilidade associada ao modo de falha I_n do atributo intrínseco correspondente;
- ◆ PE_n – probabilidade associada ao atributo extrínseco n ($n=2$);
- ◆ PMF_{En} – probabilidade associada ao modo de falha E_n do atributo extrínseco correspondente;
- ◆ PD_n – probabilidade associada ao atributo de projeto n ($n=2$);
- ◆ PMF_{Dn} – probabilidade associada ao modo de falha D_n do atributo de projeto correspondente.

Caso seja necessário conhecer quanto cada atributo contribui para a condição de risco da barragem, deve-se fazer uso do Teorema de Bayes, por meio da seguinte expressão:

$P(A_i | IPRB) = \frac{PA_i * PMF_{Ai}}{IPRB}$, em que, o numerador representa a probabilidade condicionada ao atributo i e o denominador é o resumo de todos os atributos da barragem combinados aos seus respectivos modos de falha, representado pelo IPRB.

O Teorema de Bayes¹ foi desenvolvido no século 18 pelo reverendo inglês Thomas Bayes (1702-1761) e, atualmente, pode ser considerado como uma das opções de cálculo mais utilizadas pelos estatísticos nas suas previsões. Foi publicado postumamente pela *Royal Society* com o título "Ensaio Voltado para Solução de um Problema na Doutrina do Acaso" e o trabalho passou a ser conhecido como Teorema de Bayes, uma técnica de estatística e estimativa que virou uma lei fundamental da matemática. Como está fundamentado na Teoria da Probabilidade Total, que é o algoritmo do IPRB, é importante dar uma breve explanação das premissas deste teorema.

¹ Fonte: <http://matematiques.sites.uol.com.br/pereirafreitas/3.8teoremabayes.htm>, em 02/06/2010.

A proposta de Bayes essencialmente era inovadora por considerar o caráter subjetivo na previsão de um evento, ou seja, a opinião do avaliador. Essa opinião é baseada na quantidade de informação que se tem sobre as condições de ocorrer tal evento. As informações vão definitivamente influenciar a previsão. Deste modo, ao utilizar este método, por exemplo, na previsão das chances de um time *A* vencer um time *B*, deve-se levar em conta as informações que se tem sobre resultados anteriores a essa disputa, como quantas vezes *A* venceu *B*, e as experiências e opiniões de especialistas sobre esse jogo, o campeonato e os jogadores.

O Teorema de Bayes é composto por três axiomas. De acordo com o primeiro axioma, tem-se que $0 \leq P(A) \leq 1$, ou seja, valores probabilísticos de um evento *A* qualquer não podem ser menores que zero nem maiores que 1 e a probabilidade do evento certo é igual a 1. O valor zero é atribuído ao evento impossível e os valores intermediários, aos eventos possíveis ou incertos.

O segundo axioma diz que a probabilidade de qualquer evento ocorrer dentre um número *n* de eventos alternativos mutuamente exclusivos *A* e *B* é igual à soma das probabilidades dos eventos individuais, ou seja, $P(A \text{ ou } B) = P(A) + P(B)$.

O terceiro axioma prediz que a probabilidade de dois eventos *A* e *B* ocorrerem é igual à multiplicação da probabilidade condicional $P(A|B)$ – lê-se “probabilidade de *A* dado *B*” – pela probabilidade de *B*, o que pode ser formalizado de modo simplificado assim: $P(A \text{ e } B) = P(A|B) \times P(B)$. Pelo mesmo raciocínio, $P(B \text{ e } A) = P(B|A) \times P(A)$.

Do terceiro axioma, assumindo-se por comutação que $P(A \text{ e } B) = P(B \text{ e } A)$, deduz-se o teorema de Bayes que tem a seguinte formulação básica: $P(A|B) = P(B|A) / P(B) \times P(A)$. Nessa fórmula, a probabilidade do evento *A* ocorrer em vista do evento *B* ($P(A|B)$) é dada por três fatores: a verossimilhança de *A* (a probabilidade de *B* dado *A*); a probabilidade prévia de *B*; e a probabilidade prévia de *A*.

O IPRB está contido no passo inicial da avaliação de risco, ou seja, na análise do risco. A análise do risco é feita, geralmente, seguindo-se os seguintes passos:

- ◆ fase 1: definição do escopo (identificação dos modos de falha, definição dos critérios, funções de valor e algoritmo do método).

- ◆ fase 2: identificação dos riscos (caracterização dos atributos das barragens em estudo, quantificáveis por meio de dados estatísticos diretos).
- ◆ fase 3: cálculo do risco estimado (resultado do IPRB).

Desta forma, a elaboração do IPRB passará pelas seguintes etapas ilustradas na **Figura 6.1**, a seguir.

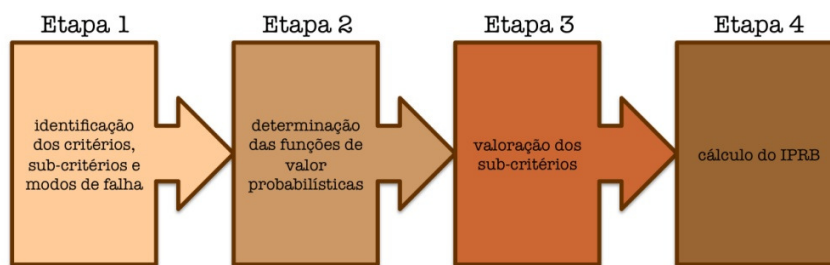


Figura 6.1. Etapas para elaboração do IPRB.

6.1.3) Critérios e Subcritérios do IPRB

A escolha dos critérios e subcritérios de avaliação que entraram no cômputo do IPRB se deu a partir da observância de dados relativos a acidentes com barragens ao redor do mundo, cujas quantidades sejam suficientes para que se possa dar um tratamento estatístico adequado. O único estudo encontrado que serviu para este fim foi o compilado pelo ICOLD, em 1995, denominado de *Dam Failures – Statistical Analysis*. Considera-se relevante encontrar um estudo parecido com dados atualizados, mas infelizmente isto não foi possível.

Segundo Ensslin *et al* (2001), o conjunto final de subcritérios que participam de uma avaliação deverá ter pelo menos as seguintes características, para que possa ser, de fato, considerado como tal:

1. ser essencial: deve levar em conta os aspectos de fundamental importância, segundo o sistema de valores dos especialistas;
2. ser controlável: deve representar um aspecto que seja influenciado apenas pelas questões de segurança que envolvam risco;
3. ser completo: deve incluir todos os aspectos considerados como fundamentais pelos especialistas;

4. ser mensurável: permite especificar, com a menor dúvida possível, a performance das ações potenciais, segundo os aspectos considerados fundamentais pelos especialistas;
5. ser operacional: as informações requeridas sobre sua performance estejam dentro do tempo disponível para a realização da avaliação por índices - inspeção visual - e baixo custo;
6. ser isolável: a análise de cada subcritério poderá ser realizada de forma independente com relação aos demais aspectos do conjunto;
7. não ser redundante: o conjunto não deve levar em conta o mesmo aspecto mais de uma vez;
8. ser conciso: o número de aspectos considerados pelo conjunto deve ser o mínimo necessário para modelar de forma adequada o problema, segundo a visão dos especialistas;
9. ser compreensível: ter o seu significado claro para os decisores, permitindo a geração e comunicação de idéias.

Deste modo, selecionou-se 10 subcritérios de avaliação, subdivididos em 3 grandes famílias de critérios, a saber (**Tabela 6.1**). Vale ressaltar que esta etapa trata-se de uma parte que não poderá ser alterada para que se caracterize a aplicação do IPRB. A não ser em casos em que uma nova base de dados estatísticos confiáveis seja compilada, permitindo, assim, a inclusão de novos subcritérios de avaliação.

Tabela 6.1. Critérios e subcritérios de avaliação do IPRB.

Sigla	Critério	Sigla	Subcritério	Unidade
I _n	Características Intrínsecas	I ₁	Altura	m
		I ₂	Volume do Reservatório	m ³
		I ₃	Comprimento	m
		I ₄	Tipo de Material	escala semântica
		I ₅	Tipo de Fundação	escala semântica
		I ₆	Tipo de Vertedor	escala semântica
E _n	Características Extrínsecas	E ₁	Idade	anos
		E ₂	Risco Sociológico	escala semântica e numérica
D _n	Características de Projeto	D ₁	TR dos órgãos de Descarga	anos
		D ₂	Condições Gerais	escala semântica

Assim, faz-se necessário realizar uma inspeção de segurança nas estruturas, observando-se os subcritérios que entram no computo do IPRB. Assim, a seguir, apresenta-se um descritivo de todos os critérios e subcritérios de avaliação, levados em consideração no cálculo do IPRB:

As Características Intrínsecas (I_n) correspondem a 60% dos subcritérios que entram no cômputo do IPRB. São caracterizados como todos os atributos mais comumente “imutáveis” do barramento e que podem ser relacionados como uma “oferta” de risco. São eles:

- ◆ Altura (I_1): é medido em metros (m) e caso esta informação esteja indisponível, ou seja, não se conheça a altura da estrutura, deve-se adotar na sua valoração a situação relacionada ao maior risco, a ser determinada pela função de valor probabilística correspondente a este subcritério; por exemplo: caso a altura que ofereça mais riscos esteja relacionada a uma altura de 12 metros, dever-se-á adotar a probabilidade associada a 12 metros de altura;

- ◆ Volume do Reservatório (I_2): é medido em metros cúbicos (m^3) e caso esta informação esteja indisponível, ou seja, não se conheça o volume do reservatório da estrutura, deve-se adotar na sua valoração a probabilidade associada ao maior risco encontrado, a ser determinada pela função de valor probabilística correspondente a este subcritério;

- ◆ Comprimento (I_3): é medido em metros e caso esta informação esteja indisponível, ou seja, não se conheça o comprimento da estrutura, deve-se adotar na sua valoração a probabilidade associada ao maior risco encontrado, a ser determinada pela função de valor probabilística correspondente a este subcritério;

- ◆ Material (I_4): é medido em termos de uma escala semântica de valores, ou seja, de terra, de enrocamento ou mista. Caso esta informação esteja indisponível, ou seja, não se conheça o material que foi utilizado na construção da estrutura, fato raro, deve-se adotar na sua valoração a probabilidade associada ao maior risco encontrado, a ser determinada pela função de valor probabilística correspondente a este subcritério;

- ◆ Tipo de Fundação (I_5): para valorar este subcritério é necessário plotar a localização das estruturas em um mapa litológico da região. Caso tal mapa ou as coordenadas geográficas do barramento não estejam disponíveis, deve-se adotar na sua valoração a

probabilidade associada ao maior risco encontrado, a ser determinada pela função de valor probabilística correspondente a este subcritério.

No presente estudo procurou-se a opinião de diversos geólogos a fim de qualificar os tipos de solos existentes em termos de Rocha, Solo e Misto, uma vez que só existem estatísticas relacionadas a estes três atributos. Deste modo, a **Tabela 6.2** traz as considerações aqui utilizadas, a fim de valorar este subcritério:

Tabela 6.2. Parâmetros de valoração do subcritério I_5 – Tipo de Fundação.

Escala Semântica de Valoração	Litologia Correspondente
Rocha	Anatexito, Migmatito; Arenito; Basalto, Dacito; Calcário, Folhelho; Granito, Monzodiorito, Monzogranito, Quartzo Monzonito, Sienito; Migmatito; Quartzo Arenito; Siltito; e Siltito Argiloso.
Solo	Areia, Lama, Laterita; e Sedimento Aluvionar, Sedimento Detrito-Laterítico.
Misto	aquelas localizadas em zonas de interface entre as litologias rochosas e de solos.

◆ Tipo de Vertedor (I_6): sua valoração se dá a partir de uma escala semântica de valores: conduto forçado, comportas e livre. Caso esta informação esteja indisponível (fato raro), ou seja, não se conheça o tipo de vertedor da estrutura, deve-se adotar na sua valoração a probabilidade associada ao maior risco encontrado, a ser determinada pela função de valor probabilística correspondente a este subcritério.

As Características Extrínsecas (E_n) correspondem a 20% dos subcritérios que entram no cômputo do IPRB. São caracterizados como todos os atributos mais comumente “mutáveis” do barramento e que podem ser relacionados como uma “oferta” de risco. São eles:

◆ Idade (E_1): este atributo, que é medido em anos, foi considerado extrínseco uma vez que pode estar relacionado a “idade aparente” do barramento e não necessariamente a sua idade real; ou seja, a estrutura pode ter sofrido reformas ao longo de sua vida e, assim, deve-se considerar sua idade aparente, ou seja, como se sua compleição tivesse sido levada a cabo no ano em que se completou a sua reforma. Caso esta informação esteja indisponível, ou seja, a idade da estrutura seja desconhecida, deve-se adotar na sua valoração a probabilidade associada ao maior risco encontrado, a ser determinada pela função de valor probabilística correspondente a este subcritério;

◆ Risco Sociológico (E_2): este atributo pode ser considerado como subjetivo, pois está intrinsecamente relacionado aos valores “éticos” do avaliador de risco. Em análises de risco,

geralmente nas análises quantitativas, é necessário estabelecer os riscos à comunidade e níveis de segurança de vida. Para tal, o dono do empreendimento não deve ter autonomia absoluta para estabelecer as políticas de riscos toleráveis ou aceitáveis. Estes riscos podem ser à vida, à saúde pública e ao meio ambiente. Há, portanto, a necessidade de que os reguladores da segurança de barragens, as leis vigentes, a comunidade afetada em questão e as expectativas políticas sejam igualmente consideradas. Isto é reconhecidamente considerado como boas práticas de gestão de risco (ANCOLD 2003).

O Risco Sociológico não será valorado a partir de dados que constam no estudo estatístico balizador deste trabalho (ICOLD, 1995), pois será determinado a partir da seguinte expressão, que consta no estudo denominado *Risk Assessment in Dam Safety Management* (ICOLD, 2005):

$$P_{fi} = \frac{\beta_i * 10^{-4}}{P_{d/fi}} \quad (6.2)$$

Em que:

- ◆ P_{fi} : probabilidade de aceitação social relacionada ao barramento;
- ◆ β_i : grau de voluntariedade do risco em relação aos benefícios gerados, medido a partir de um número que varia de 0,01 a 100; e
- ◆ $P_{d/fi}$: probabilidade de morrer em um acidente “tecnológico”, mais comumente observado e aceito pela sociedade.

O grau de voluntariedade do risco será ponderado pelo grau de desenvolvimento social, a ser valorado a partir dos valores do índice de desenvolvimento humano médio (IDH-M), o grau de aceitação do risco (finalidade construtiva) e as consequências de um incidente (condições de ocupação a jusante).

O IDH-M será computado a partir de dados correntes ofertados pelo IBGE, referentes a última pesquisa realizada; no caso, o último estudo é do ano de 2000. Deste modo, busca-se o IDH-M correspondente ao município que sofrerá as consequências relacionadas a um incidente com a barragem, ou seja, a municipalidade a jusante. Caso as coordenadas geográficas da barragem não estejam disponíveis e, assim, não seja possível inferir qual o município a jusante, dever-se-á adotar o IDH-M do município em que o barramento está localizado. Como a escala de valoração dos dois subcritérios que compõem o Risco Sociológico variam de 0 a 100, resolveu-se por multiplicar o valor do IDH-M por 100, a fim

de que ele entre com um peso maior no cômputo geral da avaliação deste subcritério e, assim, represente melhor a importância deste atributo.

O grau de aceitação do risco (GAR) é determinado a partir da finalidade construtiva do barramento, ou seja, abastecimento humano, geração de energia, navegação, controle de cheias, regularização de vazão, lazer, piscicultura, irrigação, entre outras. Deve-se atribuir, para cada uma das finalidades, um valor entre 0,01 e 100. Quanto maior o valor, maior será o benefício para a comunidade em que a estrutura está inserida.

Deste modo, na **Tabela 6.3**, apresentam-se os valores a serem considerados como exemplo de aplicação; muito embora, eles podem variar de acordo com o entendimento do avaliador de risco e outras finalidades construtivas a serem consideradas, que não foi contemplada na referida Tabela. Ou seja, esta etapa constitui-se de uma parte que pode variar de acordo com o universo de barragens em estudo, sem que o IPRB seja, por isso, descaracterizado.

Tabela 6.3. Valoração do grau de aceitação do risco (GAR).

Atividade / Benefício	Valor Associado
Abastecimento Humano	100
Geração de Energia	100
Navegação	100
Regularização de Vazão	10
Controle de Cheias	10
Lazer	1
Irrigação	0,1
Piscicultura	0,1
Outros	0,01
Somatório de todos os benefícios encontrados	321,21

Vale ressaltar que o somatório de todos os benefícios encontrados deve ser considerado a partir dos usos encontrados dentre todos os barramentos em estudo. Por exemplo, se o uso irrigação não for relativo a nenhuma das barragens em estudo, seu valor não deverá entrar no cômputo dos somatórios de todos os benefícios.

Ainda, uma barragem pode ter múltiplas finalidades construtivas e, deste modo, para

valorar este fator deve-se utilizar a seguinte expressão, $GAR = \frac{beneficio_1 + beneficio_2 + beneficio_n}{\sum todosbeneficios} * 100$,

a fim de se chegar a um único valor de grau de aceitação de risco (GAR). Por exemplo: suponha-se que uma barragem possua as seguintes finalidades construtivas: abastecimento humano, lazer e outras. Deste modo, o GAR para este barramento será:

$$GAR = \frac{100 + 1 + 0,01}{321,21} * 100 = 31,45. \text{ Em um outro exemplo, um barramento tem apenas a finalidade}$$

de controle de cheias, assim seu GAR será: $GAR = \frac{10}{321,21} * 100 = 3,11$.

As consequências de um incidente ou acidente relacionados a um barramento serão avaliadas a partir do uso e a ocupação do solo a jusante do barramento. Deve-se atribuir um valor entre 0,01 e 100 para cada um dos tipos de uso e ocupação. Quão maior o valor, mais grave será a consequência do incidente/acidente. Deste modo, na **Tabela 6.4**, apresentam-se os valores a serem considerados neste estudo. Vale ressaltar que, de modo análogo à valoração do GAR, ele pode variar de acordo com o entendimento do avaliador de risco e/ou outras consequências podem ser encontradas e consideradas.

Tabela 6.4. Valoração das consequências de um incidente/acidente com o barramento.

Uso e Ocupação do Solo a jusante	Valor Associado
Presença de População	100
Barragem	10
Infraestrutura (ponte, estrada, ferrovia, etc)	1
Áreas Verdes	1
Cultura	0,1
Pastagem	0,01
Somatório de todos os usos encontrados	112,11

O uso e ocupação do solo a jusante de um barramento pode ter condições de ocupação variadas e, deste modo, deve-se utilizar a seguinte expressão para valorar este fator:

$$CI = \frac{uso_1 + uso_2 + uso_n}{\sum todosusos} * 100, \text{ a fim de se chegar a um único valor de consequências de um}$$

incidente (CI) envolvendo a estrutura. Os exemplos utilizados para elucidar o cálculo do GAR, fazendo-se a devida co-relação, também servem para ilustrar o cômputo do CI.

Deste modo, o grau de voluntariedade do risco β_i levou em consideração três parâmetros: β_1 = IDH-M do município, β_2 = GAR e β_3 = CI. Para a determinação do fator β_i , far-se-á uso da seguinte expressão:

$$\beta_i = \frac{\beta_1 + \beta_2 + \beta_3}{3} \quad (6.3)$$

A fim de valorar a probabilidade de morrer em um acidente “tecnológico”, mais comumente observado e aceito pela sociedade ($P_{d/fi}$), se buscou estatísticas relacionadas a probabilidades de se morrer por diversas causas. Infelizmente, nenhuma estatística brasileira foi encontrada e, assim, se utilizou dados de estatísticas americanas, que constam na **Tabela 6.5**, a seguir:

Tabela 6.5. 15 maiores probabilidades de morte.

Ranking	Causa	Probabilidade
1	Ataque Cardíaco	0,166667
2	Câncer	0,142857
3	Ataque Súbito	0,035714
4	Acidente Automobilístico	0,011765
5	Auto-Mutilação Intencional	0,008696
6	Envenenamento Acidental	0,007194
7	Quedas	0,005435
8	Acidente no interior do automóvel	0,003676
9	Ataque por arma de fogo	0,003333
10	Atropelamento	0,001605
11	Acidente Motociclístico	0,001247
12	Afogamento Acidental	0,000932
13	Em um incêndio	0,000810
14	Acidente Ciclístico	0,000240
15	Acidentes com arma de fogo	0,000179

Fonte: National Safety Council, 2010, in http://www.nsc.org/news_resources/Documents/nscInjuryFacts2011_037.pdf, pesquisa realizada em 20/05/2010.

Assim, conforme pode ser observado na **Tabela 6.5**, o “risco tecnológico” que mais causa mortes e tem um alto grau de aceitação social é o Acidente Automobilístico, pois a grande maioria das pessoas anda de carro e, portanto, aceitam os riscos associados a esta “atividade”. O risco de morrer de ataque cardíaco, câncer e ataque súbito pode ser considerado como riscos de causas “naturais” e, deste modo, não foram utilizados por não corresponder a riscos “tecnológicos”. Portanto, o valor atribuído a $P_{d/fi}$ foi 0,011765. A valoração do subcritério E_2 é dada pela seguinte expressão:

$$E_2 = \frac{\beta_i * 10^{-4}}{0,011765} \quad (6.4)$$

O fator 10^{-4} representa o que é risco tolerável (ou aceitável). Trata-se do risco medido em uma escala, com o qual a sociedade consegue conviver devido a um conjunto de benefícios. Não se trata de um risco a ser desconsiderado ou ignorado. Muito pelo contrário, deve ser constantemente avaliado para que se possa tomar medidas para reduzi-lo ao nível mais baixo possível - princípio ALARP (*as low as reasonably practicable*); ou seja, é utilizado como critério social de aceitação, pelo qual os riscos menores que um valor limite de tolerância serão admitidos, se a sua redução resulta inviável ou o custo não é proporcional ao aumento de segurança. Lafitte (1993), conforme pode ser observado na **Figura 6.2**, ilustra uma forma para medir a aceitação de risco involuntário.

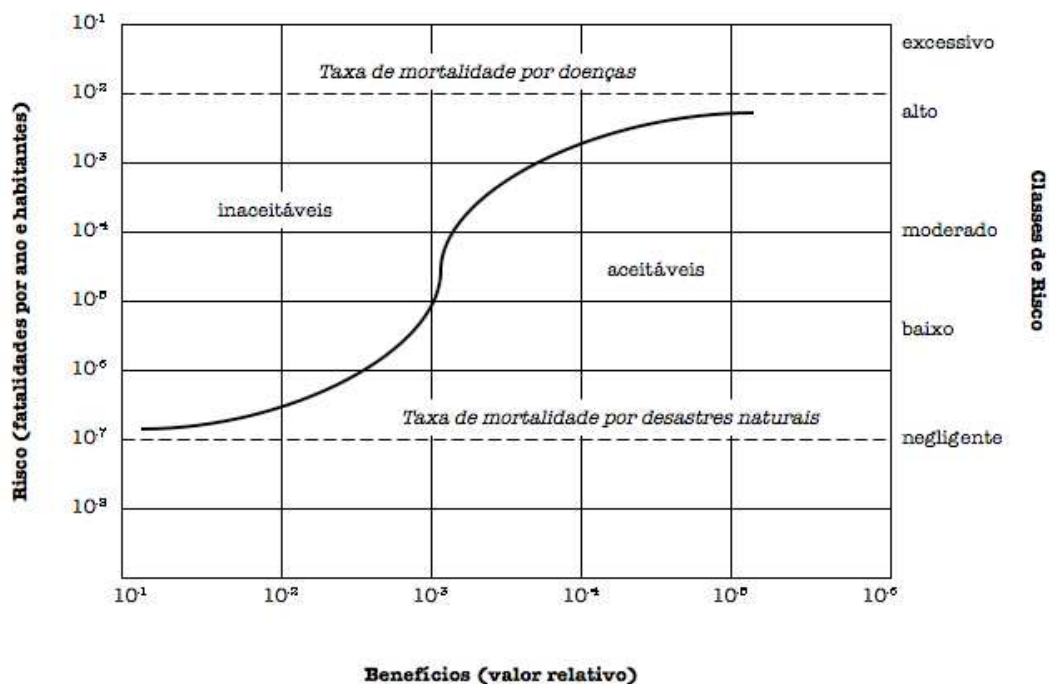


Figura 6.2. Aceitação de riscos involuntários em função dos benefícios à comunidade.
Fonte: Lafitte (1993).

Parece claro que não existe um critério objetivo que defina um risco de morte aceitável pela sociedade, porém é quase que consenso que o risco de perdas de vidas não deve ultrapassar 10^{-6} por ano/pessoa. Quanto ao nível de segurança à vida, se há falta de legislação ou regulamentos ou manuais, os seguintes tópicos, sugeridos pelo Manual de Avaliação de Risco australiano (ANCOLD 2003), podem ser utilizados:

- ◆ Para barragens existentes, o risco individual oferecido a uma pessoa ou grupo mais diretamente exposto: riscos maiores que 10^{-4} por ano são aceitáveis, com exceção de circunstâncias especiais (valor adotado);
- ◆ Para novas barragens ou argumentações quanto a melhoria de barragens existentes, o risco individual oferecido à uma pessoa ou grupo mais diretamente exposto: riscos maiores que 10^{-5} por ano são aceitáveis, com exceção de circunstâncias especiais;
- ◆ Para barragens existentes, um risco social acima da curva limite (**Figura 6.3**) são inaceitáveis e abaixo, aceitáveis, com exceção de circunstâncias especiais;
- ◆ Para novas barragens, um risco social acima da curva limite (**Figura 6.4**) são inaceitáveis e abaixo, aceitáveis, com exceção de circunstâncias especiais;
- ◆ Os riscos devem estar sempre abaixo do limite de tolerância, indo ao encontro do princípio ALARP.

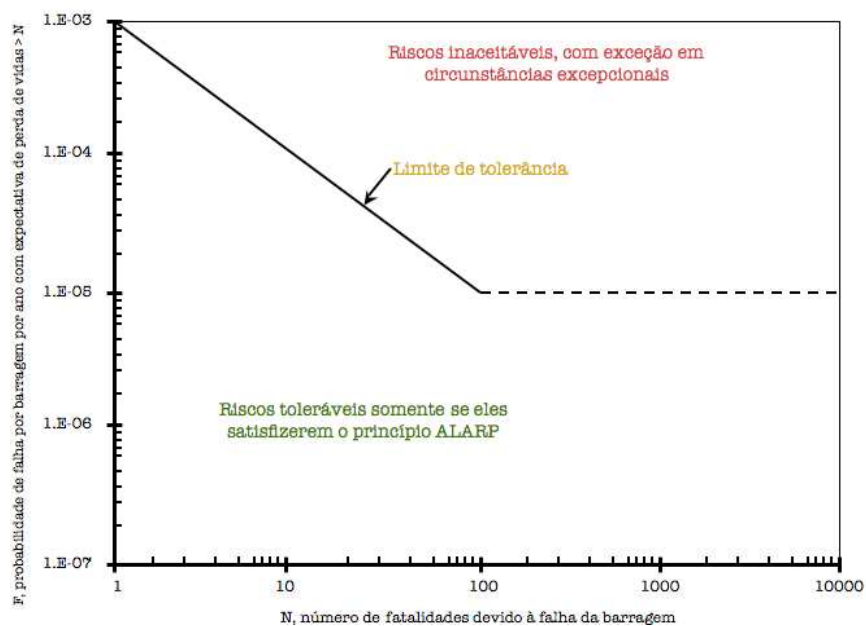


Figura 6.3. Guia para risco social para barragens existentes. Fonte: ANCOLD (2003).

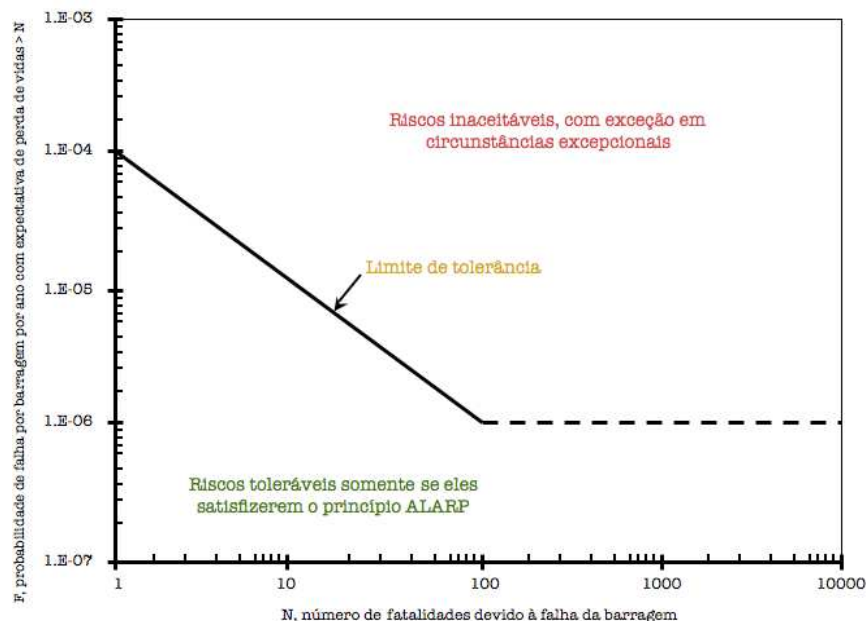


Figura 6.4. Guia para risco social para novas barragens. Fonte: ANCOLD (2003).

Uma vez estipuladas todas as variáveis, por meio da aplicação da **Equação 6.2**, chega-se ao aqui denominado de Risco Sociológico.

As Características de Projeto (D_n) correspondem a 20% dos subcritérios que entram no cômputo do IPRB. São caracterizados como os atributos mais relevantes condicionados ao *design* ou projeto da estrutura e que podem ser relacionados como uma “oferta” de risco. São eles:

- ◆ TR dos Órgãos de Descarga (D_1): trata-se do período de retorno associado aos órgãos de descarga presentes na estrutura, a ser determinado por estudos hidráulicos e hidrológicos. É valorado a partir da seguinte expressão:

$$D_1 = \frac{1}{TR} \quad (6.5)$$

Caso esta informação esteja indisponível, ou seja, o TR dos órgão de descarga não tenha sido estipulado por estudos hidráulicos-hidrológicos ou estes não estejam disponíveis, deve-se adotar na sua valoração a maior probabilidade de ocorrência, a ser determinada pela função de valor probabilística correspondente a este subcritério;

◆ Condições Gerais da Estrutura (D₂): para valorar este subcritério são necessárias informações relativas à confiabilidade das estruturas vertedoras, à presença de percolação no maciço, de deformações, afundamentos e/ou assentamentos e à presença de deterioração dos taludes/paramentos, todas elas determinadas a partir da inspeção de segurança a ser realizada nas estruturas em estudo. A **Tabela 6.6**, a seguir, traz as condições gerais a serem observadas para valorar o subcritério D₂.

Tabela 6.6. Condições gerais a serem observadas para valorar o subcritério D₂.

Resultados da Inspeção de Segurança	Descrição da Condição Geral
Confiabilidade das estruturas vertedoras	Satisfatórias / Insatisfatórias (erosão, transbordamento com fortes chuvas, canal de dissipação e/ou vertedor obstruído, etc).
Percolação	Totalmente controlada pelo sistema de drenagem.
	Sinal de umedecimento nas áreas de taludes ou ombreiras.
	Zonas úmidas em taludes de jusante.
	Surgência de água em taludes, ombreiras e áreas de jusante.
Deformações, Afundamentos, Assentamentos	Inexistente.
	Pequenos abatimentos da crista.
	Ondulações pronunciadas, fissuras.
	Depressão na crista, afundamentos nos taludes ou fundação.
Deterioração dos Taludes / Paramentos	Inexistente.
	Falhas no rip-rap e na proteção de jusante.
	Falhas nas proteções – drenagem insuficiente e sulcos nos taludes.
	Depressão no rip-rap, escorregamentos – sulcos profundos de erosão, vegetação.

Caso alguma destas informações esteja indisponível, deve-se adotar na sua valoração a maior probabilidade de ocorrência, a ser determinada pela função de valor probabilística correspondente a este subcritério.

6.1.4) Modos de Falha no IPRB

Para identificar os modos de falha, ou seja, tudo o que pode ocorrer de errado com uma barragem de material solto, far-se-á uso de dados históricos de incidentes com barragens. Andersen *et al* (2001) citam em sua metodologia quatro modos de falha: o galgamento, o *piping*, a movimentação do maciço e a erosão superficial. As probabilidades de ocorrência associadas a cada um dos modos de falha, que constam no Capítulo 5 do presente estudo são: galgamento = 0,49, *Piping* = 0,32, Movimento do Maciço = 0,09 e Erosão Superficial = 0,10, e serão adotadas para a elaboração do IPRB.

Para a elaboração do IPRB, definiram-se cinco modos de falhas: galgamento (1), *piping* (2), movimentação do maciço (3), erosão superficial (4) e a extrapolação do risco aceitável (5). Este último foi acrescentado devido à importância considerável deste “modo de falha”, discutida nos capítulos 3 e 4 do presente estudo. A **Tabela 6.7**, a seguir, traz as probabilidades associadas a cada um dos modos de falha a serem utilizados.

Tabela 6.7. Probabilidades de ocorrência associadas a cada modo de falha do IPRB.

Modo de Falha	ID Modo de Falha	Probabilidade Associada
Galgamento	1	$PMF_1 = \frac{0,49}{1+PMF_5}$
<i>Piping</i>	2	$PMF_2 = \frac{0,32}{1+PMF_5}$
Movimentação do Maciço	3	$PMF_3 = \frac{0,09}{1+PMF_5}$
Erosão Superficial	4	$PMF_4 = \frac{0,10}{1+PMF_5}$
Extrapolação do Risco Aceitável	5	$PMF_5 = \frac{IDM - M_{m'dio}}{8,5}$

O denominador da expressão que determina a Extrapolação do Risco Aceitável foi determinado a partir da probabilidade de se morrer de um “risco tecnológico” mais comumente aceito (ver **Tabela 6.5**). Assim, o risco tecnológico mais comumente aceito pela sociedade é morrer devido à um acidente automobilístico (a grande maioria das pessoas andam de carro e, portanto, aceitam os riscos associados a esta “atividade”), cuja probabilidade associada é de 0,11765. Como o IDH-M máximo é igual a 1, tem-se que:

$\frac{1}{0,11765} = 8,499787505 = 8,5$. Deste modo, de acordo com as expressões apresentadas na **Tabela 6.7**, deve-se calcular o IDH-M médio das municipalidades que sofrerão as consequências de um incidente com os barramentos em estudo, para reescalonar as probabilidades de ocorrência referentes aos modos de falha considerados.

O próximo passo será associar os subcritérios considerados ao modo de falha correspondente, ou seja, a presença do atributo que contribui para determinado modo de falha. Na **Tabela 6.8** relacionam-se os subcritérios aos modos de falha correspondentes.

Tabela 6.8. Associação dos subcritérios aos modos de falha.

Subcritério		Modo de Falha
Altura (I_1)		Galgamento (1)
Volume (I_2)		Galgamento (1)
Comprimento (I_3)		<i>Piping</i> (2), Movimentação do Maciço (3) e Erosão Superficial (4)
Tipo de Material (I_4)		Erosão Superficial (4)
Tipo de Fundação (I_5)		<i>Piping</i> (2) e Movimentação do Maciço (3)
Tipo de Vertedor (I_6)		Galgamento (1)
Idade (E_1)		<i>Piping</i> (2), Movimentação do Maciço (3) e Erosão Superficial (4)
Risco Sociológico (E_2)		Extrapolação do Risco Aceitável (5)
TR dos órgãos de Descarga (D_1)		Galgamento (1) e Extrapolação do Risco Aceitável (5)
Condições Gerais (D_2)	Estruturas vertedoras insuficientes ($D_{2,1}$)	Galgamento (1)
	Sinal de umedecimento nas áreas de taludes ou ombreiras ($D_{2,2}$)	<i>Piping</i> (2)
	Zonas úmidas em taludes de jusante ($D_{2,3}$)	<i>Piping</i> (2)
	Surgência de água em taludes, ombreiras e áreas de jusante ($D_{2,4}$)	<i>Piping</i> (2)
	Pequenos abatimentos da crista ($D_{2,5}$)	Movimentação do Maciço (3)
	Ondulações pronunciadas, fissuras ($D_{2,6}$)	Movimentação do Maciço (3)
	Depressão na crista, afundamentos nos taludes ou fundação ($D_{2,7}$)	Erosão Superficial (4)
	Falhas no rip-rap e na proteção de jusante ($D_{2,8}$)	Erosão Superficial (4)
	Falhas nas proteções – drenagem insuficiente e sulcos nos taludes ($D_{2,9}$)	<i>Piping</i> (2) e Erosão Superficial (4)
	Depressão no rip-rap, escorregamentos – sulcos profundos de erosão, vegetação ($D_{2,10}$)	Erosão Superficial (4)

É importante ressaltar que, a associação de cada subcritério de avaliação com os modos de falha pode alterar devido o entendimento do avaliador de risco. Por exemplo, um avaliador de risco pode considerar que o subcritério Altura pode também estar relacionado aos modos de falha *Piping* e Movimentação do Maciço, fato este não considerado neste estudo. Deste modo, esta fase pode ser arranjada de forma distinta à apresentada, sem

que, por este motivo, descaracterize o IPRB.

A fim de fixar uma relação entre os diferentes subcritérios e modos de falha, pode-se reunir a opinião de diversos especialistas da área de segurança de barragens (engenheiros civis, geólogos, geotécnicos, hidrólogos, hidráulicos, etc) e tentar chegar a um consenso sobre esta questão aqui apresentada. Deste modo, diminuem-se as chances de erro, pois não depender-se-á apenas da opinião de um só especialista; no caso, do avaliador de risco.

Feito isto, far-se-á necessário agrupar os subcritérios que causam o mesmo modo de falha e dever-se-á atribuir as probabilidades de ocorrência relacionados a cada um deles, de tal forma que a somatória das probabilidades de ocorrências de todos os atributos seja igual à probabilidade relacionada ao modo de falha (PMF). Isto deverá ser realizado a partir da experiência e do julgamento do avaliador de risco.

Esta etapa pode ser considerada como a mais subjetiva de todas as fases de aplicação do IPRB, pois está diretamente relacionada ao entendimento e experiência do avaliador de risco, ou seja da opinião do avaliador. Por se tratar de uma opinião, esta pode variar consideravelmente entre diferentes avaliadores. Uma forma de minimizar esta subjetividade seria aplicar uma metodologia multicriterial, considerando-se a opinião de vários especialistas da área para definir as probabilidades relacionadas a cada atributo, pois nesta fase, o que se está fazendo, de fato, é atribuir pesos aos diferentes subcritérios de avaliação, expressos em porcentagem. Diversas metodologias se mostram adequadas a realização desta tarefa, conforme apresentado no Capítulo 5 deste estudo; como exemplo, pode-se citar o AHP, o MAUT e o MACBETH.

A **Tabela 6.9**, a seguir, ilustra as probabilidades a serem utilizadas neste estudo relacionadas aos subcritérios de avaliação. Nesta fase, a associação das probabilidades relacionadas a cada atributo (ou subcritério) também poderá ser atribuída de forma distinta a apresentada, pois também parte da experiência do avaliador de risco em questão. Este fato não descaracteriza, em absoluto, o IPRB.

Tabela 6.9. Atribuição das probabilidades dos subcritérios associadas aos modos de falha.

Modo de Falha (MF)	Probabilidade Associada ao MF	Subcritério (SC)	Probabilidade Associada ao SC
Galgamento	X	I ₁ – Altura	10% de X
		I ₂ - Volume	20% de X
		I ₆ – Tipo de Vertedor	25% de X
		D ₁ – TR órgãos de descarga	20% de X
		D _{2,1} – Estruturas vertedoras insatisfatórias	25% de X
		Somatório	100% de X
Piping	Y	I ₃ - Comprimento	5% de Y
		I ₅ - Tipo de Fundação	15% de Y
		E ₁ - Idade	10% de Y
		D _{2,2} - Sinal de umedecimento nas áreas de taludes ou ombreiras	15% de Y
		D _{2,3} - Zonas úmidas em taludes de jusante	15% de Y
		D _{2,4} - Surgência de água em taludes, ombreiras e áreas de jusante	20% de Y
		D _{2,9} - Falhas nas proteções – drenagem insuficiente e sulcos nos taludes	20% de Y
		Somatório	100% de Y
Movimentação do Maciço	W	I ₃ - Comprimento	10% de W
		I ₅ - Tipo de Fundação	20% de W
		E ₁ - Idade	15% de W
		D _{2,5} - Pequenos abatimentos da crista	25% de W
		D _{2,6} - Ondulações pronunciadas, fissuras	30% de W
		Somatório	100% de W
Erosão Superficial	Z	I ₃ - Comprimento	10% de Z
		I ₄ - Tipo de Material	15% de Z
		E ₁ - Idade	10% de Z
		D _{2,7} - Depressão na crista, afundamentos nos taludes ou fundação	15% de Z
		D _{2,8} - Falhas no rip-rap e na proteção de jusante	15% de Z
		D _{2,9} - Falhas nas proteções – drenagem insuficiente e sulcos nos taludes	15% de Z
		D _{2,10} - Depressão no rip-rap, escorregamentos – sulcos profundos de erosão, vegetação	20% de Z
		Somatório	100% de Z
Extrapolação do Risco Aceitável	S	E ₂ - Risco Sociológico	60% de S
		D ₁ - TR dos órgãos de Descarga	40% de S
		Somatório	100% de S
Somatório de X, Y, W, Z e S			100%

Desta forma, atribui-se a PMF_n relacionada à cada subcritério que entra no cômputo do IPRB.

6.2) Determinação das Funções Probabilísticas do IPRB

Há um estudo realizado pelo ICOLD (1995) que leva em consideração incidentes registrados com aproximadamente 195 barragens ao redor do mundo. Como o IPRB visa barragens de material solto de pequeno porte, o universo estatístico reduziu o comprimento da série histórica (ou empírica), conforme apresentado na **Tabela 6.10**, a seguir.

Tabela 6.10. Série histórica do ICOLD utilizada para a determinação das funções de valor probabilísticas do IPRB.

Parâmetro	Comprimento da Série	Variação	
		Menor	Maior
Altura da Barragem	106	12	30
Comprimento	78	30	1860
Idade	102	-3 ²	68
Volume do Reservatório	87	0,03E6	1190E6
Tipo de Fundação	62	-	-
Tipo de Barragem	106	-	-
Condições Gerais	84	-	-

Com os citados dados foi possível construir gráficos, a partir da distribuição de probabilidades e que servirão de funções de valor, para a valoração dos subcritérios que compõem esta etapa do IPRB. Vale lembrar que os únicos subcritérios que não possuem uma função de valor probabilística correspondente, por ser determinado a partir de equações, são os subcritérios Risco Sociológico E_2 (**Equação 6.4**) e TR dos órgãos de descarga D_1 (**Equação 6.5**), conforme apresentado no subitem 6.1.3 do presente Capítulo. Ainda, para o subcritério I_6 Tipo de Vertedor, utilizou-se um estudo distinto (Ortuño *et al*, 2008).

Assim, a seguir, tratar-se-á de apresentar como cada função de valor probabilística foi determinada para um dos subcritérios de avaliação do IPRB:

♦ **I_1 - Altura da Barragem:** foi caracterizada com uma amostra de 106 barragens que romperam, cujas dimensões variaram de 12 a 30 metros, caracterizando somente os barramentos considerados “pequenos” em relação a este subcritério de avaliação. Os valores foram agrupados, determinando-se as respectivas probabilidades acumuladas, obtendo, desta forma, a distribuição empírica. Para este atributo, foram testadas as seguintes distribuições probabilísticas: distribuição Normal, Log-Normal e Gamma, sendo que a

² Nota: as idades negativas correspondem aos rompimentos que ocorreram antes da inauguração das barragens.

distribuição Gamma foi aquela que melhor representou a série empírica, ou seja com maior r^2 , conforme pode ser observado na **Figura 6.5**, a seguir.

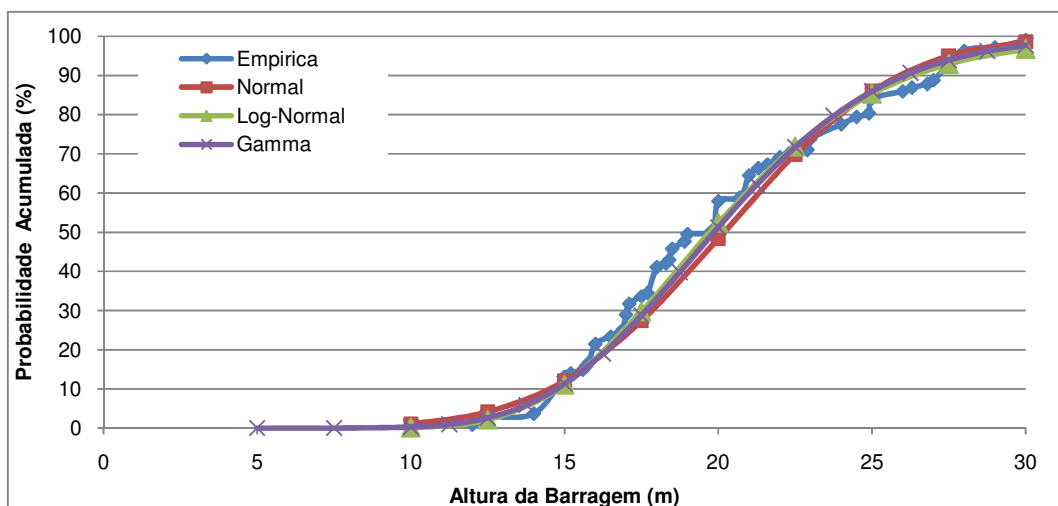


Figura 6.5. Funções de probabilidades acumuladas para as distribuições Empírica, Normal, Log-Normal e Gamma para o subcritério Altura (I_1).

A **Figura 6.6** ilustra a distribuição empírica e a Gamma.

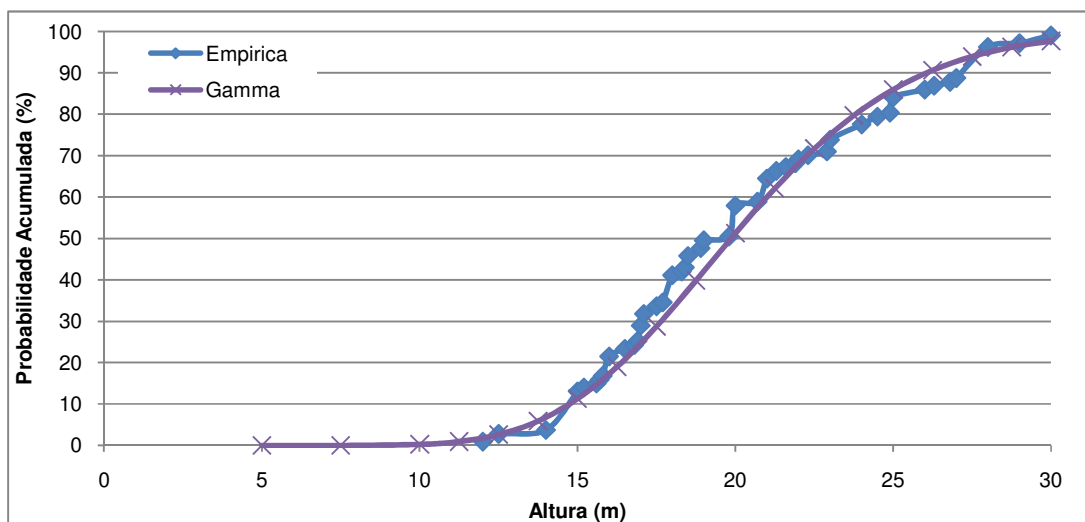


Figura 6.6. Distribuição de probabilidade acumulada da distribuição Gamma, para o subcritério I_1 .

A função densidade de probabilidade (ou, para fins deste estudo, a função de valor

probabilística) para a distribuição Gamma representando a altura da barragem é dada pelo gráfico da **Figura 6.7**.

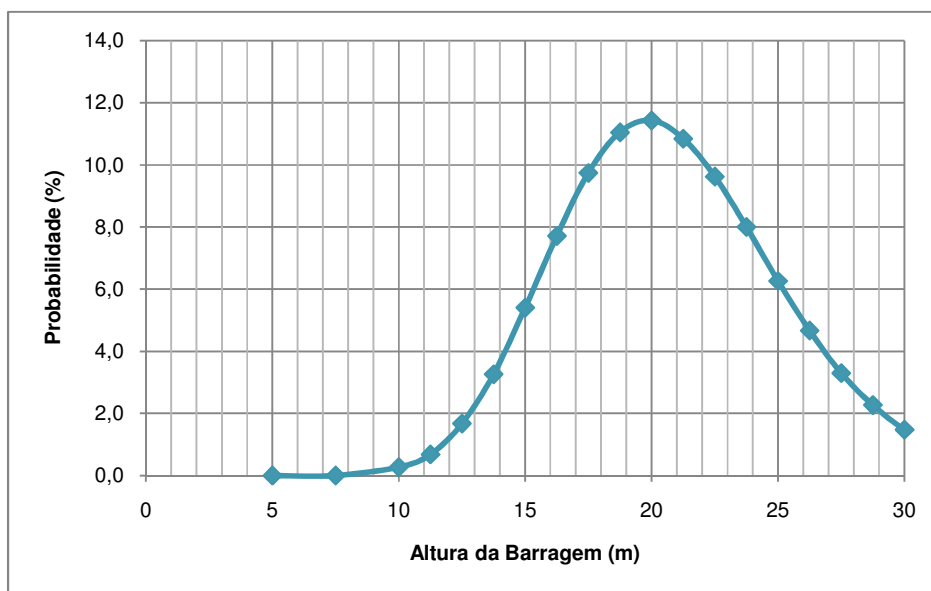


Figura 6.7. Função de valor probabilística para o subcritério I_1 - Altura da barragem, descrita pela distribuição Gamma.

Os parâmetros de cálculo utilizados para determinar a curva da função de valor de I_1 foram: $\mu = 20,19$ m; $\sigma = 4,44$ m; $\theta = 0,978735885$; $\eta = 20,62537274$; e x = altura da barragem (m).

♦ **I_2 - Volume do reservatório:** o número de dados sobre os volumes dos reservatórios inicialmente foi de 88 valores, mas foi necessária a retirada de um valor muito grande, se comparado com os demais volumes. Foram consideradas apenas barragens cujos volumes dos reservatórios variavam entre $0,03 \times 10^6$ e 1.190×10^6 m³. O volume eliminado correspondia 7.500×10^6 m³. Foram testadas várias distribuições, assim, a **Figura 6.8** ilustra as funções de probabilidades acumuladas para a série de volume dos reservatórios, para as distribuições Log-Normal e Log-Empírica, pois como a distribuição Log-Normal se ajustou aos dados não aplicou-se as demais. Vale ressaltar que a unidade considerada nos cálculos foi de m³ e portanto multiplicou-se os valores por 10^6 , a fim de evitar valores de Log de Volumes negativos.

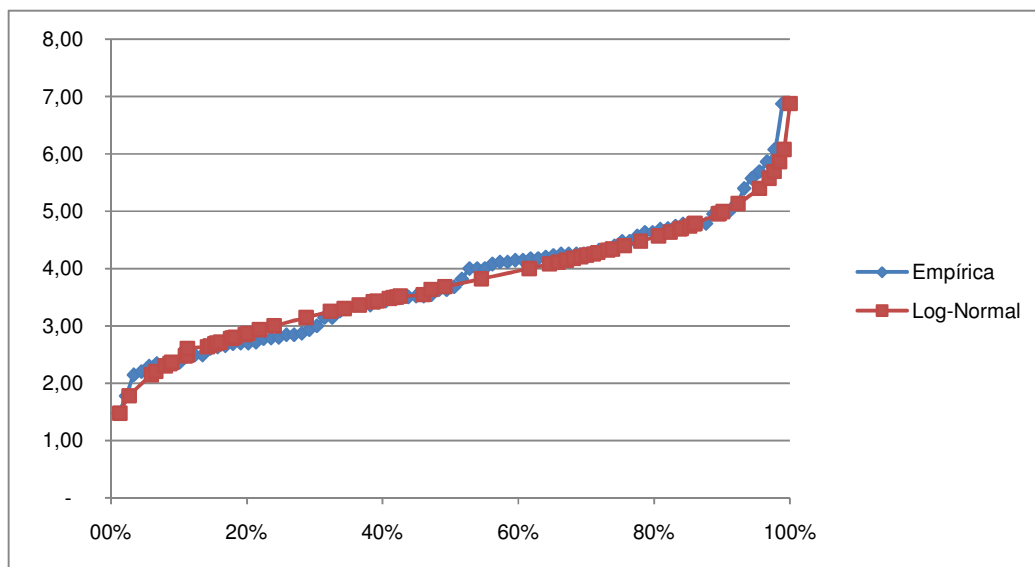


Figura 6.8. Funções de probabilidades acumuladas para a série de volumes dos reservatórios, para as distribuições Log-Normal e Log-Empírica.

A **Figura 6.9** traz a Função de valor Probabilística para o subcritério I_2 , que foi melhor representado pela distribuição Log-Normal, conforme já observado na **Figura 6.8**. Vale ressaltar que a unidade de volume deve estar em m^3 .

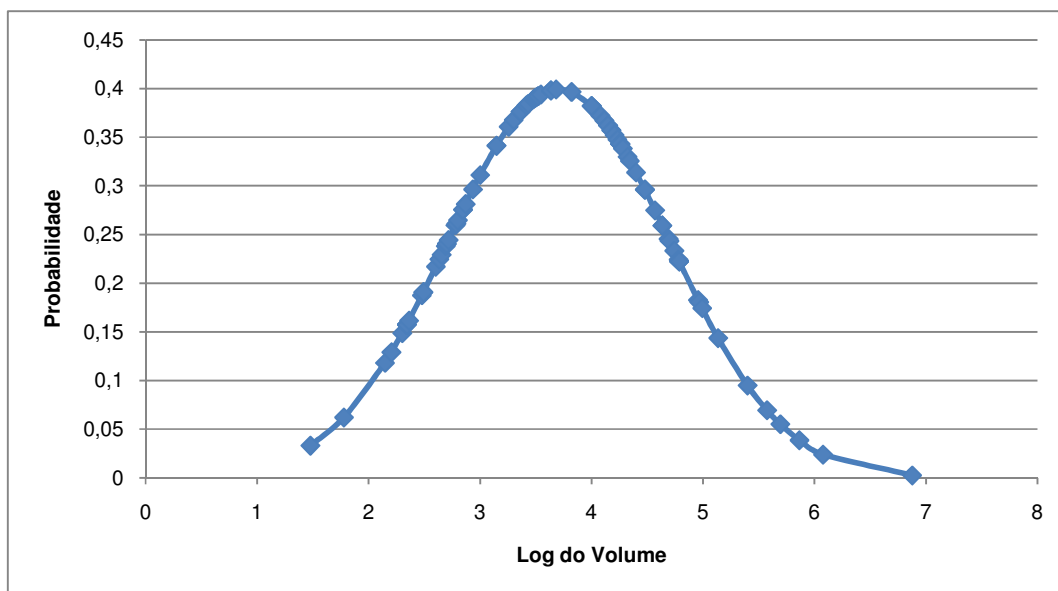


Figura 6.9. Função de valor probabilística para o subcritério I_2 - Volume do reservatório, representada pela densidade de probabilidade para a distribuição Log-Normal.

Os parâmetros de cálculo utilizados para determinar a curva da função de valor de I_2 foram: $\mu_{\text{Log}x} = 3,71$ e $\sigma_{\text{Log}x} = 0,999310009$.

♦ **I_3 - Comprimento da Barragem:** foi caracterizada inicialmente por 85 ocorrências registradas, porém foi necessário a exclusão de 7 delas, que estavam muito discrepantes das demais. Desta forma, foram consideradas apenas barragens cujos comprimentos variavam entre 30 e 1.860 metros. Foram excluídas aquelas barragens cujos comprimentos estavam compreendidos entre 2.020 a 19.300 metros, por terem sido consideradas exageradamente grandes. Os valores foram agrupados e determinaram-se as respectivas probabilidades acumuladas, formando, desta forma, a distribuição empírica. Para esta característica, devido a configuração da distribuição empírica, somente a distribuição exponencial poderia representá-la. A **Figura 6.10** ilustra a Função de Probabilidades Acumuladas para as distribuições: empírica e exponencial. A **Figura 6.11** apresenta a função de valor probabilística para o subcritério I_3 , melhor representada pela distribuição exponencial, conforme ilustrado pela **Figura 6.10**.

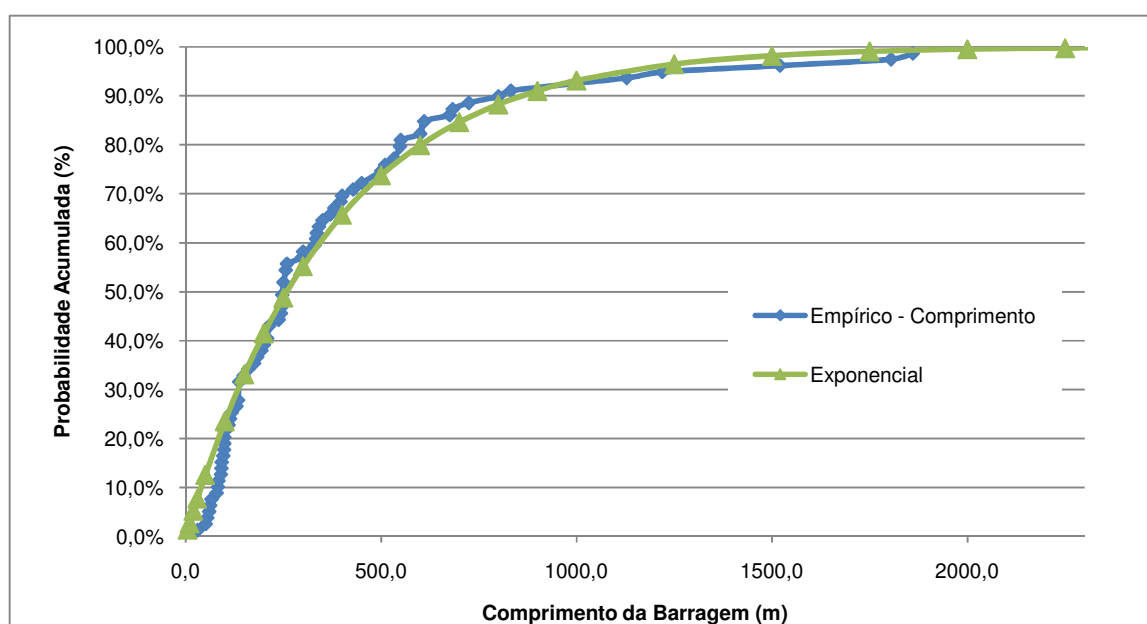


Figura 6.10. Função de probabilidade acumulada para as distribuições empírica e exponencial para o subcritério I_3 - Comprimento da barragem.

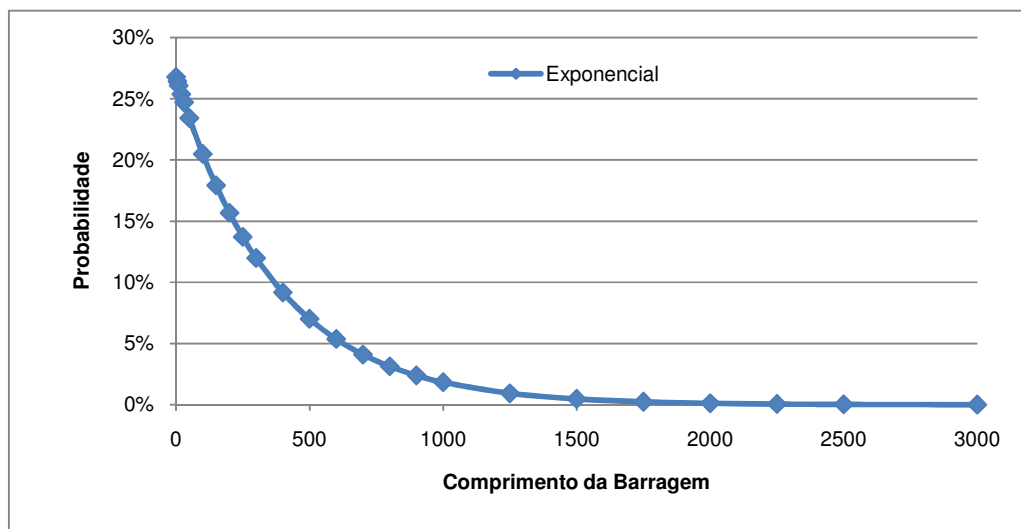


Figura 6.11. Função de valor probabilística para subcritério I_3 - Comprimento da barragem, representada por uma distribuição exponencial.

Os parâmetros de cálculo utilizados para determinar a curva da função de valor de I_3 foram: $\mu = 373,4$ m, $\sigma = 376,7$ m e $\lambda = 0,002678 \cdot e^{-0,002678x}$.

♦ **I_4 - Tipo de Material:** foi realizada a análise a partir de informações de 106 barragens rompidas. Destas barragens constavam quatro tipos de materiais construtivos: TE – Terra; PG – Concreto gravidade; ER – Enrocamento, e suas combinações PG/ER (Concreto gravidade e Enrocamento) e TE/ER (Terra e Enrocamento). Para este subcritério, a função de densidade de probabilidade é de uma variável discreta e não necessita ser representada por distribuições probabilísticas. A função de valor probabilística é ilustrada na **Figura 6.12**.

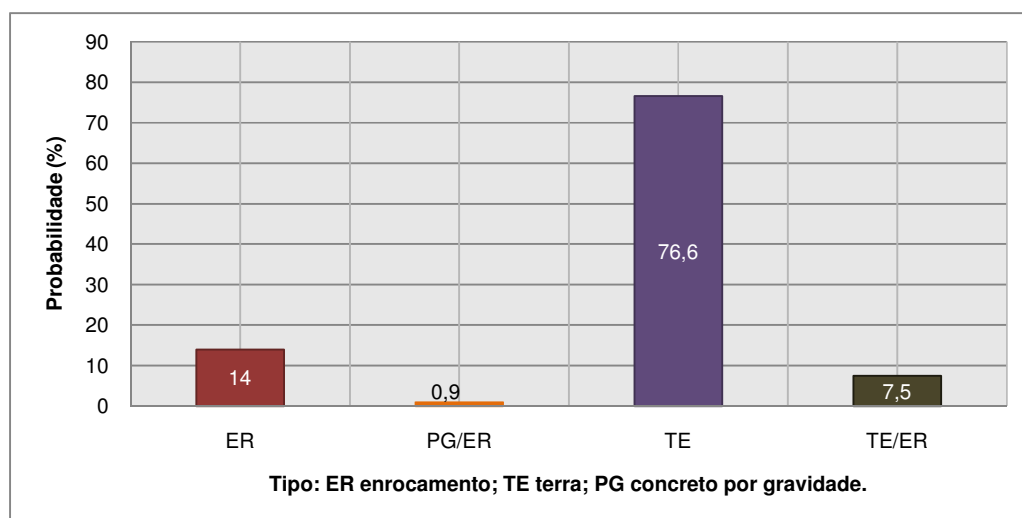


Figura 6.12. Função de Valor Probabilística para o subcritério I_4 - Tipo de Material.

Para a função de valor apresentada na **Figura 6.12** cabem duas explicações: a primeira diz respeito à consideração da barragem de concreto de gravidade no cômputo das estatísticas, o que foi feito por se tratar de uma barragem mista (concreto por gravidade e enrocamento) e como as barragens de enrocamento estão sendo consideradas como de material solto, optou-se por utilizá-la nos cálculos. A segunda explicação se deve a somatória dos tipos de barragens ser igual 99% e não 100%. Isto se deve ao grau de liberdade dos cálculos estatísticos; ou seja, costuma-se retirar uma unidade do número de amostras totais, uma vez que não se pode afirmar com 100% de certeza que os valores encontrados são "reais", por não se estar computando o universo total de barragens existentes.

◆ **I₅ – Tipo de Fundação:** a função característica partiu de um universo de 62 barragens cujas fundações estavam distribuídas em três categorias: Solo (S), Rocha (R) e misto (S/R), que provavelmente foram definidas com base no mapa geológico da região em que o barramento está inserido. Como este subcritério possui somente três categorias, a função de densidade de probabilidade é de uma variável discreta e não necessita ser representada por distribuições probabilísticas. Desta forma, a função de valor probabilística é apresentada na **Figura 6.13**.

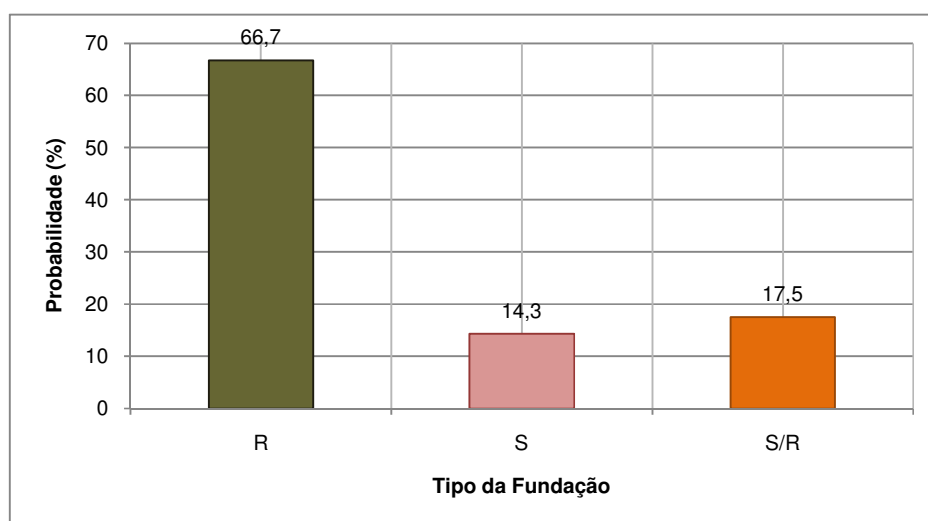


Figura 6.13. Função de valor probabilística para o subcritério I₅ – Tipo de Fundação.

Para a função de valor apresentada na **Figura 6.13** cabem uma explicação: a somatória dos tipos de fundação é igual 98,5% e não 100%, pois isto se deve ao grau de liberdade dos cálculos estatísticos; ou seja, costuma-se retirar uma unidade do número de amostras totais, uma vez que não se pode afirmar com 100% de certeza que os valores

encontrados são “reais”, por não se estar computando o universo total de barragens existentes.

◆ **I₆ – Tipo de Vertedores:** este subcritério é formado por três tipos de vertedores: conduto forçado, comportas e livre. Ortuño *et al* (2008) apresentam os riscos anuais associados a cada um desses tipos de vertedores. A **Figura 6.14** ilustra os riscos anuais associados aos vertedores. Como este subcritério possui somente três categorias, a função de densidade de probabilidade é de uma variável discreta e não necessita ser representada por distribuições probabilísticas.

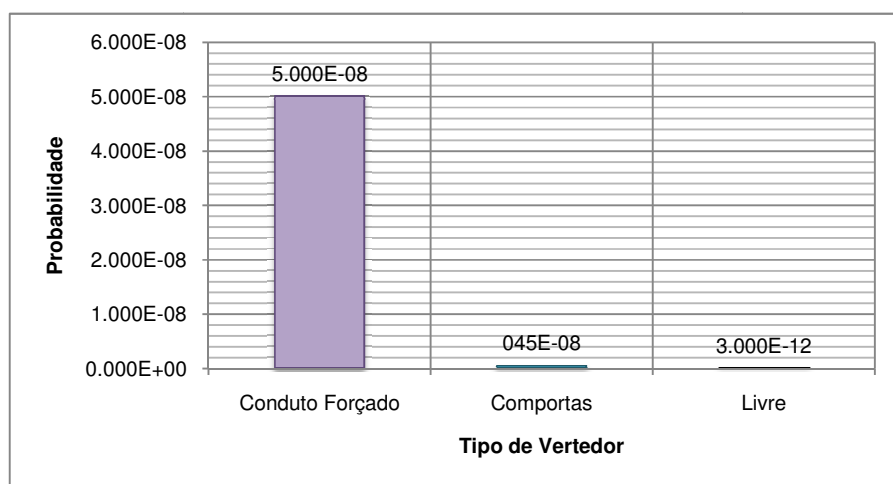


Figura 6.14. Função de valor probabilística para o subcritério I₆ – Tipo de Vertedor. Fonte: Ortuño *et al.* (2008).

◆ **E₁ - Idade da Barragem:** foi caracterizada inicialmente por 102 ocorrências registradas, porém, foi necessária a exclusão de 3 ocorrências que estavam muito discrepantes das demais. Foram consideradas apenas barragens cujas idades variavam entre -3 e 68 anos de idade. Observa-se que as idades negativas correspondem aos rompimentos que ocorreram antes da inauguração das barragens. Para o ajuste das distribuições realizou-se uma transformação da base, somando o número 4 para todas as idades das barragens consideradas evitando-se, desta maneira, a ocorrência de números negativos. Além do mais, foram excluídas aquelas barragens cujas idades estavam compreendidas entre 116 a 235 anos, por estarem em um range muito acima das demais barragens consideradas. Para esta característica foram testadas várias distribuições que não representavam muito bem a característica “idade” da barragem. Desta forma, foi necessária a mudança de base da idade para logaritmos da idade, e assim, a distribuição Log-Normal

representou melhor esta característica, conforme ilustrado na **Figura 6.15**. A **Figura 6.16** apresenta a função de valor probabilística, descrita pela distribuição Log-Normal.

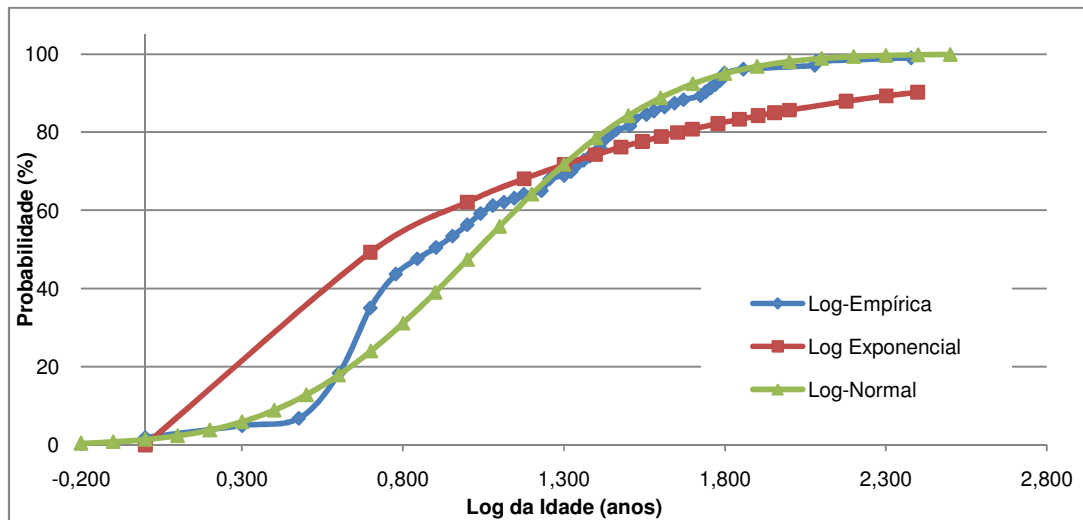


Figura 6.15. Funções de probabilidades acumuladas para as distribuições: Empírica, Log-Normal e Log-Exponencial para o subcritério E_1 – Idade da barragem.

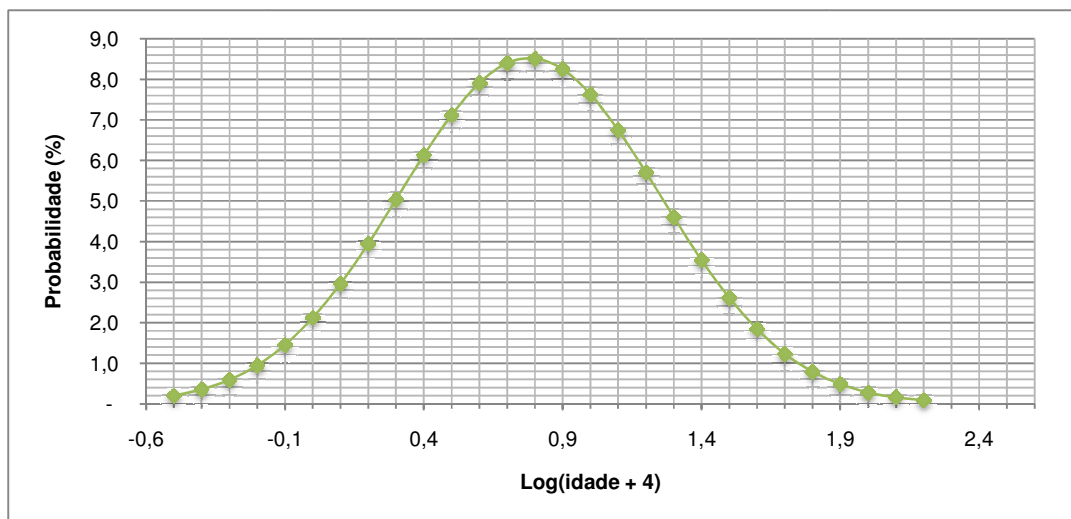


Figura 6.16. Função de valor probabilística para o subcritério E_1 - Idade da barragem, descrita pela distribuição Log-Normal.

Os parâmetros de cálculo utilizados para determinar a curva da função de valor de E_1 foram: $\mu_{\text{Log}x} = 1,030211$ e $\sigma_{\text{Log}x} = 0,467316$.

♦ **D₂ - Condições Gerais:** este subcritério também é formado por categorias discretas (ver Anexo A), sendo então definida apenas sua função densidade de probabilidade ilustrada pela **Figura 6.17**.

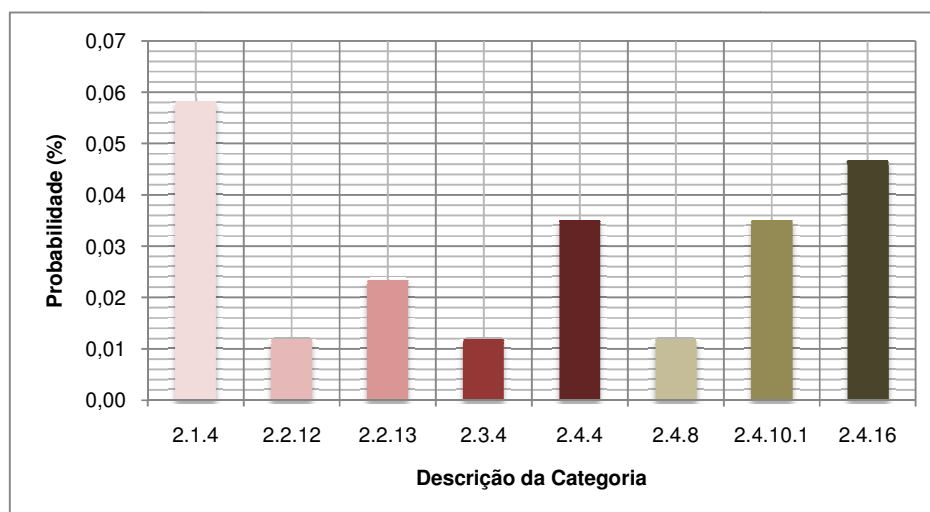


Figura 6.17. Função de valor probabilística para o subcritério D₂ - Condições Gerais.

As 8 categorias estão listadas na **Tabela 6.11**.

Tabela 6.11. Descritivo das categorias das condições gerais da barragem.

Tipo	Descrição das Categorias
2.1.4	Percolação no maciço
2.2.12	Deslocamento do corpo da barragem
2.2.13	Compactação do corpo da barragem
2.3.4	Precipitação no local em que o barramento está localizado
2.4.4	Zonas de transição existentes
2.4.8	Proteção dos taludes
2.4.10.1	Assentamentos inesperados no corpo produzindo rachaduras
2.4.16	Ruptura ou fluxo excepcional nos condutos internos do corpo da barragem

A origem da nomenclatura dos tipos de categorias está relacionada ao estudo base que foi utilizado para determinar a distribuição de probabilidade de ocorrência, ou seja, o estudo do ICOLD (1995), que se encontra no Anexo A do presente trabalho.

Por fim, faz-se necessário associar os atributos das condições gerais da barragem, apresentadas na **Tabela 6.8**, à descrição das categorias, apresentadas na **Tabela 6.11**.

Deste modo, a **Tabela 6.12**, a seguir, traz tal associação, necessária para valorar cada atributo do subcritério D_2 .

Tabela 6.12. Associação das condições gerais à descrição das categorias.

Atributos das Condições Gerais (D_2)	Tipo de Categoria	Descrição das Categorias
Estruturas vertedoras insuficientes ($D_{2,1}$)	2.3.4	Precipitação no local em que o barramento está localizado
Sinal de umedecimento nas áreas de taludes ou ombreiras ($D_{2,2}$)	2.1.4 e 2.4.16	Percolação no maciço e a Ruptura ou fluxo excepcional nos condutos internos da barragem
Zonas úmidas em taludes de jusante ($D_{2,3}$)	2.1.4 e 2.4.16	Percolação no maciço e a Ruptura ou fluxo excepcional nos condutos internos da barragem
Surgência de água em taludes, ombreiras e áreas de jusante ($D_{2,4}$)	2.1.4 e 2.4.16	Percolação no maciço e a Ruptura ou fluxo excepcional nos condutos internos da barragem
Pequenos abatimentos da crista ($D_{2,5}$)	2.2.12, 2.2.13 e 2.4.10.1	Compactação do corpo da barragem e os Assentamentos inesperados no corpo produzindo rachaduras
Ondulações pronunciadas, fissuras ($D_{2,6}$)	2.2.12, 2.2.13 e 2.4.10.1	Compactação do corpo da barragem e os Assentamentos inesperados no corpo produzindo rachaduras
Depressão na crista, afundamentos nos taludes ou fundação ($D_{2,7}$)	2.2.12, 2.2.13 e 2.4.10.1	Compactação do corpo da barragem e os Assentamentos inesperados no corpo produzindo rachaduras
Falhas no rip-rap e na proteção de jusante ($D_{2,8}$)	2.4.8	Proteção dos Taludes
Falhas nas proteções – drenagem insuficiente e sulcos nos taludes ($D_{2,9}$)	2.3.4 e 2.4.16	Precipitação no local em que o barramento está localizado e a Ruptura ou fluxo excepcional nos condutos internos da barragem
Depressão no rip-rap, escorregamentos – sulcos profundos de erosão, vegetação ($D_{2,10}$)	2.3.4, 2.4.10.1 e 2.2.13	Precipitação no local em que o barramento está localizado, Assentamentos inesperados no corpo produzindo rachaduras e Compactação do corpo da barragem

Deste modo, dever-se-á somar as probabilidades quando há mais de uma descrição de categoria envolvida. Por exemplo, para o subcritério $D_{2,10}$ dever-se-á somar 0,035 (probabilidade associada aos assentamentos) + 0,023 (probabilidade associada a compactação) + 0,012 (probabilidade associada a precipitação) = 0,07.

6.3) Determinação do IPRB

A **Figura 6.18** mostra um resumo das partes constituintes do IPRB e a **Tabela 6.13** traz um resumo das informações que deverão ser preenchidas para o cálculo do IPRB pela **Equação (6.1)**.

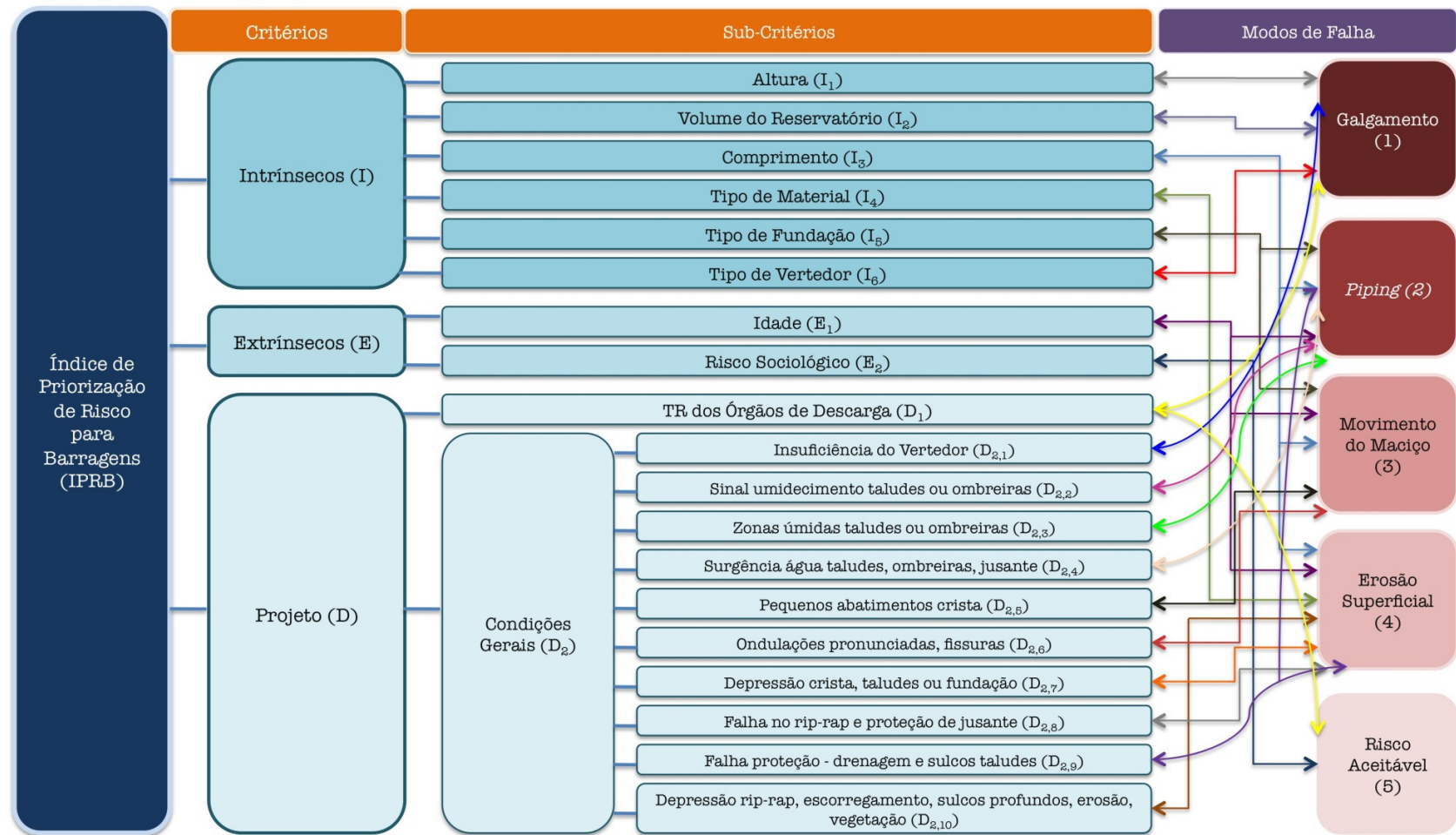


Figura 6.18. Estrutura constituinte do IPRB.

Tabela 6.13. Informações relativas às barragens em estudo necessárias ao cálculo do IPRB.

I D	Idade		Volume		Comprimento				Material		Fundação			Vertedor		Idade				Risco Sociológico		TR			Condições Gerais	
	PI 1	PMF 1	PI 2	PMF 1	PI 3	PMF 2	PMF 3	PMF 4	PI 4	PMF 4	PI 5	PMF 2	PMF 3	PI 6	PMF 1	PE 1	PMF 2	PMF 3	PMF 4	PE 2	PMF 5	PD 1	PMF 1	PMF 5	PD 2	PMF n
1																										
2																										
3																										
4																										
5																										
6																										
7																										
8																										
9																										
10																										
11																										
12																										
13																										
14																										
n																										

Em que:

PI_n= Probabilidade Associada à Característica Intrínseca *n*, sendo que *n* varia entre 1 e 6;

PE_n= Probabilidade Associada à Característica Extrínseca *n*, sendo que *n* varia entre 1 e 2;

PD_n= Probabilidade Associada à Característica de Projeto *n*, sendo que *n* varia entre 1 e 2;

PMF₁= Probabilidade Associada ao Modo de Falha 1 (galgamento);

PMF₂= Probabilidade Associada ao Modo de Falha 2 (*piping*);

PMF₃= Probabilidade Associada ao Modo de Falha 3 (movimentação do maciço);

PMF₄= Probabilidade Associada ao Modo de Falha 4 (erosão superficial);

PMF₅= Probabilidade Associada ao Modo de Falha 5 (extrapolação do risco aceitável);

PMF_n = Probabilidade Associada aos Modos de Falhas relacionados aos subcritérios de avaliação D_{2,n}.

6.4) Estudo de Caso

Em 2005, as condições de segurança de 200 barragens situadas na Bacia do Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ), Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 5 (UGRHI-5), Estado de São Paulo, foram avaliadas pela EGC-TUV/FCTH, em trabalho contratado pelo Comitê de Bacia do Piracicaba, Capivari e Jundiaí, por um método *ad hoc*. Para tal, utilizou-se, basicamente, as recomendações que constam no Manual de Segurança de Barragens (MIN, 2002).

O referido estudo, que será devidamente detalhado no Capítulo 7, compilou dados sobre 297 barramentos, mas apenas 200 foram considerados prioritários pelo contratante do trabalho para serem classificados quanto ao grau de risco. Este estudo permitirá aferir os resultados obtidos pelo IPRB, uma vez que há muita resistência por parte dos proprietários de barragens em permitir a vistoria de suas estruturas, necessária a aplicação do IPRB.

Desta forma, 28 barramentos dentre os 297 vistoriados foram escolhidos como estudo de caso. Tratam-se de pequenas barragens de material solto (100% em terra homogênea), cujas alturas variam de 1,5 m a 9 m, volumes de reservatórios entre 0,055 e 24,036 10^6m^3 e comprimentos entre 3 e 500 m.

A **Tabela 6.14** traz o município em que os barramentos em estudo se encontram, com as respectivas coordenadas geográficas, que serão essenciais na ocasião de inferir o tipo de fundação – subcritério I_5 do IPRB – das estruturas. De acordo com os dados que contam na **Tabela 6.14**, a maioria dos barramentos em estudo está localizada no município de São Pedro, conforme pode ser observado na **Figura 6.19**, a seguir.

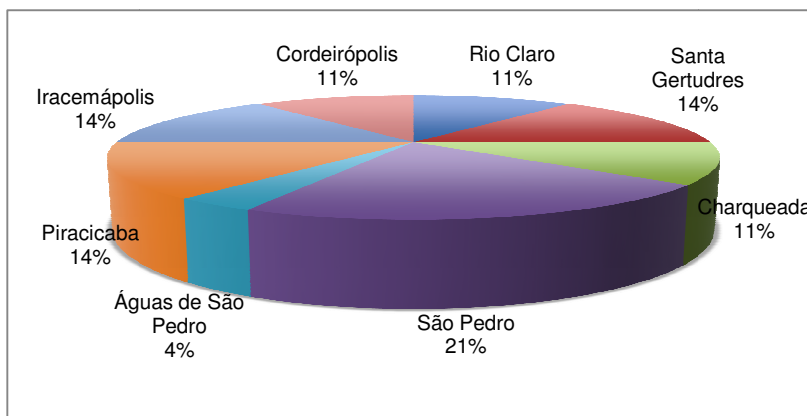


Figura 6.19. Porcentagem de Barramentos em Estudo por localidade

Ainda, a **Figura 6.20** ilustra a localização dos barramentos em estudo, a **Figura 6.21** a divisão por sub-bacias e a **Figura 6.22** traz uma imagem de satélite da área em que os barramentos estão inseridos. A **Tabela 6.15** apresenta os atributos dos barramentos necessários ao cálculo do IPRB.

Tabela 6.14. Localização dos barramentos em estudo.

ID Barragem	Município	UTM_X	UTM_Y
1	Rio Claro	236113	7521200
2	Rio Claro	238512	7519658
3	Rio Claro	240420	7519135
4	Sta Gertrudes	241811	7515846
5	Sta Gertrudes	240693	7514856
6	Sta Gertrudes	241556	7511822
7	Sta Gertrudes	238974	7514914
8	Charqueada	216027	7505737
9	Charqueada	214370	7508594
10	Charqueada	221920	7505815
11	São Pedro	202799	7504180
12	São Pedro	198095	7505122
13	São Pedro	200622	7502732
14	São Pedro	205533	7500429
15	São Pedro	207397	7499572
16	São Pedro	205867	7497474
17	Águas de São Pedro	205093	7496778
18	Piracicaba	213391	7491095
19	Piracicaba	215281	7490994
20	Piracicaba	232685	7485872
21	Piracicaba	231692	7485694
22	Iracemápolis	239530	7502463
23	Iracemápolis	241963	7501313
24	Iracemápolis	ND	ND
25	Iracemápolis	ND	ND
26	Cordeirópolis	ND	ND
27	Cordeirópolis	247449	7513415
28	Cordeirópolis	247593	7512035

Fonte: EGC-TUV/FCTH, 2005.

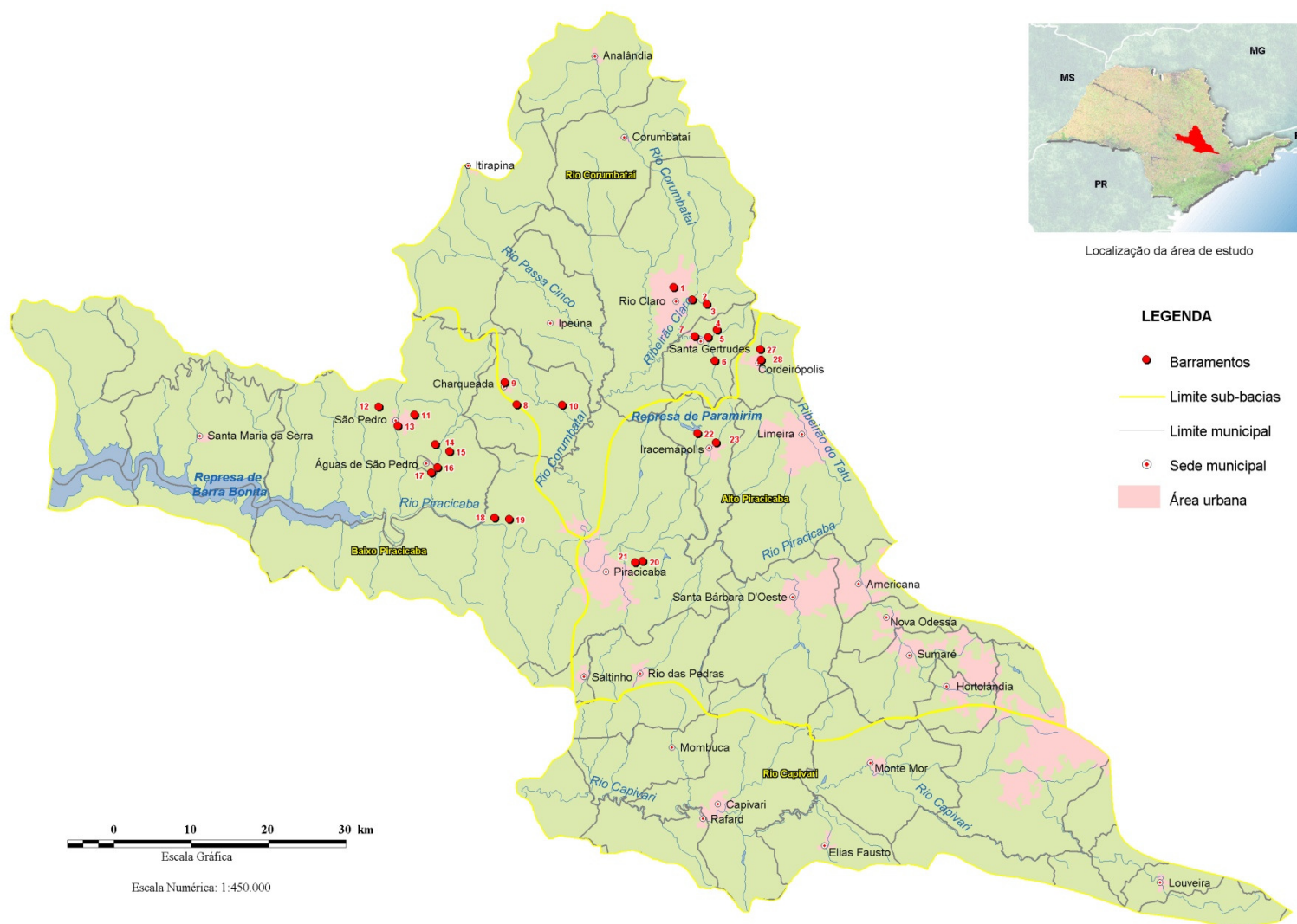


Figura 6.20. Localização dos barramentos em estudo.



Figura 6.21. Identificação das sub-bacias dos barramentos em estudo.

Tabela 6.15. Atributos dos barramentos em estudo.

I D	Características Intrínsecas (I)						Características Extrínsecas (E)				Características de Projeto (D)	
	Altura (I ₁)	Volum (I ₂) (10 ⁶ m ³)	Comprimen to (I ₃) (m)	Materi al (I ₄)	Fundação (I ₅)	Verte dor (I ₆)	Idade (E ₁) (anos)	Aceitação do Risco (E ₂)			TR (D ₁) ³ (anos)	Condições Gerais (D ₂)
								IDH- M ⁴	Finalidad e	Uso do Solo		
1	3	0,055	80	Terra Homogê nea	solo	compo rtas	18	0,825	Lazer	perímetro urbano	50	OK.
2	0	0,156	80	Terra Homogê nea	solo	livre	-	0,825	Abastecim ento Humano	Pastagem	5	OK.
3	3	0,286	70	Terra Homogê nea	solo	compo rtas	-	0,825	Controle de Cheias	Área Verde	5	Estruturas vertedoras insatisfatórias.
4	1,5	0,616	200	Terra Homogê nea	rocha	livre	-	0,782	Abastecim ento Humano	perímetro urbano	5	Estruturas vertedoras insatisfatórias.
									Controle de Cheias	Barragem a 2000 m (jusante)		
5	0	0,81	110	Terra Homogê nea	rocha	livre	-	0,782	Abastecim ento Humano	perímetro urbano	5	Estruturas vertedoras insatisfatórias.
									Lazer	Infraestrutura (ETA)		
									Controle de Cheias			
6	3,5	1,021	300	Terra Homogê nea	rocha	livre	140	0,782	Lazer	Infraestrutura (Rodovia SP 310 a 1.000 m)	500	Estruturas vertedoras insatisfatórias.
									Controle de Cheias			
7	5	1,247	40	Terra Homogê nea	rocha	livre	-	0,782	Controle de Cheias	Infraestrutura (Ferrovia a 100 m)	-	Estruturas vertedoras insatisfatórias.
8	8	2,292	150	Terra Homogê nea	rocha	livre	40	0,782	Lazer	Infraestrutura (Rodovia SP 151 a 500 m)	100	OK.
									Piscicultur a			
9	2	2,584	120	Terra Homogê nea	rocha	condut o forçad o	10	0,782	Lazer	perímetro urbano	500	Estruturas vertedoras insatisfatórias.
									Controle de Cheias			Sinal de umedecimento nas áreas de jusante taludes ou ombreiras.
										Depressão no <i>rip-rap</i> , escorregamentos - sulcos profundos de erosão, vegetação.		
10	4	2,888	120	Terra Homogê nea	rocha	livre	-	0,782	Abastecim ento Humano	perímetro urbano	10	Estruturas vertedoras insatisfatórias.
									Controle de Cheias			
11	5	3,864	3	Terra Homogê nea	rocha	condut o forçad o	-	0,785	Piscicultur a	Pastagem	-	OK.

CONTINUA...

³ O TR foi estimado a partir de cálculos hidráulico-hidrológicos e atribuídos a partir do estudo base.

⁴ Fonte: IBGE, 2000.

Tabela 6.15. Atributos dos barramentos em estudo.

CONTINUAÇÃO...

ID	Características Intrínsecas (I)						Características Extrínsecas (E)				Características de Projeto (D)	
	Altura (I ₁)	Volumen (I ₂)	Comprimento (I ₃)	Materia (I ₄)	Fundação (I ₅)	Vertedor (I ₆)	Idade (E ₁)	Aceitação do Risco (E ₂)			TR (D ₁) ⁵	Condições Gerais (D ₂)
	(m)	(10 ⁶ m ³)	(m)				(anos)	IDH-M ⁶	Finalidade	Uso do Solo	(anos)	
12	7	4,21	150	Terra Homogênea	rocha	livre	-	0,785	Lazer Piscicultura	Pequenos sítios	10	OK.
13	3,5	4,565	115	Terra Homogênea	rocha	livre	-	0,785	Lazer	perímetro urbano (5.000 hab)	-	OK.
14	0	4,931	200	Terra Homogênea	rocha	livre	-	0,785	Controle de Cheias	Pastagem	10	Estruturas vertedoras insatisfatórias. Pequenos abatimentos na crista.
15	2	5,305	110	Terra Homogênea	rocha	livre	-	0,785	Controle de Cheias	Pastagem	100	Estruturas vertedoras insatisfatórias. Pequenos abatimentos na crista. Falhas nas proteções - drenagem insuficiente e sulcos nos taludes.
16	3	5,688	120	Terra Homogênea	solo	livre	50	0,785	Abastecimento Humano Lazer	perímetro urbano	5	OK.
17	3,5	6,081	160	Terra Homogênea	mista	livre	38	0,908	Controle de Cheias	perímetro urbano	-	Estruturas vertedoras insatisfatórias.
18	1,5	6,891	55	Terra Homogênea	rocha	livre	-	0,836	Lazer Piscicultura	Condomínio	50	OK.
19	5	7,308	125	Terra Homogênea	rocha	livre	-	0,836	Controle de Cheias	Pastagem	5	Estruturas vertedoras insatisfatórias.
20	0	7,734	110	Terra Homogênea	rocha	livre	-	0,836	Controle de Cheias	Bairro Monte Alegre Pastagem	5	OK.
21	3	8,168	85	Terra Homogênea	rocha	livre	-	0,836	Controle de Cheias	Pastagem	10	OK.
22	3	13,946	200	Terra Homogênea	rocha	livre	-	0,828	Controle de Cheias Regularização Outros	Infraestrutura (Rodovia SP 151 a 2.000 m) lavoura de cana	100	OK.
23	3	15,274	150	Terra Homogênea	rocha	livre	-	0,828	Abastecimento Humano	perímetro urbano	50	OK.

CONTINUA...

⁵ O TR foi estimado a partir de cálculos hidráulico-hidrológicos e atribuídos a partir do estudo base.

⁶ Fonte: IBGE, 2000.

Tabela 6.15. Atributos dos barramentos em estudo.

CONTINUAÇÃO...

ID	Características Intrínsecas (I)						Características Extrínsecas (E)				Características de Projeto (D)	
	Altura (I ₁)	Volume (I ₂)	Comprimento (I ₃)	Material (I ₄)	Fundação (I ₅)	Vertedor (I ₆)	Idade (E ₁)	Aceitação do Risco (E ₂)			TR (D ₁) ⁷	Condições Gerais (D ₂)
	(m)	(10 ⁶ m ³)	(m)				(anos)	IDH-M ⁸	Finalidade	Uso do Solo	(anos)	
24	4	16,641	250	Terra Homogênea	rocha	livre	-	0,828	Controle de Cheias Regularização Outros	Infraestrutura (Rodovia SP 151 a 500 m)	100	OK.
25	5	18,047	20	Terra Homogênea	rocha	livre	-	0,828	outros	Usina CIAO a 100 m	5	OK.
26	9	19,49	70	Terra Homogênea	rocha	conduto forçado	-	0,835	Controle de Cheias	Barragem a 200 m (jusante)	5	Estruturas vertedoras insatisfatórias.
27	5	20,97	500	Terra Homogênea	rocha	conduto forçado	-	0,835	Abastecimento Humano	perímetro urbano infraestruturas (estrada - coroamento)	5	OK.
28	5	24,036	40	Terra Homogênea	rocha	conduto forçado	-	0,835	outros	perímetro urbano	-	OK.

Fonte: EGC-TUV/FCTH, 2005.

⁷ O TR foi estimado a partir de cálculos hidráulico-hidrológicos e atribuídos a partir do estudo base.

⁸ Fonte: IBGE, 2000.

A partir dos dados da **Tabela 6.15**, necessários ao cálculo do IPRB, foi possível constatar as seguintes características dos barramentos em estudo:

- ◆ Tipo de Fundação: 14,3% em solo, 82,1% em rocha e 3,6% em misto (solo + rocha). Estes valores foram obtidos por meio do mapa litológico da região em estudo;
- ◆ Tipo de Vertedor: 17,9% conduto forçado, 7,1% com comportas e 75% livre;
- ◆ Idade: 21,4% conhecida e 78,6% desconhecida;
- ◆ Condições Gerais da Barragem: 42,9% apresentavam algum tipo de anomalia e 57,1% apresentam condições normais.

A comparação dos IDH-Ms dos municípios em estudo e a respectiva média encontram-se na **Figura 6.23**, a seguir.

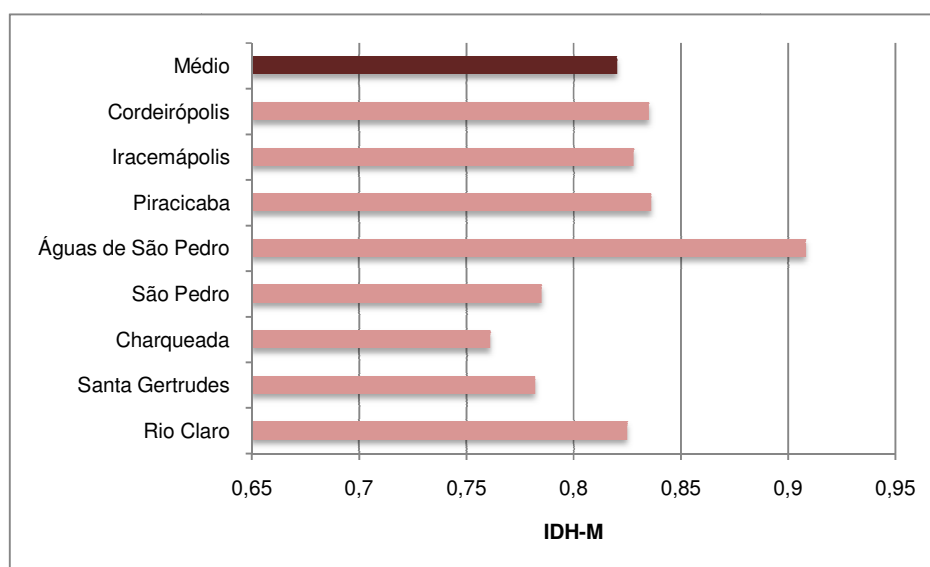


Figura 6.23. IDH-M das localidades. Fonte: IBGE (2000).

De acordo com a **Figura 6.23**, as localidades que estão abaixo do IDH-M médio são: Charqueada, Santa Gertrudes e São Pedro, nesta ordem, e o município de Águas de São Pedro é o único que está bem acima do IDH-M médio, representado por uma cor mais escura.

As **Figuras 6.24, 6.25, 6.26 e 6.27** apresentam, respectivamente, as seguintes informações das estruturas em estudo: a finalidade construtiva da estrutura, o uso e a

ocupação do solo a jusante, o TR dos órgãos de descarga e as causas das condições anômalas observadas.

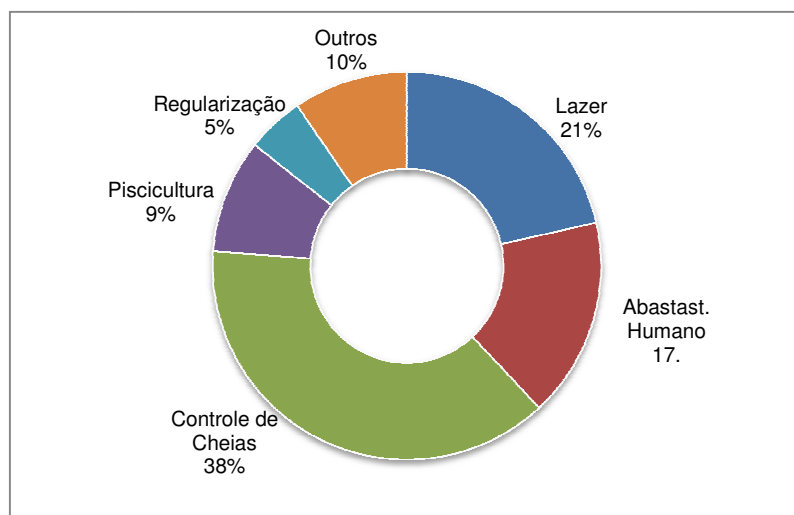


Figura 6.24. Finalidade construtiva dos barramentos em estudo em porcentagem.

De acordo com os dados da **Figura 6.24**, pode-se notar que, curiosamente, a maioria dos barramentos em estudo tem como suas finalidades construtivas o controle de cheias, seguida pelos propósitos de lazer, abastecimento humano, outros, piscicultura e regularização de vazão. Uma vez que a maioria dos barramentos apresenta finalidade de controle de cheias, suas condições de segurança deveriam estar em níveis adequados.

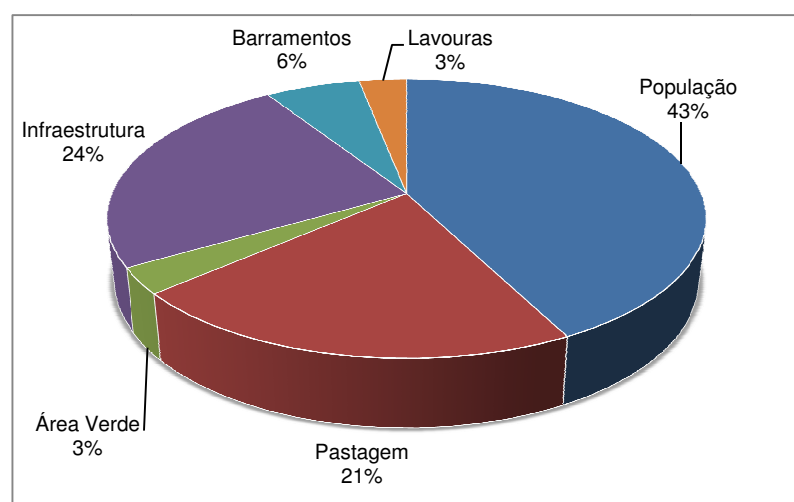


Figura 6.25. Uso e ocupação do solo em porcentagem a jusante dos barramentos em estudo.

De acordo com os dados da **Figura 6.25**, pode-se notar que a maioria dos barramentos em estudo estão localizados a montante de algum tipo de aglomerado populacional, seguido por infraestruturas (Usina Cíao, inclusive), pastagem, barramentos, área verde e lavouras. Deste modo, conclui-se que os danos materiais e sociais serão consideráveis, caso algo de errado aconteça com as estruturas; isto ajuda a compreender o porquê de se selecionar estes 28 barramentos, a fim de testar a aplicação de um índice de priorização de risco, tal como o IPRB.

Vale ressaltar que o estudo base (EGC-TUV/FCTH, 2005) subdividiu a presença de população em cinco categorias, a saber: perímetro urbano (5.000 hab.), perímetro urbano (1.000 hab.), pequenos sítios (500 hab.), condomínio e bairros. Para efeitos deste estudo, preferiu-se considerar simplesmente a presença de população, independente do número de habitantes “envolvidos”, uma vez que se acredita que, no caso de um acidente envolvendo a barragem, a perda de uma vida já seria suficiente para caracterizar danos sociais incomensuráveis.

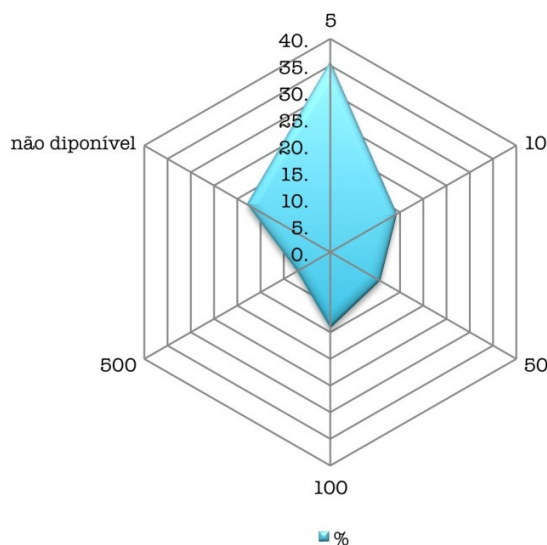


Figura 6.26. TR dos órgãos de descarga dos barramentos em estudo em porcentagem.

De acordo com os dados da **Figura 6.26**, pode-se notar que a maioria dos barramentos em estudo possuem o TR do vertedor igual a 5 anos. Dos 16 barramentos em estudo que possuem o controle de cheias como propósito construtivo, 6 (ou 37,5%) possuem TR igual a 5, 3 (ou 18,8%) com TR igual a 10, 13 (ou 18,8%) com TR igual a 100 e 2 (ou 12,5%) com TR igual a 500 anos e 12,5% com TR desconhecido. Ou seja, 56,2%

dos barramentos (TRs = 5 ou 10) não deverão garantir com eficácia seu propósito construtivo e para 2 (ou 12,5%) deles não se pode saber se cumprirão ou não suas finalidades (TR = desconhecido).

Ainda, a partir da observação da **Figura 6.27**, tem-se que os TRs mais comuns são, nesta ordem: 5 anos, desconhecido, 10 e 100, 50 e 500. Vale ressaltar que o DAEE, responsável pela aprovação dos barramentos localizados no âmbito do PCJ, preconiza que para novos barramentos o TR mínimo deverá ser de 100 anos, mas na maioria dos lugares do mundo espera-se que o TR mínimo de uma pequena barragem seja de 1.000 anos, o que não foi encontrado em nenhum dos casos em estudo.

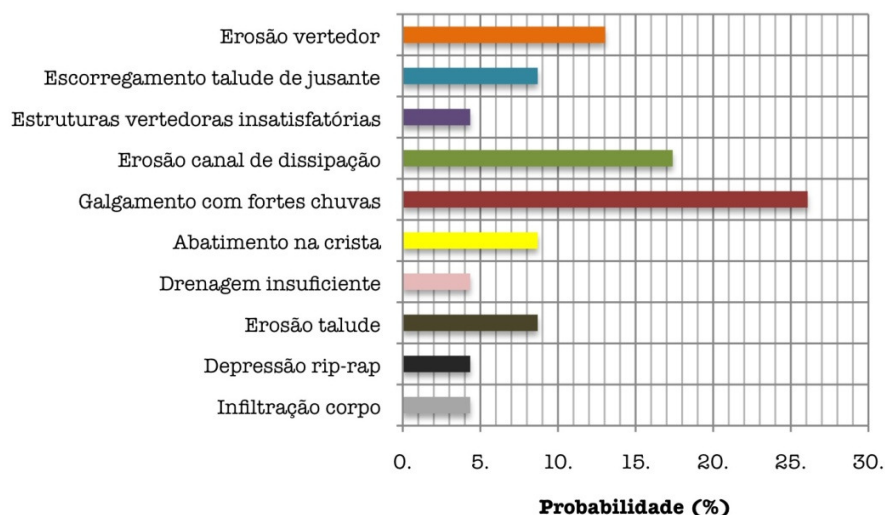


Figura 6.27. Causa das condições anômalas dos barramentos em estudo.

De acordo com os dados da **Figura 6.27**, pode-se notar que a anomalia mais comumente encontrada é o galgamento devido a fortes chuvas. Considerando que 100% das estruturas estudadas são de terra e que, notadamente, o galgamento é a causa mais comum para que barragens de material solto falhem e causem acidentes, pode-se afirmar que a periculosidade oferecida por estas estruturas deve ser bem alta.

Outras causas de anomalias encontradas são nesta ordem: erosão do canal de dissipação, erosão do vertedor, escorregamento nos taludes de jusante, abatimento da crista, erosão dos taludes, estruturas vertedoras insatisfatórias, drenagem insuficiente, depressão do rip-rap e infiltrações no corpo da barragem.

7) RESULTADOS E DISCUSSÃO

"O risco residual restante abre as portas para o reino das hipóteses..."

Häfele

7.1) Resultados

7.1.1) Aplicação do IPRB nos barramentos em estudo

A aplicação do IPRB deve partir da inspeção de segurança das barragens em estudo. Conforme já elucidado no Capítulo 6, neste caso, partiu-se das inspeções de segurança realizada pelo estudo base (EGC-TUV/FCTH, 2005). No referido estudo, além da inspeção técnica das barragens, foram realizados os estudos hidráulico-hidrológico dos órgãos de descarga, também necessários à aplicação do IPRB.

Assim, partindo da premissa de que houve uma inspeção de segurança das estruturas em estudo, o primeiro passo para a aplicação do IPRB é o cálculo da valoração de todos os atributos que entram no seu cômputo. Como os atributos E_2 – Risco Sociológico e D_1 – TR dos órgão de descarga não são valorados por uma função de valor probabilística, deve-se começar por eles.

Para valorar o subcritério E_2 – Risco Sociológico é necessário determinar o grau de aceitação do risco (GAR) e a consequência de um incidente com o barramento (CI). As **Tabelas 7.1** e **7.2** trazem, respectivamente, as atividades/benefícios (cálculo do GAR) e os usos e ocupação do solo (CI) para os 28 barramentos em estudo, doravante identificados pelo ID.

Tabela 7.1. Valoração do grau de aceitação de risco para os barramentos em estudo.

Atividade / Benefício	Valor Associado
Abastecimento Humano	100
Regularização de Vazão	10
Controle de Cheias	10
Lazer	1
Piscicultura	0,1
Outros	0,01
Somatório de todos os benefícios encontrados	121,11

Tabela 7.2. Valoração das consequências de um incidente/acidente com os barramentos em estudo.

Uso e Ocupação do Solo a jusante	Valor Associado
Presença de População	100
Barragem	10
Infraestrutura (ETA, ponte, estrada, ferrovia, etc)	1
Áreas Verdes	1
Cultura	0,1
Pastagem	0,01
Somatório de todos os usos encontrados	112,11

Deste modo, a **Tabela 7.3** ilustra os valores atribuídos para cada característica - IDH-M, GAR, que, neste caso, é dado pela seguinte expressão $GAR = \frac{beneficio_1 + beneficio_2 + beneficio_3}{121,11} * 100$ e CI, que, neste caso, é dado pela seguinte expressão $CI = \frac{uso_1 + uso_2 + uso_3}{112,11} * 100$ - para os barramentos em estudo.

Vale ressaltar que estes valores foram atribuídos a partir dos atributos de cada barramento que constam na **Tabela 6.15**, presente no Capítulo 6 deste estudo.

A partir dos valores do $IDH-M * 100 = \beta_1$, do $GAR = \beta_2$ e do $CI = \beta_3$, calcula-se o coeficiente β_i , que é dado pela seguinte **expressão 6.3**: $\beta_i = \frac{\beta_1 + \beta_2 + \beta_3}{3}$. A partir do valor do β_i , calcula-se o valor de E_2 , dado pela seguinte **expressão 6.4**: $E_2 = \frac{\beta_i * 10^{-4}}{0,011765}$. Vale ressaltar que todas estas expressões já foram apresentadas e justificadas no Capítulo 6 do presente estudo. Assim, os valores necessários ao cálculo de E_2 para dada barragem encontram-se na **Tabela 7.4**

Tabela 7.3. Valores correspondentes do grau de desenvolvimento do município, finalidade e uso e ocupação do solo.

ID Barragem	IDH-M	β_1	Benefício	GAR (β_2)	Uso	CI (β_3)
1	0,825	82,5	1	0,826	100	89,1981
2	0,825	82,5	100	82,570	0,01	0,0089
3	0,825	82,5	10	8,257	1	0,8920
4	0,782	78,2	100	90,827	100	98,1179
			10		10	
5	0,782	78,2	100	91,652	100	98,1179
			1		10	
			10			
6	0,782	78,2	1	9,083	1	0,8920
			10			
7	0,782	78,2	10	8,257	1	0,8920
8	0,761	76,1	1	0,908	1	0,8920
			0,1			
9	0,761	76,1	1	9,083	100	89,1981
			10			
10	0,761	76,1	100	90,827	100	89,1981
			10			
11	0,785	78,5	0,1	0,083	0,01	0,0089
12	0,785	78,5	1	0,908	100	89,1981
			0,1			
13	0,785	78,5	0,1	0,083	100	89,1981
14	0,785	78,5	10	8,257	0,01	0,0089
15	0,785	78,5	10	8,257	0,01	0,0089
16	0,785	78,5	100	83,395	100	89,1981
			1			
17	0,908	90,8	10	8,257	100	89,1981
18	0,836	83,6	1	0,908	100	89,1981
			0,1			
19	0,836	83,6	10	8,257	0,01	0,0089
20	0,836	83,6	10	8,257	100	82,5778
					0,01	
21	0,836	83,6	10	8,257	0,01	0,0089
22	0,828	82,8	10	16,522	1	0,9812
			10		0,1	
			0,01			
23	0,828	82,8	100	82,570	100	89,1981
24	0,828	82,8	10	16,522	1	0,8920
			10			
			0,01			
25	0,828	82,8	0,01	0,008	1	0,8920
26	0,835	83,5	10	8,257	10	8,9198
27	0,835	83,5	100	82,570	100	90,0901
					1	
28	0,835	83,5	0,01	0,008	100	89,1981

Tabela 7.4. Cálculo dos coeficiente β_i para a determinação do subcritério Risco Sociológico E_2 .

ID Barragem	β_1	β_2	β_3	β_i	E_2
1	82,5	0,826	89,198	57,508	0,4888
2	82,5	82,57	0,009	55,026	0,4677
3	82,5	8,257	0,892	30,550	0,2597
4	78,2	90,827	98,118	89,048	0,7569
5	78,2	91,652	98,118	89,323	0,7592
6	78,2	9,083	0,892	29,392	0,2498
7	78,2	8,257	0,892	29,116	0,2475
8	76,1	0,908	0,892	25,967	0,2207
9	76,1	9,083	89,198	58,127	0,4941
10	76,1	90,827	89,198	85,375	0,7257
11	78,5	0,083	0,009	26,197	0,2227
12	78,5	0,908	89,198	56,202	0,4777
13	78,5	0,083	89,198	55,927	0,4754
14	78,5	8,257	0,009	28,922	0,2458
15	78,5	8,257	0,009	28,922	0,2458
16	78,5	83,395	89,198	83,698	0,7114
17	90,8	8,257	89,198	62,752	0,5334
18	83,6	0,908	89,198	57,902	0,4922
19	83,6	8,257	0,009	30,622	0,2603
20	83,6	8,257	82,578	58,145	0,4942
21	83,6	8,257	0,009	30,622	0,2603
22	82,8	16,522	0,981	33,434	0,2842
23	82,8	82,57	89,198	84,856	0,7213
24	82,8	16,522	0,892	33,405	0,2839
25	82,8	0,008	0,892	27,900	0,2372
26	83,5	8,257	8,92	33,559	0,2853
27	83,5	82,57	90,09	85,387	0,7258
28	83,5	0,008	89,198	57,569	0,4893

Para valorar o subcritério D_1 , faz-se uso da seguinte **expressão 6.5**: $D_1 = \frac{1}{TR}$. Deste modo, a **Tabela 7.5** traz o cálculo do atributo D_1 de avaliação. Vale ressaltar que quando o TR não for disponível, pois estudos hidráulicos e hidrológicos não tenham sido realizados, deve-se adotar um $TR = 5$ anos, ou seja, a pior situação encontrada dentre os barramentos em estudo. Esta situação é válida para os seguintes barramentos em estudo: 7, 11, 13, 17 e 28.

Tabela 7.5. Valoração do subcritério D_1 – TR dos órgãos de descarga.

ID Barragem	TR do Órgão de Descarga	D_1
1	50	0,020
2	5	0,200
3	5	0,200
4	5	0,200
5	5	0,200
6	500	0,002
7	5	0,200
8	100	0,010
9	500	0,002
10	10	0,100
11	5	0,200
12	10	0,100
13	5	0,200
14	10	0,100
15	100	0,010
16	5	0,200
17	5	0,200
18	50	0,020
19	5	0,200
20	5	0,200
21	10	0,100
22	100	0,010
23	50	0,020
24	100	0,010
25	5	0,200
26	5	0,200
27	5	0,200
28	5	0,200

O subcritério I_5 Tipo de Fundação será determinado a partir da plotagem das barragens em estudo no mapa da região. Desta forma, a **Figura 7.1** apresenta os barramentos em estudo plotados no mapa litológico da região. A caracterização dos tipos de fundação já foram explicitados no Capítulo 6, item 6.3.

Para valorar o restante dos atributos que entram no computo do IPRB, far-se-á uso das funções de valor probabilísticas relativas a cada subcritério de avaliação, conforme foram propostas e apresentadas no Capítulo 6 deste estudo. Deste modo, estes valores encontram-se na **Tabela 7.6**. Os subcritérios cujos valores sejam iguais a “zero” não contribuem com riscos para a estrutura.

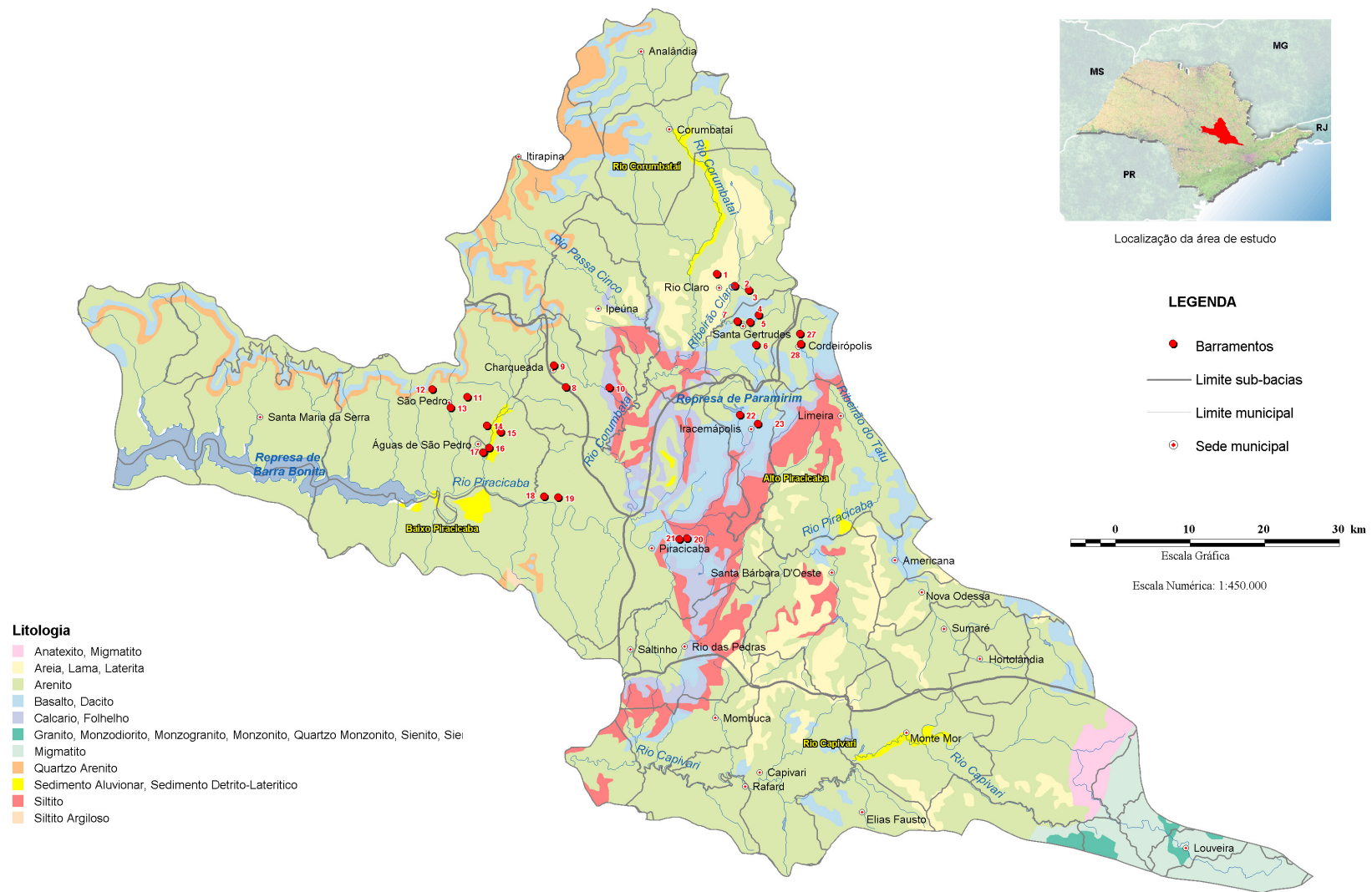


Figura 7.1. Os barramentos em estudos localizados no mapa litológico da região.

Tabela 7.6. Valoração dos subcritérios do IPRB.

ID Barragem	PI ₁	PI ₂	PI ₃	PI ₄	PI ₅	PI ₆ ¹	PE ₁	PE ₂	PD ₁	PD _{2,1}	PD _{2,2}	PD _{2,5}	PD _{2,8}	PD _{2,9}	PD _{2,10}
1	0,0000	0,0578	0,00216	0,766	0,143	4,50E-04	0,0683	0,4888	0,020	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,11432	0,1270	0,00216	0,766	0,143	3,00E-09	0,0853	0,4677	0,200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,0000	0,1828	0,00222	0,766	0,143	4,50E-07	0,0085	0,2597	0,200	0,012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,0000	0,2623	0,00157	0,766	0,667	3,00E-09	0,0085	0,7569	0,200	0,012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,11432	0,2904	0,00199	0,766	0,667	3,00E-09	0,0085	0,7592	0,200	0,012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,0000	0,3131	0,00120	0,766	0,667	3,00E-09	0,0046	0,2498	0,002	0,012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,0005	0,3314	0,00241	0,766	0,667	3,00E-09	0,0085	0,2475	0,200	0,012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,0104	0,3760	0,00179	0,766	0,667	3,00E-09	0,0361	0,2207	0,010	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,0000	0,3823	0,00194	0,766	0,667	5,00E-05	0,0828	0,4941	0,002	0,012	0,105	0,00	0,00	0,00	0,07
10	0,0000	0,3873	0,00194	0,766	0,667	3,00E-09	0,0085	0,7257	0,100	0,012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,0005	0,3963	0,00266	0,766	0,667	5,00E-05	0,0009	0,2227	0,200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,0039	0,3978	0,00179	0,766	0,667	3,00E-09	0,0009	0,4777	0,100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,0000	0,3987	0,00197	0,766	0,667	3,00E-09	0,0009	0,4754	0,200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,11432	0,3990	0,00157	0,766	0,667	3,00E-09	0,0009	0,2458	0,100	0,012	0,00	0,058	0,00	0,00	0,00
15	0,0000	0,3990	0,00199	0,766	0,667	3,00E-09	0,0009	0,2458	0,010	0,012	0,00	0,058	0,00	0,059	0,00
16	0,0000	0,3986	0,00194	0,766	0,143	3,00E-09	0,0276	0,7114	0,200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	0,0000	0,3978	0,00174	0,766	0,175	3,00E-09	0,0382	0,5334	0,200	0,012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,0000	0,3956	0,00231	0,766	0,667	3,00E-09	0,0001	0,4922	0,020	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,0005	0,3941	0,00192	0,766	0,667	3,00E-09	0,0001	0,2603	0,200	0,012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,11432	0,3924	0,00199	0,766	0,667	3,00E-09	0,0001	0,4942	0,200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,0000	0,3906	0,002133	0,766	0,667	3,00E-09	0,0001	0,2603	0,100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,0000	0,3623	0,00157	0,766	0,667	3,00E-09	0,0001	0,2842	0,010	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,0000	0,3558	0,00179	0,766	0,667	3,00E-09	0,0001	0,7213	0,020	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,0000	0,3493	0,00137	0,766	0,667	3,00E-09	0,0001	0,2839	0,010	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	0,0005	0,3428	0,00254	0,766	0,667	3,00E-09	0,0001	0,2372	0,200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26	0,0206	0,3363	0,00222	0,766	0,667	5,00E-05	0,0001	0,2853	0,200	0,012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27	0,0005	0,3299	0,00070	0,766	0,667	5,00E-05	0,0001	0,7258	0,200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28	0,0005	0,3175	0,00241	0,766	0,667	5,00E-05	0,0001	0,4893	0,200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

¹ Como este subcritério foi valorado a partir de um risco anual de rompimento, pois não foram encontradas estatísticas mais apropriadas, optou-se por multiplicar o valor que consta na respectiva função de valor (ver **Figura 6.14**) por 1.000, para que este subcritério possa ser mais representativo, dado a sua importância.

Para calcular o IPRB, deve-se, ainda, determinar a probabilidade de ocorrência associada a cada modo de falha considerado no algoritmo do IPRB, os quais são: galgamento (modo de falha 1 – MF₁), *piping* (modo de falha 2 – MF₂), movimentação do maciço (modo de falha 3 – MF₃), erosão superficial (modo de falha 4 – MF₄) e extrapolação do risco aceitável (modo de falha 5 – MF₅). Para tal é necessário utilizar a expressão $(1 - \text{IDH} - M_{\text{médio}})$. De acordo com a **Figura 6.29**, apresentada no Capítulo 6, este valor é igual 0,180, pois o IDH-M médio é igual a 0,820. Assim, a **Tabela 7.7** apresenta as probabilidades associadas a cada modo de falha do IPRB.

Tabela 7.7. Cálculo das probabilidades de ocorrência associadas a cada modo de falha para o cômputo do IPRB.

Modo de Falha	ID Modo de Falha	Probabilidade Associada
Galgamento	1	$PMF_1 = \frac{0,49}{1+0,096} = 0,447$
<i>Piping</i>	2	$PMF_2 = \frac{0,32}{1+0,096} = 0,292$
Movimentação do Maciço	3	$PMF_3 = \frac{0,09}{1+0,096} = 0,082$
Erosão Superficial	4	$PMF_4 = \frac{0,10}{1+0,096} = 0,091$
Extrapolação do Risco Aceitável (5)	5	$PMF_5 = \frac{0,82}{8,5} = 0,096$

A partir dos cálculos das probabilidades de ocorrência associadas a cada modo de falha, deve-se calcular a distribuição das porcentagens das probabilidades dos subcritérios associados aos modos de falha (**Tabela 7.8**). Como os subcritérios D_{2,3}, D_{2,4}, D_{2,6}, D_{2,7} e D_{2,8} não foram observados em nenhum dos barramentos em estudo, dever-se-á re-escalonar os valores apresentados na **Tabela 6.9**, apresentada no Capítulo 6.

Tabela 7.8. Atribuição das porcentagens das probabilidades dos subcritérios associadas aos modos de falha.

Modo de Falha (MF)	Probabilidade Associada ao MF	Atributo (A)	Probabilidade Associada ao A
Galgamento	0,447	I ₁ – Altura	10% de 0,447
		I ₂ - Volume	20% de 0,447
		I ₆ – Tipo de Vertedor	25% de 0,447
		D ₁ – TR órgãos de descarga	20% de 0,447
		D _{2,1} – Estruturas vertedoras insatisfatórias	25% de 0,447
Piping	0,292	I ₃ - Comprimento	8% de 0,292
		I ₅ - Tipo de Fundação	23% de 0,292
		E ₁ - Idade	15% de 0,292
		D _{2,2} - Sinal de umedecimento nas áreas de taludes ou ombreiras	23% de 0,292
		D _{2,9} - Falhas nas proteções – drenagem insuficiente e sulcos nos taludes	31% de 0,292
Movimentação do Maciço	0,082	I ₃ - Comprimento	14% de 0,082
		I ₅ - Tipo de Fundação	29% de 0,082
		E ₁ - Idade	21% de 0,082
		D _{2,5} - Pequenos abatimentos da crista	36% de 0,082
Erosão Superficial	0,091	I ₃ - Comprimento	14% de 0,091
		I ₄ - Tipo de Material	21,5% de 0,091
		E ₁ - Idade	14% de 0,091
		D _{2,9} - Falhas nas proteções – drenagem insuficiente e sulcos nos taludes	21,5% de 0,091
		D _{2,10} - Depressão no rip-rap, escorregamentos – sulcos profundos de erosão, vegetação	29% de 0,091
Extrapolação do Risco Aceitável	0,096	E ₂ - Risco Sociológico	60% de 0,096
		D ₁ - TR dos órgãos de Descarga	40% de 0,096

Portanto, pode-se calcular a probabilidade associada a cada atributo, cujos valores encontram-se na **Tabela 7.9**, a seguir:

Tabela 7.9. Atribuição das probabilidades dos subcritérios associadas aos modos de falha.

Modo de Falha (MF)	Atributo (A)	Probabilidade Associada ao A
Galgamento	I ₁ – Altura	0,045
	I ₂ – Volume	0,089
	I ₆ – Tipo de Vertedor	0,112
	D ₁ – TR órgãos de descarga	0,089
	D _{2,1} – Estruturas vertedoras insatisfatórias	0,112
<i>Piping</i>	I ₃ – Comprimento	0,023
	I ₅ – Tipo de Fundação	0,067
	E ₁ – Idade	0,044
	D _{2,2} – Sinal de umedecimento nas áreas de taludes ou ombreiras	0,067
	D _{2,9} – Falhas nas proteções – drenagem insuficiente e sulcos nos taludes	0,091
Movimentação do Maciço	I ₃ – Comprimento	0,011
	I ₅ – Tipo de Fundação	0,024
	E ₁ – Idade	0,017
	D _{2,5} – Pequenos abatimentos da crista	0,030
Erosão Superficial	I ₃ – Comprimento	0,013
	I ₄ – Tipo de Material	0,020
	E ₁ – Idade	0,013
	D _{2,9} – Falhas nas proteções – drenagem insuficiente e sulcos nos taludes	0,020
	D _{2,10} – Depressão no rip-rap, escorregamentos – sulcos profundos de erosão, vegetação	0,026
Extrapolação do Risco Aceitável	E ₂ – Risco Sociológico	0,058
	D ₁ – TR dos órgãos de Descarga	0,038

Os resultados do cálculo do IPRB para os barramentos em estudo e os resultados encontram-se na **Tabela 7.10**, a seguir.

Tabela 7.10. Resultados das probabilidades associadas aos subcritérios e aos modos de falha para o cálculo do IPRB.

Subcritério	Altura		Volume		Comprimento				Material		Fundação			Vertedor		Idade				Risco Sociológico		TR Órgão de Descarga			Condições Gerais												IPRB
ID	PI ₁	PM _{F₁}	PI ₂	PM _{F₁}	PI ₃	PM _{F₂}	PM _{F₃}	PM _{F₄}	PI ₄	PM _{F₄}	PI ₅	PM _{F₂}	PM _{F₃}	PI ₆	PM _{F₁}	PE ₁	PM _{F₂}	PM _{F₃}	PM _{F₄}	PE ₂	PM _{F₅}	PD ₁	PM _{F₁}	PM _{F₃}	PD _{2,1}	PM _{F₁}	PD _{2,2}	PM _{F₂}	PD _{2,3}	PM _{F₃}	PD _{2,4}	PM _{F₂}	PM _{F₄}	PD _{2,10}	PM _{F₄}		
1	0,0 0	0,05	0,0 6	0,09	0,0 0	0,02	0,01	0,01	0,7 7	0,02	0,1 4	0,07	0,02	4,50 E-04	0,11	0,06 83	0,04	0,02	0,01	0,4 9	0,06	0,0 2	0,09	0,04	0,0 0	0,11	0,0 0	0,07	0,0 0	0,03	0,0 6	0,09	0,02	0,00	0,03	0,07 61	
2	0,1 1	0,05	0,1 3	0,09	0,0 0	0,02	0,01	0,01	0,7 7	0,02	0,1 4	0,07	0,02	3,00 E-09	0,11	0,08 53	0,04	0,02	0,01	0,4 7	0,06	0,2 0	0,09	0,04	0,0 0	0,11	0,0 0	0,07	0,0 0	0,03	0,0 6	0,09	0,02	0,00	0,03	0,11 03	
3	0,0 0	0,05	0,1 8	0,09	0,0 0	0,02	0,01	0,01	0,7 7	0,02	0,1 4	0,07	0,02	4,50 E-07	0,11	0,00 85	0,04	0,02	0,01	0,2 6	0,06	0,2 0	0,09	0,04	0,0 1	0,11	0,0 0	0,07	0,0 0	0,03	0,0 6	0,09	0,02	0,00	0,03	0,09 37	
4	0,0 0	0,05	0,2 6	0,09	0,0 0	0,02	0,01	0,01	0,7 7	0,02	0,6 7	0,07	0,02	3,00 E-09	0,11	0,00 85	0,04	0,02	0,01	0,7 6	0,06	0,2 0	0,09	0,04	0,0 1	0,11	0,0 0	0,07	0,0 0	0,03	0,0 6	0,09	0,02	0,00	0,03	0,17 73	
5	0,1 1	0,05	0,2 9	0,09	0,0 0	0,02	0,01	0,01	0,7 7	0,02	0,6 7	0,07	0,02	3,00 E-09	0,11	0,00 85	0,04	0,02	0,01	0,7 6	0,06	0,2 0	0,09	0,04	0,0 1	0,11	0,0 0	0,07	0,0 0	0,03	0,0 6	0,09	0,02	0,00	0,03	0,18 51	
6	0,0 0	0,05	0,3 1	0,09	0,0 0	0,02	0,01	0,01	0,7 7	0,02	0,6 7	0,07	0,02	3,00 E-09	0,11	0,00 46	0,04	0,02	0,01	0,2 5	0,06	0,0 0	0,09	0,04	0,0 1	0,11	0,0 0	0,07	0,0 0	0,03	0,0 6	0,09	0,02	0,00	0,03	0,12 69	
7	0,0 0	0,05	0,3 3	0,09	0,0 0	0,02	0,01	0,01	0,7 7	0,02	0,6 7	0,07	0,02	3,00 E-09	0,11	0,00 85	0,04	0,02	0,01	0,2 5	0,06	0,2 0	0,09	0,04	0,0 1	0,11	0,0 0	0,07	0,0 0	0,03	0,0 6	0,09	0,02	0,00	0,03	0,15 39	
8	0,0 1	0,05	0,3 8	0,09	0,0 0	0,02	0,01	0,01	0,7 7	0,02	0,6 7	0,07	0,02	3,00 E-09	0,11	0,03 61	0,04	0,02	0,01	0,2 2	0,06	0,0 1	0,09	0,04	0,0 0	0,11	0,0 0	0,07	0,0 0	0,03	0,0 6	0,09	0,02	0,00	0,03	0,13 33	
9	0,0 0	0,05	0,3 8	0,09	0,0 0	0,02	0,01	0,01	0,7 7	0,02	0,6 7	0,07	0,02	5,00 E-05	0,11	0,08 28	0,04	0,02	0,01	0,4 9	0,06	0,0 0	0,09	0,04	0,0 1	0,11	0,1 1	0,07	0,0 0	0,03	0,0 6	0,09	0,02	0,07	0,03	0,16 19	
10	0,0 0	0,05	0,3 9	0,09	0,0 0	0,02	0,01	0,01	0,7 7	0,02	0,6 7	0,07	0,02	3,00 E-09	0,11	0,00 85	0,04	0,02	0,01	0,7 3	0,06	0,1 0	0,09	0,04	0,0 1	0,11	0,0 0	0,07	0,0 0	0,03	0,0 6	0,09	0,02	0,00	0,03	0,17 39	
11	0,0 0	0,05	0,4 0	0,09	0,0 0	0,02	0,01	0,01	0,7 7	0,02	0,6 7	0,07	0,02	5,00 E-05	0,11	0,00 09	0,04	0,02	0,01	0,2 2	0,06	0,2 0	0,09	0,04	0,0 0	0,11	0,0 0	0,07	0,0 0	0,03	0,0 6	0,09	0,02	0,00	0,03	0,15 64	
12	0,0 0	0,05	0,4 0	0,09	0,0 0	0,02	0,01	0,01	0,7 7	0,02	0,6 7	0,07	0,02	3,00 E-09	0,11	0,00 09	0,04	0,02	0,01	0,4 8	0,06	0,1 0	0,09	0,04	0,0 0	0,11	0,0 0	0,07	0,0 0	0,03	0,0 6	0,09	0,02	0,00	0,03	0,15 87	
13	0,0 0	0,05	0,4 0	0,09	0,0 0	0,02	0,01	0,01	0,7 7	0,02	0,6 7	0,07	0,02	3,00 E-09	0,11	0,00 09	0,04	0,02	0,01	0,4 8	0,06	0,2 0	0,09	0,04	0,0 0	0,11	0,0 0	0,07	0,0 0	0,03	0,0 6	0,09	0,02	0,00	0,03	0,17 12	
14	0,1 1	0,05	0,4 0	0,09	0,0 0	0,02	0,01	0,01	0,7 7	0,02	0,6 7	0,07	0,02	3,00 E-09	0,11	0,00 09	0,04	0,02	0,01	0,2 5	0,06	0,1 0	0,09	0,04	0,0 1	0,11	0,0 0	0,07	0,0 6	0,03	0,0 6	0,09	0,02	0,00	0,03	0,15 34	
15	0,0 0	0,05	0,4 0	0,09	0,0 0	0,02	0,01	0,01	0,7 7	0,02	0,6 7	0,07	0,02	3,00 E-09	0,11	0,00 09	0,04	0,02	0,01	0,2 5	0,06	0,0 1	0,09	0,04	0,0 1	0,11	0,0 0	0,07	0,0 6	0,03	0,0 6	0,09	0,02	0,00	0,03	0,13 69	
16	0,0 0	0,05	0,4 0	0,09	0,0 0	0,02	0,01	0,01	0,7 7	0,02	0,1 4	0,07	0,02	3,00 E-09	0,11	0,02 76	0,04	0,02	0,01	0,7 1	0,06	0,2 0	0,09	0,04	0,0 0	0,11	0,0 0	0,07	0,0 0	0,03	0,0 6	0,09	0,02	0,00	0,03	0,13 92	
17	0,0 0	0,05	0,4 0	0,09	0,0 0	0,02	0,01	0,01	0,7 7	0,02	0,1 8	0,07	0,02	3,00 E-09	0,11	0,03 82	0,04	0,02	0,01	0,5 3	0,06	0,2 0	0,09	0,04	0,0 1	0,11	0,0 0	0,07	0,0 0	0,03	0,0 6	0,09	0,02	0,00	0,03	0,13 38	
18	0,0 0	0,05	0,4 0	0,09	0,0 0	0,02	0,01	0,01	0,7 7	0,02	0,6 7	0,07	0,02	3,00 E-09	0,11	0,00 01	0,04	0,02	0,01	0,4 9	0,06	0,0 2	0,09	0,04	0,0 0	0,11	0,0 0	0,07	0,0 0	0,03	0,0 6	0,09	0,02	0,00	0,03	0,14 90	
19	0,0 0	0,05	0,3 9	0,09	0,0 0	0,02	0,01	0,01	0,7 7	0,02	0,6 7	0,07	0,02	3,00 E-09	0,11	0,00 01	0,04	0,02	0,01	0,2 6	0,06	0,2 0	0,09	0,04	0,0 1	0,11	0,0 0	0,07	0,0 0	0,03	0,0 6	0,09	0,02	0,00	0,03	0,15 96	
20	0,1 1	0,05	0,3 9	0,09	0,0 0	0,02	0,01	0,01	0,7 7	0,02	0,6 7	0,07	0,02	3,00 E-09	0,11	0,00 01	0,04	0,02	0,01	0,4 9	0,06	0,2 0	0,09	0,04	0,0 0	0,11	0,0 0	0,07	0,0 0	0,03	0,0 6	0,09	0,02	0,00	0,03	0,17 68	
21	0,0 0	0,05	0,3 9	0,09	0,0 0	0,02	0,01	0,01	0,7 7	0,02	0,6 7	0,07	0,02	3,00 E-09	0,11	0,00 01	0,04	0,02	0,01	0,2 6	0,06	0,1 0	0,09	0,04	0,0 0	0,11	0,0 0	0,07	0,0 0	0,03	0,0 6	0,09	0,02	0,00	0,03	0,14 52	
22	0,0 0	0,05	0,3 6	0,09	0,0 0	0,02	0,01	0,01	0,7 7	0,02	0,6 7	0,07	0,02	3,00 E-09	0,11	0,00 01	0,04	0,02	0,01	0,2 8	0,06	0,0 1	0,09	0,04	0,0 0	0,11	0,0 0	0,07	0,0 0	0,03	0,0 6	0,09	0,02	0,00	0,03	0,13 27	
23	0,0 0	0,05	0,3 6	0,09	0,0 0	0,02	0,01	0,01	0,7 7	0,02	0,6 7	0,07	0,02	3,00 E-09	0,11	0,00 01	0,04	0,02	0,01	0,7 2	0,06	0,0 2	0,09	0,04	0,0 0	0,11	0,0 0	0,07	0,0 0	0,03	0,0 6	0,09	0,02	0,00	0,03	0,15 87	
24	0,0 0	0,05	0,3 5	0,09	0,0 0	0,02	0,01	0,01	0,7 7	0,02	0,6 7	0,07	0,02	3,00 E-09	0,11	0,00 01	0,04	0,02	0,01	0,2 8	0,06	0,0 1	0,09	0,04	0,0 0	0,11	0,0 0	0,07	0,0 0	0,03	0,0 6	0,09	0,02	0,00	0,03	0,13 15	
25	0,0 0	0,05	0,3 4	0,09	0,0 0	0,02	0,01	0,01	0,7 7	0,02	0,6 7	0,07	0,02	3,00 E-09	0,11	0,00 01	0,04	0,02	0,01	0,2 4	0,06	0,2 0	0,09	0,04	0,0 0	0,11	0,0 0	0,07	0,0 0	0,03	0,0 6	0,09	0,02	0,00	0,03	0,15 24	
26	0,0 2	0,05	0,3 4	0,09	0,0 0	0,02	0,01	0,01	0,7 7	0,02	0,6 7	0,07	0,02	5,00 E-05	0,11	0,00 01	0,04	0,02	0,01	0,2 9	0,06	0,2 0	0,09	0,04	0,0 1	0,11	0,0 0	0,07	0,0 0	0,03	0,0 6	0,09	0,02	0,00	0,03	0,15 68	
27	0,0 0	0,05	0,3 3	0,09	0,0 0	0,02	0,01	0,01	0,7 7	0,02	0,6 7	0,07	0,02	5,00 E-05	0,11	0,00 01	0,04	0,02	0,01	0,7 3	0,06	0,2 0	0,09	0,04	0,0 0	0,11	0,0 0	0,07	0,0 0	0,03	0,0 6	0,09	0,02	0,00	0,03	0,17 95	
28	0,0 0	0,05	0,3 2	0,09	0,0 0	0,02	0,01	0,01	0,7 7	0,02	0,6 7	0,07	0,02	5,00 E-05	0,11	0,00 01	0,04	0,02	0,01	0,4 9	0,06	0,2 0	0,09	0,04	0,0 0	0,11	0,0 0	0,07	0,0 0	0,03	0,0 6	0,09	0,02	0,00	0,03	0,16 48	

Os valores em vermelho, que constam na **Tabela 7.10**, não estão interferindo nos cálculos do IPRB, pois a probabilidade associada ao subcritério de avaliação é igual zero.

Como para as barragens 2, 5, 14 e 20 o subcritério I_1 – Altura estava indisponível, adotou-se a pior situação possível relacionada à este atributo, ou seja, uma probabilidade de 11,432%, relativa a altura igual a 20 metros. Para o subcritério I_5 – tipo de fundação, o mesmo ocorreu para os barramentos 24 e 26, cujas coordenadas geográficas corretas estavam indisponíveis e, assim, adotou-se a situação de maior risco.

O atributo de avaliação E_1 – Idade foi o subcritério com o menor número de informações disponíveis, pois para 22 dos 28 barramentos em estudo teve-se que atribuir a pior “nota” possível relacionada. As barragens em questão foram: 2, 3, 4, 5, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 e 28.

Assim, a **Tabela 7.11**, a seguir traz o ranking das barragens em estudo, com a porcentagem das partes que estão contribuindo para o resultado, dado pelo Teorema de Bayes ($P(A_i | IPRB) = \frac{PA_i * PMF_{Ai}}{IPRB}$). Vale lembrar que o IPRB é calculado pela **expressão 6.1**, apresentada no Capítulo 6:

$$IPRB = PI_1 * PMF_{I1} + PI_2 * PMF_{I2} + PI_3 * \sum PMF_{I3} + PI_4 * PMF_{I4} + PI_5 * \sum PMF_{I5} + PI_6 * PMF_{I6} + PE_1 * \sum PMF_{E1} + PE_2 * PMF_{E2} + PD_1 * PMF_{D1} + PD_{2,n} * \sum PMF_{D2,n}$$

De acordo com resultados do IPRB, os cinco barramentos que estão oferecendo mais riscos são, nesta ordem: 5, 27, 4, 20 e 10 e as cinco estruturas que estão oferecendo o menor risco são, respectivamente: 1, 3, 2, 6 e 24.

A contribuição dos subcritérios de avaliação da barragem 5, cujo risco encontrado foi o maior (18,51%), foram: I_5 – Tipo de Fundação (32,8%), E_2 – Risco Sociológico (23,79%), I_2 – Volume do Reservatório (13,97%), D_1 – TR dos Órgãos de Descarga (13,72%), I_4 – Tipo de Material (8,28%), D_2 – Condições Gerais (4,26%), I_1 – Altura (2,78%), E_1 – Idade (0,34) e I_3 – Comprimento (0,05%).

No cômputo geral dos resultados, a **Tabela 7.12** apresenta a contribuição média de cada subcritério no cálculo do IPRB.

Tabela 7.11. Hierarquização dos barramentos em estudo dado pelo resultado do IPRB e a contribuição dos atributos para o resultado.

Rank	ID	IPRB (%)	Contribuição dos Subcritérios para o Resultado do IPRB (%)														
			I1	I2	I3	I4	I5	I6	E1	E2	D1	D2,1	D2,2	D2,5	D2,9	D2,10	D2
1	5	18,51	2,78	13,97	0,05	8,28	32,80	0,00	0,34	23,79	13,72	0,73	0,00	0,00	3,54	0,00%	4,26
2	27	17,95	0,01	16,36	0,02	8,54	33,82	0,00	0,00	23,45	14,15	0,00	0,00	0,00	3,65	0,00%	3,65
3	4	17,73	0,00	13,17	0,04	8,65	34,24	0,00	0,36	24,77	14,33	0,76	0,00	0,00	3,69	0,00%	4,45
4	20	17,68	2,91	19,75	0,05	8,67	34,33	0,00	0,00	16,21	14,37	0,00	0,00	0,00	3,70	0,00%	3,70
5	10	17,39	0,00	19,82	0,05	8,81	34,90	0,00	0,36	24,20	7,30	0,77	0,00	0,00	3,77	0,00%	4,54
6	13	17,12	0,00	20,73	0,05	8,95	35,46	0,00	0,04	16,11	14,84	0,00	0,00	0,00	3,83	0,00%	3,83
7	28	16,48	0,01	17,15	0,07	9,30	36,84	0,00	0,00	17,23	15,42	0,00	0,00	0,00	3,97	0,00%	3,97
8	9	16,19	0,00	21,01	0,06	9,47	37,48	0,00	3,78	17,70	0,16	0,83	4,34	0,00	4,04	1,12%	10,34
9	19	15,96	0,01	21,98	0,06	9,60	38,03	0,00	0,00	9,46	15,91	0,84	0,00	0,00	4,10	0,00%	4,95
10	12	15,87	0,11	22,31	0,05	9,66	38,24	0,00	0,04	17,46	8,00	0,00	0,00	0,00	4,13	0,00%	4,13
11	23	15,87	0,00	19,95	0,05	9,66	38,25	0,00	0,00	26,36	1,60	0,00	0,00	0,00	4,13	0,00%	4,13
12	26	15,68	0,59	19,08	0,07	9,77	38,70	0,00	0,00	10,55	16,20	0,86	0,00	0,00	4,18	0,00%	5,03
13	11	15,64	0,01	22,56	0,08	9,80	38,81	0,00	0,04	8,26	16,24	0,00	0,00	0,00	4,19	0,00%	4,19
14	7	15,39	0,01	19,16	0,07	9,96	39,43	0,00	0,41	9,33	16,50	0,87	0,00	0,00	4,25	0,00%	5,13
15	14	15,34	3,35	23,15	0,05	9,99	39,57	0,00	0,04	9,29	8,28	0,88	0,00	1,13	4,27	0,00%	6,28
16	25	15,24	0,01	20,02	0,08	10,06	39,83	0,00	0,00	9,03	16,67	0,00	0,00	0,00	4,30	0,00%	4,30
17	18	14,90	0,00	23,63	0,07	10,29	40,74	0,00	0,00	19,16	1,70	0,00	0,00	0,00	4,40	0,00%	4,40
18	21	14,52	0,00	23,94	0,07	10,55	41,79	0,00	0,00	10,39	8,74	0,00	0,00	0,00	4,51	0,00%	4,51
19	16	13,92	0,00	25,49	0,07	11,01	9,35	0,00	1,47	29,65	18,25	0,00	0,00	0,00	4,71	0,00%	4,71
20	15	13,69	0,00	25,95	0,07	11,20	44,35	0,00	0,05	10,42	0,93	0,98	0,00	1,27	4,79	0,00%	7,04
21	17	13,38	0,00	26,46	0,06	11,46	11,90	0,00	2,11	23,12	18,98	1,00	0,00	0,00	4,89	0,00%	5,90
22	8	13,33	0,35	25,10	0,06	11,50	45,52	0,00	2,00	9,60	0,95	0,00	0,00	0,00	4,91	0,00%	4,91
23	22	13,27	0,00	24,31	0,06	11,55	45,76	0,00	0,00	12,43	0,96	0,00	0,00	0,00	4,94	0,00%	4,94
24	24	13,15	0,00	23,65	0,05	11,66	46,17	0,00	0,00	12,53	0,97	0,00	0,00	0,00	4,98	0,00%	4,98
25	6	12,69	0,00	21,95	0,04	12,08	47,82	0,00	0,27	11,42	0,20	1,06	0,00	0,00	5,16	0,00%	6,22
26	2	11,03	4,66	10,25	0,09	13,90	11,80	0,00	5,73	24,60	23,03	0,00	0,00	0,00	5,94	0,00%	5,94
27	3	9,37	0,00	17,36	0,11	16,36	13,89	0,00	0,67	16,07	27,11	1,43	0,00	0,00	6,99	0,00%	8,42
28	1	7,61	0,00	6,76	0,13	20,13	17,09	0,07	6,64	37,24	3,34	0,00	0,00	0,00	8,60	0,00	8,60
Média (%)			0,53	20,18	0,06	10,74	34,53	0,003	0,87	17,14	10,67	0,39	0,16	0,09	4,59	0,04	5,27

Tabela 7.12. Contribuição média dos subcritérios no cômputo do risco oferecido pelas barragens em estudo.

Atributo		Contribuição com o Risco Computado (%)
I ₁ - Altura		0,53
I ₂ - Volume do Reservatório		20,18
I ₃ - Comprimento		0,06
I ₄ - Tipo de Material		10,74
I ₅ - Tipo de Fundação		34,53
I ₆ - Tipo de Vertedor		0,003
E ₁ - Idade		0,87
E ₂ - Risco Sociológico		17,14
D ₁ - TR dos Órgãos de Descarga		10,67
D ₂ - Condições Gerais	D _{2,1} - Estrutura vertedora insatisfatória	0,39
	D _{2,2} - sinal de umedecimento nas áreas de taludes e ombreiras	0,16
	D _{2,5} - pequenos abatimentos na crista	0,09
	D _{2,9} - falhas nas proteções (drenagem insuficiente e sulcos nos taludes)	4,59
	D _{2,10} - depressão no rip-rap, escorregamentos (sulcos profundos de erosão, vegetação)	0,04
	Total de D₂	5,27

Assim, os atributos que mais contribuíram para o risco associado as barragens foram, nesta ordem: tipo de fundação (34,53%), volume do reservatório (20,18%), risco sociológico (17,14%), tipo de material (10,74%), TR dos órgãos de descarga (10,67%), condições gerais (5,27%), idade (0,87%), altura (0,53%), comprimento (0,06%) e o tipo de vertedor (0,003%).

7.1.2) Aplicação do RIC nos barramentos em estudo

A metodologia para avaliação de risco por meio de um indicador proposta por Andersen *et al* (2001) – RIC e, que foi apresentada no Capítulo 5 do presente estudo, foi aplicada aos barramentos em estudo. Seus resultados serão de grande valia para auferir os resultados obtidos pelo IPRB, pois trata-se de um índice de priorização de risco, tal como o IPRB. Ou seja, é uma metodologia de avaliação de risco.

O atributo necessário ao cálculo da CF_j que foi pesquisado por não constar no estudo referência (EGC-TUV e FCTH) e tampouco foi considerado como um critério de avaliação no cálculo do IPRB foi referente ao atributo denominado por Andersen de E₂ – Sismicidade,

necessário ao cálculo da Vulnerabilidade (V) dos barramentos. Deste modo, para poder valorar o referido atributo foi necessário buscar informações sobre a distribuição geográfica da sismicidade com magnitude superior a 5 na escala de Mercalli. Para tal, ver a **Figura 7.2**, a seguir.

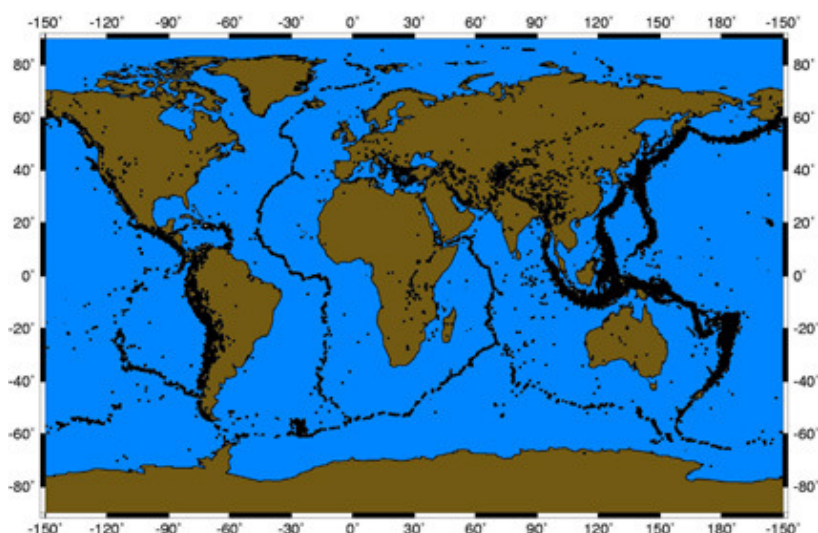


Figura 7.2. Distribuição geográfica da sismicidade com magnitude superior a 5 para o período 1980-1999 que ilustram quais são as zonas tectonicamente ativas. Fonte:

http://w3.ualg.pt/~jdias/GEOLAMB/GA5_Sismos/52_Sismologia/5210_Distribuicao.html, pesquisa realizada em 29/05/2010.

Conforme pode ser observado na **Figura 7.2**, o Brasil possui 15 pontos, sendo 12 em terra e 3 no oceano, com sismicidade superior a 5 na escala de Mercalli. Porém, nenhum destes pontos se encontram no Estado de São Paulo, local em que os barramentos em estudo estão situados.

Outro atributo que deve ser valorado de forma distinta do IPRB é o atributo I_3 - Tipo de Fundação, pois o RIC parte da seguinte escala semântica: rocha, arenoso e aluvião. Para tal, foi necessário plotar os barramentos em estudo em um mapa litológico. Assim, diversos geólogos foram consultados para estabelecer a relação entre a geologia do local em que o barramento se encontra e os tipos de fundação. A **Tabela 7.13**, a seguir, traz a correspondência utilizada para a aplicação do RIC quanto ao tipo de fundação e formação geológica.

Tabela 7.13. Relação entre o tipo de fundação e a geologia da região em estudo.

Tipo de Fundação	Litologia Correspondente
Rocha	Anatexito, Migmatito; Arenito; Basalto, Dacito; Calcário, Folhelho; Granito, Monzodiorito, Monzogranito, Quartzo Monzonito, Sienito; Migmatito; Quartzo Arenito; Siltito; e Siltito Argiloso.
Arenoso	Areia, Lama, Laterita
Aluvião	Sedimento Aluvionar, Sedimento Detrito-Laterítico.

Foi, ainda, necessário transformar a unidade (ha.m), utilizada por Andersen *et al* (2001) para valorar o atributo I_4 – Capacidade do reservatório, para m^3 , unidade esta mais comumente utilizada no Brasil para medir o volume do reservatório. Deste modo, o atributo I_4 foi valorado a partir dos dados que constam na **Tabela 7.14**, a seguir:

Tabela 7.14. Características intrínsecas em m^3 (I_4 Capacidade do Reservatório).

Capacidade do reservatório (m^3) (1)	Pontuação (2)
< 5.143,98	1
5.143,98 – 102.546,08	3
102.546,08 – 5.143.978,36	6
> 5.143.978,36	10

Fonte: modificado de Andersen *et al* (2001).

A **Tabela 7.15** apresenta as notas conferidas a cada um dos 28 barramentos em estudo, com os referentes cálculos da Vulnerabilidade (V), que é dado pela seguinte expressão: $V = \frac{(I_1 + I_2 + I_3 + I_4)}{4} * \frac{(E_1 + E_2)}{2} * \frac{(D_1 + D_2)}{2}$; do Potencial de Dano (PD), atribuído a partir das consequências de uma eventual ruptura do barramento e do Inventário ($I_{barragem}$), dado pela expressão: $I_{barragem} = V * PD$. Estes resultados são os primeiros passos para, ao final, chegar no resultado das condições de funcionamento CF_j .

Tabela 7.15. Cálculo da Vulnerabilidade (V), do Potencial de Dano (PD) e do Inventário (I_{barragem}).

ID Barragem	Características Intrínsecas (I)				Características Extrínsecas (E)		Características de Projeto (D)		Vulnerabilidade (V)	Potencial de Dano (PD)	I_{barragem}
	I1 - Altura	I2 - Tipo	I3 - Fundação	I4 - Volume Reservatório	E1 - Idade	E2 - Sismicidade	D1 - Adequação Órgãos Descarga	D2 - Instabilidade Maciço			
1	3	10	10	3	8	1	10	1	160,88	10	1.608,75
2	1	10	10	6	10	1	10	1	204,19	5	1.020,94
3	3	10	10	6	10	1	10	1	219,31	10	2.193,13
4	1	10	1	6	10	1	10	1	136,13	10	1.361,25
5	1	10	1	6	10	1	10	1	136,13	10	1.361,25
6	3	10	1	6	1	1	1	1	5,00	5	25,00
7	3	10	1	6	10	1	5	1	82,50	5	412,50
8	3	10	1	6	5	1	1	1	15,00	5	75,00
9	1	10	1	6	8	1	1	10	111,38	10	1.113,75
10	3	10	1	6	10	1	10	1	151,25	10	1.512,50
11	3	10	1	6	10	1	5	1	82,50	10	825,00
12	3	10	1	6	10	1	5	1	82,50	10	825,00
13	3	10	1	6	10	1	5	1	82,50	10	825,00
14	1	10	1	6	10	1	10	10	247,50	5	1.237,50
15	1	10	1	10	10	1	1	10	166,38	5	831,88
16	3	10	5	10	5	1	10	1	115,50	10	1.155,00
17	3	10	5	10	5	1	5	1	63,00	10	630,00
18	1	10	1	10	10	1	10	1	166,38	10	1.663,75
19	3	10	1	10	10	1	10	1	181,50	5	907,50
20	1	10	1	10	10	1	10	1	166,38	10	1.663,75
21	3	10	1	10	10	1	10	1	181,50	5	907,50
22	3	10	1	10	10	1	10	1	181,50	5	907,50
23	3	10	1	10	10	1	10	1	181,50	10	1.815,00
24	3	10	1	10	10	1	10	1	181,50	5	907,50
25	3	10	1	10	10	1	10	1	181,50	10	1.815,00
26	3	10	1	10	10	1	10	1	181,50	5	907,50
27	3	10	1	10	10	1	10	1	181,50	10	1.815,00
28	3	10	1	10	10	1	5	1	99,00	10	990,00

O passo subsequente para a determinação do RIC é o cálculo das probabilidades condicionadas dos atributos, necessárias ao cálculo do RI_j . Deste modo, a **Tabela 7.16** traz a atribuição das probabilidades dos subcritérios de avaliação associadas aos modos de falha que entram no computo do RIC. Resolveu-se adotar os mesmos atributos probabilísticos atribuídos ao IPRB para que se possa comparar os resultados das avaliações. É importante alertar para o fato de que os modos de falha considerados pelo Método RIC não levam em consideração o modo de falha Extrapolação do Risco Aceitável, computado no cálculo do IPRB.

Tabela 7.16. Atribuição das probabilidades dos subcritérios associadas aos modos de falha do RIC.

Modo de Falha (MF)	Probabilidade Associada ao MF	Atributo (A)	Probabilidade Associada ao A
Galgamento	0,49	I ₁ – Altura	10% de 0,49
		I ₂ – Volume	20% de 0,49
		I ₆ – Tipo de Vertedor	25% de 0,49
		D ₁ – TR órgãos de descarga	20% de 0,49
		D _{2,1} – Estruturas vertedoras insatisfatórias	25% de 0,49
Piping	0,32	I ₃ – Comprimento	8% de 0,32
		I ₅ – Tipo de Fundação	23% de 0,32
		E ₁ – Idade	15% de 0,32
		D _{2,2} – Sinal de umedecimento nas áreas de taludes ou ombreiras	23% de 0,32
		D _{2,9} – Falhas nas proteções – drenagem insuficiente e sulcos nos taludes	31% de 0,32
Movimentação do Maciço	0,09	I ₃ – Comprimento	14% de 0,09
		I ₅ – Tipo de Fundação	29% de 0,09
		E ₁ – Idade	21% de 0,09
		D _{2,5} – Pequenos abatimentos da crista	36% de 0,09
Erosão Superficial	0,10	I ₃ – Comprimento	14% de 0,10
		I ₄ – Tipo de Material	21,5% de 0,10
		E ₁ – Idade	14% de 0,10
		D _{2,9} – Falhas nas proteções – drenagem insuficiente e sulcos nos taludes	21,5% de 0,10
		D _{2,10} – Depressão no rip-rap, escorregamentos – sulcos profundos de erosão, vegetação	29% de 0,10

A **Tabela 7.17** ilustra as probabilidades condicionadas dos atributos.

Tabela 7.17. Probabilidades condicionadas dos atributos.

Modo de Falha (MF)	Atributo (A)	Probabilidade Associada ao A
Galgamento	I ₁ - Altura	0,05
	I ₂ - Volume	0,10
	I ₆ - Tipo de Vertedor	0,12
	D ₁ - TR órgãos de descarga	0,10
	D _{2,1} - Estruturas vertedoras insatisfatórias	0,12
Piping	I ₃ - Comprimento	0,03
	I ₅ - Tipo de Fundação	0,07
	E ₁ - Idade	0,05
	D _{2,2} - Sinal de umedecimento nas áreas de taludes ou ombreiras	0,07
	D _{2,9} - Falhas nas proteções - drenagem insuficiente e sulcos nos taludes	0,10
Movimentação do Maciço	I ₃ - Comprimento	0,01
	I ₅ - Tipo de Fundação	0,03
	E ₁ - Idade	0,02
	D _{2,5} - Pequenos abatimentos da crista	0,03
Erosão Superficial	I ₃ - Comprimento	0,01
	I ₄ - Tipo de Material	0,02
	E ₁ - Idade	0,01
	D _{2,9} - Falhas nas proteções - drenagem insuficiente e sulcos nos taludes	0,02
	D _{2,10} - Depressão no rip-rap, escorregamentos - sulcos profundos de erosão, vegetação	0,03

Uma vez estipuladas as probabilidades condicionadas, deve-se calcular a importância relativa de cada condição física, dada pela seguinte expressão: $RI_j = P[C_j | M_i] * P[M_i | F] * I_{barragem}$. A **Tabela 7.18**, a seguir traz os resultados do RI_j.

Tabela 7.18. Resultado do RI_j para os barramentos em estudo.

Subcritério	Altura		Volume		Comprimento				Material		Fundação			Vertedor		Idade				TR Órgão de Descarga		Condições Gerais												Resumo	I _{barragem}	Rij
ID Barragem	PI 1	PM F1	PI 2	PM F1	PI 3	PM F2	PM F3	PM F4	PI 4	PM F4	PI 5	PM F2	PM F3	PI6	PM F1	PE 1	PM F2	PM F3	PM F4	PD 1	PM F1	PD 2,1	PM F1	PD 2,2	PM F2	PD 2,5	PM F3	PD 2,9	PM F2	PM F4	PD2, 10	PM F4				
1	0,00	0,05	0,06	0,10	0,00	0,03	0,01	0,01	0,07	0,02	0,14	0,07	0,03	4,50E-04	0,16	0,68	0,05	0,02	0,01	0,02	0,10	0,00	0,12	0,07	0,00	0,00	0,03	0,00	0,10	0,02	0,00	0,03	0,09	1.608,75	150,86	
2	0,11	0,05	0,13	0,10	0,00	0,03	0,01	0,01	0,07	0,02	0,14	0,07	0,03	3,00E-09	0,185	0,05	0,02	0,00	0,01	0,20	0,00	0,02	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,10	0,02	0,00	0,03	0,14	1.020,94	140,41		
3	0,00	0,05	0,18	0,10	0,00	0,03	0,01	0,01	0,07	0,02	0,14	0,07	0,03	4,50E-07	0,185	0,05	0,02	0,00	0,01	0,20	0,00	0,12	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,10	0,02	0,00	0,03	0,14	2.193,13	304,57		
4	0,00	0,05	0,26	0,10	0,00	0,03	0,01	0,01	0,07	0,02	0,67	0,07	0,03	3,00E-09	0,185	0,05	0,02	0,00	0,01	0,20	0,00	0,12	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,10	0,02	0,00	0,03	0,20	1.361,25	270,72		
5	0,11	0,05	0,29	0,10	0,00	0,03	0,01	0,01	0,07	0,02	0,67	0,07	0,03	3,00E-09	0,185	0,05	0,02	0,00	0,01	0,20	0,00	0,12	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,10	0,02	0,00	0,03	0,21	1.361,25	282,12		
6	0,00	0,05	0,31	0,10	0,00	0,03	0,01	0,01	0,07	0,02	0,67	0,07	0,03	3,00E-09	0,105	0,05	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,12	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,10	0,02	0,00	0,03	0,12	25,00	2,98		
7	0,00	0,05	0,33	0,10	0,00	0,03	0,01	0,01	0,07	0,02	0,67	0,07	0,03	3,00E-09	0,185	0,05	0,02	0,00	0,01	0,20	0,00	0,12	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,10	0,02	0,00	0,03	0,21	412,50	84,86		
8	0,01	0,05	0,38	0,10	0,00	0,03	0,01	0,01	0,07	0,02	0,67	0,07	0,03	3,00E-09	0,136	0,05	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,12	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,10	0,02	0,00	0,03	0,15	75,00	11,30		
9	0,00	0,05	0,38	0,10	0,00	0,03	0,01	0,01	0,07	0,02	0,67	0,07	0,03	5,00E-05	0,183	0,05	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,12	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,10	0,02	0,07	0,03	0,20	1.113,75	221,57		
10	0,00	0,05	0,39	0,10	0,00	0,03	0,01	0,01	0,07	0,02	0,67	0,07	0,03	3,00E-09	0,185	0,05	0,02	0,00	0,01	0,10	0,00	0,12	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,10	0,02	0,00	0,03	0,20	1.512,50	304,53		
11	0,00	0,05	0,40	0,10	0,00	0,03	0,01	0,01	0,07	0,02	0,67	0,07	0,03	5,00E-05	0,185	0,05	0,02	0,00	0,01	0,20	0,00	0,12	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,10	0,02	0,00	0,03	0,21	825,00	173,76		
12	0,00	0,05	0,40	0,10	0,00	0,03	0,01	0,01	0,07	0,02	0,67	0,07	0,03	3,00E-09	0,185	0,05	0,02	0,00	0,01	0,10	0,00	0,12	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,10	0,02	0,00	0,03	0,20	825,00	165,89		
13	0,00	0,05	0,40	0,10	0,00	0,03	0,01	0,01	0,07	0,02	0,67	0,07	0,03	3,00E-09	0,185	0,05	0,02	0,00	0,01	0,20	0,00	0,12	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,10	0,02	0,00	0,03	0,21	825,00	173,90		
14	0,11	0,05	0,40	0,10	0,00	0,03	0,01	0,01	0,07	0,02	0,67	0,07	0,03	3,00E-09	0,185	0,05	0,02	0,00	0,01	0,10	0,00	0,12	0,00	0,07	0,06	0,03	0,00	0,10	0,02	0,00	0,03	0,21	1.237,50	259,81		
15	0,00	0,05	0,40	0,10	0,00	0,03	0,01	0,01	0,07	0,02	0,67	0,07	0,03	3,00E-09	0,185	0,05	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,12	0,00	0,07	0,06	0,03	0,06	0,10	0,02	0,00	0,03	0,20	831,88	168,60		
16	0,00	0,05	0,40	0,10	0,00	0,03	0,01	0,01	0,07	0,02	0,14	0,07	0,03	3,00E-09	0,128	0,05	0,02	0,00	0,01	0,20	0,00	0,12	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,10	0,02	0,00	0,03	0,11	1.155,00	129,17		
17	0,00	0,05	0,40	0,10	0,00	0,03	0,01	0,01	0,07	0,02	0,18	0,07	0,03	3,00E-09	0,138	0,05	0,02	0,00	0,01	0,20	0,00	0,12	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,10	0,02	0,00	0,03	0,12	630,00	78,71		
18	0,00	0,05	0,40	0,10	0,00	0,03	0,01	0,01	0,07	0,02	0,67	0,07	0,03	3,00E-09	0,185	0,05	0,02	0,00	0,01	0,02	0,00	0,12	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,10	0,02	0,00	0,03	0,19	1.663,75	320,88		
19	0,00	0,05	0,39	0,10	0,00	0,03	0,01	0,01	0,07	0,02	0,67	0,07	0,03	3,00E-09	0,185	0,05	0,02	0,00	0,01	0,20	0,00	0,12	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,10	0,02	0,00	0,03	0,21	907,50	192,24		
20	0,11	0,05	0,39	0,10	0,00	0,03	0,01	0,01	0,07	0,02	0,67	0,07	0,03	3,00E-09	0,185	0,05	0,02	0,00	0,01	0,20	0,00	0,12	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,10	0,02	0,00	0,03	0,22	1.663,75	359,00		
21	0,00	0,05	0,39	0,10	0,00	0,03	0,01	0,01	0,07	0,02	0,67	0,07	0,03	3,00E-09	0,185	0,05	0,02	0,00	0,01	0,10	0,00	0,12	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,10	0,02	0,00	0,03	0,20	907,50	181,69		
22	0,00	0,05	0,36	0,10	0,00	0,03	0,01	0,01	0,07	0,02	0,67	0,07	0,03	3,00E-09	0,185	0,05	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,12	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,10	0,02	0,00	0,03	0,19	907,50	171,14		
23	0,00	0,05	0,36	0,10	0,00	0,03	0,01	0,01	0,07	0,02	0,67	0,07	0,03	3,00E-09	0,185	0,05	0,02	0,00	0,01	0,02	0,00	0,12	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,10	0,02	0,00	0,03	0,19	1.815,00	342,92		
24	0,00	0,05	0,35	0,10	0,00	0,03	0,01	0,01	0,07	0,02	0,67	0,07	0,03	3,00E-09	0,185	0,05	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,12	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,10	0,02	0,00	0,03	0,19	907,50	169,97		
25	0,00	0,05	0,34	0,10	0,00	0,03	0,01	0,01	0,07	0,02	0,67	0,07	0,03	3,00E-09	0,185	0,05	0,02	0,00	0,01	0,20	0,00	0,12	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,10	0,02	0,00	0,03	0,21	1.815,00	372,74		
26	0,02	0,05	0,34	0,10	0,00	0,03	0,01	0,01	0,07	0,02	0,67	0,07	0,03	5,00E-05	0,185	0,05	0,02	0,00	0,01	0,20	0,00	0,12	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,10	0,02	0,00	0,03	0,21	907,50	188,01		
27	0,00	0,05	0,33	0,10	0,00	0,03	0,01	0,01	0,07	0,02	0,67	0,07	0,03	5,00E-05	0,185	0,05	0,02	0,00	0,01	0,20	0,00	0,12	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,10	0,02	0,00	0,03	0,20	1.815,00	370,29		
28	0,00	0,05	0,32	0,10	0,00	0,03	0,01	0,01	0,07	0,02	0,67	0,07	0,03	5,00E-05	0,185	0,05	0,02	0,00	0,01	0,20	0,00	0,12	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,10	0,02	0,00	0,03	0,20	990,00	200,86		

A contribuição de cada fator probabilístico, em porcentagem, considerado encontra-se na **Tabela 7.19**, a seguir.

Tabela 7.19. Porcentual de contribuição de cada fator probabilístico do RIC.

ID Barragem	I1	I2	I3	I4	I5	I6	E1	D1	D2
1	0,00	6,04	0,12	17,57	15,20	0,06	58,92	2,09	0,00
2	4,07	9,05	0,08	11,98	10,37	0,00	50,20	14,25	0,00
3	0,00	12,90	0,08	11,86	10,27	0,00	49,71	14,11	1,06
4	0,00	12,93	0,04	8,28	33,44	0,00	34,72	9,86	0,74
5	2,70	13,73	0,05	7,95	32,09	0,00	33,31	9,46	0,71
6	0,00	25,76	0,05	13,83	55,82	0,00	3,14	0,16	1,23
7	0,01	15,79	0,06	8,01	32,33	0,00	33,56	9,53	0,71
8	0,34	24,47	0,06	10,94	44,16	0,00	19,39	0,65	0,00
9	0,00	18,83	0,05	8,28	33,43	0,00	33,66	0,10	5,64
10	0,00	18,85	0,05	8,18	33,03	0,00	34,29	4,87	0,73
11	0,01	18,44	0,07	7,82	31,57	0,00	32,78	9,31	0,00
12	0,09	19,39	0,05	8,19	33,07	0,00	34,33	4,87	0,00
13	0,00	18,54	0,05	7,82	31,55	0,00	32,75	9,30	0,00
14	2,67	18,62	0,04	7,85	31,67	0,00	32,88	4,67	1,60
15	0,00	19,29	0,05	8,13	32,81	0,00	34,06	0,48	5,17
16	0,00	34,93	0,09	14,73	12,75	0,00	19,97	17,53	0,00
17	0,00	31,20	0,07	13,19	13,96	0,00	24,71	15,69	1,18
18	0,00	20,10	0,06	8,54	34,48	0,00	35,80	1,02	0,00
19	0,01	18,23	0,05	7,78	31,39	0,00	32,59	9,25	0,69
20	2,60	17,82	0,05	7,64	30,82	0,00	32,00	9,08	0,00
21	0,00	19,12	0,06	8,23	33,22	0,00	34,48	4,89	0,00
22	0,00	18,83	0,04	8,74	35,26	0,00	36,61	0,52	0,00
23	0,00	18,45	0,05	8,72	35,20	0,00	36,54	1,04	0,00
24	0,00	18,28	0,04	8,80	35,50	0,00	36,86	0,52	0,00
25	0,01	16,36	0,06	8,02	32,38	0,00	33,62	9,54	0,00
26	0,49	15,91	0,06	7,95	32,10	0,00	33,32	9,46	0,71
27	0,01	15,85	0,02	8,08	32,60	0,00	33,84	9,61	0,00
28	0,01	15,34	0,06	8,12	32,78	0,00	34,03	9,66	0,00
Média	0,47	18,32	0,06	9,47	30,47	0,00	33,65	6,84	0,72

A seguir, deve-se calcular as condições de funcionamento CF_j de cada estrutura em estudo. Para tal, deve-se valorar 9 indicadores, os quais são: condição da capacidade do vertedor, perda de borda livre, perda da funcionalidade da descarga de fundo, presença de erosão no vertedor, perda de material da superfície de proteção do maciço, *piping* no maciço, *piping* na fundação, movimentação do maciço e movimentação do maciço e fundação.

As seguintes condições foram verificadas na ocasião da inspeção de segurança realizada nas estruturas em estudo e constam na **Tabela 7.20**.

Tabela 7.20. Condições gerais observadas nos barramentos em estudo.

ID	Condições de Funcionamento (CF _j)								
	Condição Capacidade Vertedor	Borda Livre ²	Funcionalidade Descarga Fundo	Erosão Vertedor	Proteção Maciço	Piping Maciço	Piping fundação	Movimentação Maciço	Movimentação Maciço e Fundação
1	OK	33%	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
2	OK	ND	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
3	OK	33%	Suspeita de obstrução	OK	OK	OK	OK	OK	OK
4	OK	33%	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
5	OK	ND	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
6	OK	43%	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
7	OK	ND	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
8	OK	13%	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
9	OK	50%	OK	OK	Depressão rip-rap	Taludes e ombreiras	OK	Escorregamento talude jusante, erosão	OK
10	OK	13%	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
11	OK	ND	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
12	OK	10%	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
13	OK	ND	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
14	Vegetação	ND	OK	Muita	OK	OK	OK	Pequenos abatimentos na crista	OK
15	OK	25%	OK	OK	Falha na drenagem	OK	OK	Sulcos nos taludes	OK
16	OK	17%	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
17	OK	ND	OK	Moderada	OK	OK	OK	OK	OK
18	OK	67%	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
19	OK	20%	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
20	OK	ND	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
21	OK	27%	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
22	OK	50%	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
23	OK	50%	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
24	OK	29%	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
25	OK	20%	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
26	OK	17%	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
27	OK	20%	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
28	OK	ND	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

² Para realizar o cálculo da perda de borda livre, considerou-se a revanche e dividiu-se pela altura do barramento.

A partir dos dados que constam na **Tabela 7.20**, notas foram atribuídas a cada condição de funcionalidade, de acordo com o estipulado nas **Tabelas 5.24 a 5.32**, presentes no Capítulo 5. Os resultados constam na **Tabela 7.21** Condições de funcionamento CF_j dos barramentos em estudo.

Tabela 7.21. Condições de funcionamento CF_j dos barramentos em estudo.

ID Barragem	Condições de Funcionamento (CF _j)								
	Condição Capacidade Vertedor	Borda Livre	Funcionalidade Descarga Fundo	Erosão Vertedor	Proteção Maciço	Piping Maciço	Piping fundação	Movimentação Maciço	Movimentação Maciço e Fundação
1	10	4	10	10	10	10	10	10	10
2	10	0	10	10	10	10	10	10	10
3	10	4	7	10	10	10	10	10	10
4	10	4	10	10	10	10	10	10	10
5	10	0	10	10	10	10	10	10	10
6	10	3	10	10	10	10	10	10	10
7	10	0	10	10	10	10	10	10	10
8	10	6	10	10	10	10	10	10	10
9	10	2	10	10	4	4	10	5	10
10	10	6	10	10	10	10	10	10	10
11	10	0	10	10	10	10	10	10	10
12	10	7	10	10	10	10	10	10	10
13	10	0	10	10	10	10	10	10	10
14	4	0	10	3	10	10	10	7	10
15	10	4,5	10	10	10	4	10	2	10
16	10	5,5	10	10	10	10	10	10	10
17	10	0	10	6	10	10	10	10	10
18	10	0,5	10	10	10	10	10	10	10
19	10	5	10	10	10	10	10	10	10
20	10	0	10	10	10	10	10	10	10
21	10	4	10	10	10	10	10	10	10
22	10	2	10	10	10	10	10	10	10
23	10	2	10	10	10	10	10	10	10
24	10	4	10	10	10	10	10	10	10
25	10	5	10	10	10	10	10	10	10
26	10	5,5	10	10	10	10	10	10	10
27	10	5	10	10	10	10	10	10	10
28	10	0	10	10	10	10	10	10	10

Após a atribuição das notas correspondentes as condições de segurança encontradas nas estruturas em estudo deve-se calcular a média das notas encontradas para chegar ao valor das CF_j dos barramentos. Por fim, calcula-se o RIC que é dado pela expressão:

$$RIC_j = RI_j * \frac{(10 - CF_j)}{10}$$

A **Tabela 7.22** traz os resultados da CF, RI e RIC, para os barramentos em estudo.

Tabela 7.22. Resultados do RIC.

Rank	ID Barragem	RI	CF	RIC
1	14	259,81	7,11	75,06
2	9	221,57	7,22	61,55
3	20	359,00	8,89	39,89
4	15	168,60	7,83	36,53
5	18	320,88	8,94	33,87
6	5	282,12	8,89	31,35
7	23	342,92	9,11	30,48
8	3	304,57	9,00	30,46
9	28	200,86	8,89	22,32
10	25	372,74	9,44	20,71
11	27	370,29	9,44	20,57
12	13	173,90	8,89	19,32
13	11	173,76	8,89	19,31
14	4	270,72	9,33	18,05
15	2	140,41	8,89	15,60
16	22	171,14	9,11	15,21
17	10	304,53	9,56	13,53
18	17	78,71	8,44	12,24
19	21	181,69	9,33	12,11
20	24	169,97	9,33	11,33
21	19	192,24	9,44	10,68
22	1	150,86	9,33	10,06
23	7	84,86	8,89	9,43
24	26	188,01	9,50	9,40
25	16	129,17	9,50	6,46
26	12	165,89	9,67	5,53
27	8	11,30	9,56	0,50
28	6	2,98	9,22	0,23

De acordo com os resultados do RIC, que constam na **Tabela 7.22**, as cinco barragens que estão oferecendo maior risco são, nesta ordem: 14, 9, 20, 15 e 18 e as que estão oferecendo menos risco são, respectivamente: 6, 8, 12, 16 e 26.

A barragem 14 obteve este resultado uma vez que os fatores de ponderação tipo, idade, adequação dos órgãos de descarga e instabilidade do maciço foram considerados críticos. Estes mesmos fatores contribuíram com a mesma intensidade para praticamente todas as 28 barragens em estudo.

Quanto a parte probabilística do método, cálculo do RI_j , sem considerar o fator inventário da barragem por já ter sido computado pelos fatores acima listados, tem-se que a combinação dos fatores, apresentada na **Tabela 7.19**, que mais contribuíram para a

criticidade da estrutura foram: E₁ Idade (32,88%), I₅ Tipo de Fundação (31,67%) e I₂ Volume do Reservatório (18,62%). Na média geral, os fatores probabilísticos que mais contribuíram para a condição de criticidade das barragens foram: E₁ Idade (33,65%), I₅ Tipo de Fundação (30,47%), I₂ Volume do Reservatório (18,62%), I₄ Tipo de Material (9,47%) e D₁ TR dos órgãos de descarga (6,84%).

Na parte final, ou seja, na determinação das condições de funcionalidade, os fatores que mais contribuíram para o mau resultado da barragem 14 foram as condições do vertedor (4), perda de borda livre (0) e erosão no vertedor (3).

7.1.3) Aplicação de uma Metodologia *Ad Hoc* nos Barramentos em Estudo – Abordagem Tradicional de Avaliação de Segurança de Barragens

Em 2005, o Comitê do PCJ encomendou o estudo denominado de “Cadastramento e Avaliação de Barramentos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ)”. O relatório final foi emitido em 11 de agosto de 2005, com o cadastramento de aproximadamente 300 barramentos localizados nas bacias do PCJ, EGC-TUV/FCTH (2005).

A metodologia empregada é da família das abordagens tradicionais de segurança. O projeto foi realizado a partir do cumprimento de 5 etapas distintas, a saber:

- ◆ Levantamentos Preliminares: avaliação da documentação das barragens existentes e levantamento da cartografia atualizada para identificar e localizar tais barramentos (cartas em escala 1:50.000);
- ◆ Caracterização dos Problemas: definição e identificação de sub-bacias críticas e realização de vistorias para reconhecimento das bacias prioritárias e avaliação de vazões de cheia e dimensões mínimas de vertedores das barragens;
- ◆ Levantamentos de Campo: realização de vistorias e cadastramentos dos dados de identificação e de dados geométricos das obras;
- ◆ Simulações: avaliações geotécnicas e hidráulicas e hidrológicas; e
- ◆ Relatório de Diagnóstico: compilação de informações administrativas e caracterização das barragens inspecionadas, contendo fotos, desenhos disponíveis, anomalias detectadas, recomendações para saná-las e eventual complementação da investigação.

Em um estudo posterior realizado pelo FCTH, em que fez-se um levantamento geral dos barramentos existentes no PCJ, descobriu-se que existem cerca de 900 barragens localizadas nesta bacia. Deste modo, a seleção dos 297 barramentos que fizeram parte do estudo EGC-TUV/FCTH 2005 se deu a partir da proximidade a centros urbanos e o encaminhamento das águas, além do tamanho do reservatório. Dos 297 barramentos inicialmente cadastrados, apenas 200 foram escolhidos pelo Comitê de Bacia, contratante dos serviços, como prioritários e, assim, os estudos foram concluídos.

Assim, notas de risco foram dadas para as 200 barragens em análise, levando-se em consideração critérios definidos, isoladamente. As notas atribuídas estão listadas a seguir:

- ◆ Nota mínima: zero – corresponde a um projeto ideal;
- ◆ Limite inferior: três – com riscos desprezíveis e não necessita de reparos/intervenções a curto prazo;
- ◆ Limite inferior: cinco – com riscos médios e necessita de reparos/intervenções a médio prazo;
- ◆ Limite superior: sete - com riscos significativos e necessita de intervenções urgentes;
- ◆ Limite superior: dez – ruptura iminente.

A análise conjunta para a matriz de decisão utilizou os seguintes critérios:

I – Barragens com notas inferiores ou igual a três em todas as áreas: não apresentam riscos imediatos e foram descartadas da análise, classificadas como baixo risco.

II – Barragens com pelo menos uma nota maior ou igual a sete. Por apresentarem altos riscos em pelo menos uma área, foram classificadas como alto risco, com prioridade para a continuação dos estudos e implantação de intervenções. Foram destacadas como críticas as barragens prioritárias para aprofundamento dos estudos.

III – Barragens com todas as notas inferiores a sete. Por não apresentarem alto risco em nenhuma área, foram classificadas com médio risco, com prioridade menor em relação às anteriores (grupo II).

A matriz de decisão considerou as áreas analisadas, atribuindo uma nota adicional relacionada com o risco de perda de vidas em caso de acidentes. Propuseram para a nota risco de vida as seguintes situações:

- ◆ Nota considerando uma estimativa preliminar de subida do nível d'água (NA) em caso de rompimento. Volume acumulado na barragem (até o nível da crista, obtido por fórmula empírica) dividido pela área da várzea entre o eixo da barragem e a cidade ou povoado imediatamente a jusante, estimado pelas cartas topográficas.
- ◆ Nota adicional com base na ocupação populacional da referida cidade ou povoado, estimado pelas imagens de satélite.

A nota final de agravamento de risco foi considerada como a média aritmética das duas notas citadas anteriormente.

Os critérios estipulados para a nota de hidrologia foram os seguintes:

I – Nota Zero: vertedor com capacidade para escoar a vazão de projeto, com nível d'água (NA) $\leq$ a crista e com borda livre adequada.

II – Nota Três: vertedor atende a cheia de projeto definida para a análise, em função da altura do barramento.

III – Nota Sete: passagem da cheia de projeto com altura teórica de 1,0 m acima da crista, talude de jusante protegido.

IV – Nota Dez: no caso da nota ser superior a sete, corresponde a vazão de pico do hidrograma afluente vertendo sobre a crista, com altura de 0,50 m. Nos casos de talude de jusante facilmente erodível a nota é sempre Dez.

Os critérios estipulados para a nota de geotecnia foram os seguintes:

I – Nota Zero: não há evidência visual de surgências de água a jusante da Barragem, tampouco trincamentos no corpo, potenciais escorregamentos dos taludes e ombreiras.

II – Nota Três: existência de fissuramentos, drenagem superficial inadequada, porém sem ainda apresentar sinais de erosões e proteção de taludes de montante e/ou de jusante com pequenas deficiências.

III – Nota Cinco: presença de qualquer uma das evidências listadas a seguir:

- ◆ Constatação de trincamentos transversais eventuais no corpo do barramento;
- ◆ Constatação de eventuais superfícies de rupturas nas ombreiras e ou encostas que não impliquem em perda de segurança ao corpo do barramento;
- ◆ Constatação de surgências de água no talude de jusante do barramento, ou a jusante do barramento, sem carregamento de materiais finos;
- ◆ Possibilidade de ocorrências de erosões nos taludes por drenagem superficial inadequada da crista e talude de jusante;
- ◆ Constatação de deficiências generalizadas nas camadas de proteção dos taludes de montante ou de jusante;
- ◆ Constatação de erosão do talude de jusante da barragem devido ao posicionamento inadequado da bacia de dissipação do vertedor;
- ◆ Existência de pequeno número de formigueiros no talude de jusante e ombreiras.

IV – Nota Sete: presença de qualquer uma das evidências listadas a seguir:

- ◆ Constatação de trincamentos transversais generalizados no corpo do barramento;
- ◆ Constatação de superfícies de rupturas nas ombreiras e ou encostas que impliquem em perda de segurança ao corpo do barramento;
- ◆ Constatação de surgências de água no talude de jusante do barramento, ou a jusante do barramento, com carregamento de materiais finos;
- ◆ Possibilidade de erosões expressivas nos taludes por drenagem superficial inadequada da crista e talude de jusante;
- ◆ Constatação de perda de mais de 30% das camadas de proteção dos taludes de montante ou de jusante;
- ◆ Constatação de expressiva erosão do talude de jusante da barragem devido ao posicionamento inadequado da bacia de dissipação do vertedor;

- ◆ Existência de formigueiros generalizados no talude de jusante e ombreiras e árvores mortas no talude de jusante do barramento.

V - Nota Dez: presença de qualquer uma das evidências listadas a seguir:

- ◆ Existência de sinais de ruptura no talude de jusante da barragem e/ou no contato com as ombreiras com constatações de trincamentos transversais generalizados no corpo da barragem;
- ◆ Existência de surgências expressivas de água no talude de jusante do barramento, ou a jusante do barramento, com grande quantidade de carregamento de materiais finos.

Os critérios estipulados para a nota de agravamento de risco de vida foram os seguintes:

a) Considerando uma estimativa preliminar de subida do NA em caso de rompimento:

- I – Nota Zero: lâmina d'água $< 0,1$ m.
- II – Nota Três: lâmina d'água $\geq 0,1$ m.
- III – Nota Sete: lâmina d'água $\geq 1,0$ m.
- IV – Nota Dez: lâmina d'água $\geq 3,0$ m.

b) Nota adicional com base na população habitante da referida cidade ou povoado:

- I – Nota Zero: densidade populacional muito baixa.
- II – Nota Três: densidade populacional baixa ou ocupação dispersa.
- III – Nota Sete: regiões com média densidade populacional – áreas urbanizadas.
- IV – Nota Dez: regiões com alta densidade populacional – áreas adensadas.

Assim, dentre o universo estudado, ou seja, 200 barramentos, 86% (ou 172 barramentos) puderam ser classificados quanto ao risco, 8,5% (ou 17) tratavam-se de lagoas naturais, 2,5% (ou 5) faltaram dados de campo e portanto não puderam ser avaliadas, em 2,5% dos casos a bacia de contribuição do barramento não pode ser identificada, impossibilitando os cálculos hidrológicos e em 0,5% (ou 1 barragem) a metodologia se

mostrou muito simplificada para avaliar corretamente a complexidade da situação em que a barragem se encontrava envolvida. A **Figura 7.3**, a seguir, ilustra os resultados de classificação de risco para os 172 barramentos:

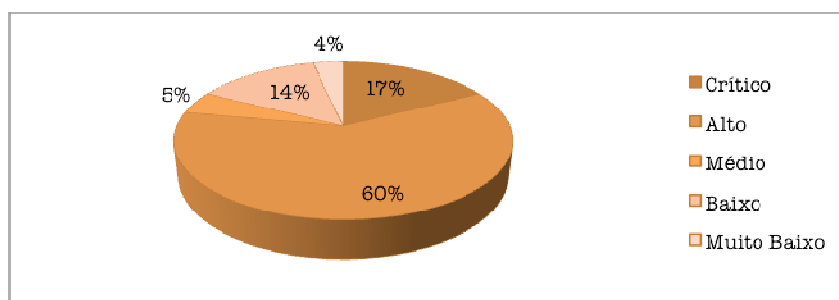


Figura 7.3. Classificação de risco das barragens estudadas na bacia do PCJ. Fonte: EGC-TUV/FCTH (2005).

Deste modo, de acordo com os dados que constam na **Figura 7.3**, a maioria das barragens foram classificadas como de Alto risco (60%), seguidas por risco Crítico (17%), 14% de Baixo risco, 5% de Médio risco e 4% de Muito Baixo risco. As causas que contribuíram para esta classificação estão relacionadas na **Figura 7.4**, a seguir:

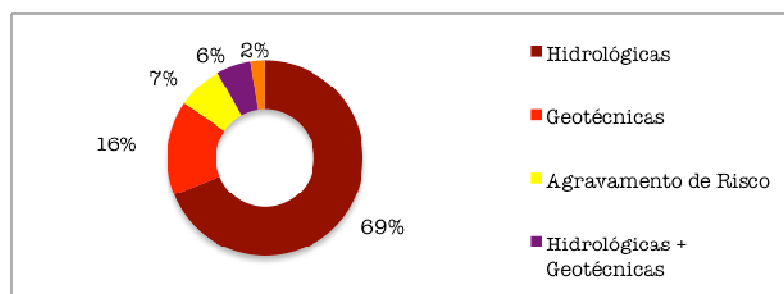


Figura 7.4. Causas da classificação de risco das barragens estudadas no PCJ. Fonte: EGC-TUV/FCTH (2005).

A investigação das causas que levaram as barragens a serem enquadradas nas diferentes “categorias” de risco está na **Tabela 7.22** e na **Figura 7.5**, que trazem os dados referentes à causa da classificação de risco das barragens estudadas na Bacia do PCJ. Vale ressaltar que a **Figura 7.5** ajuda na visualização das mesmas informações, sendo que as siglas usadas na **Tabela 7.22** correspondem à primeira letra das causas de risco.

Tabela 7.23. Causa da classificação de risco das barragens estudadas do PCJ por categoria de risco.

Categoria de Risco	Causa				
	H	G	AR	H+G	H+AR
Crítico	63,3%	6,7%	20,0%	6,7%	3,3%
Alto	87,5%	1,9%	5,8%	1,9%	2,9%
Médio	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Baixo	5,3%	68,4%	0,0%	26,3%	0,0%

Fonte: EGC-TUV/FCTH (2005).

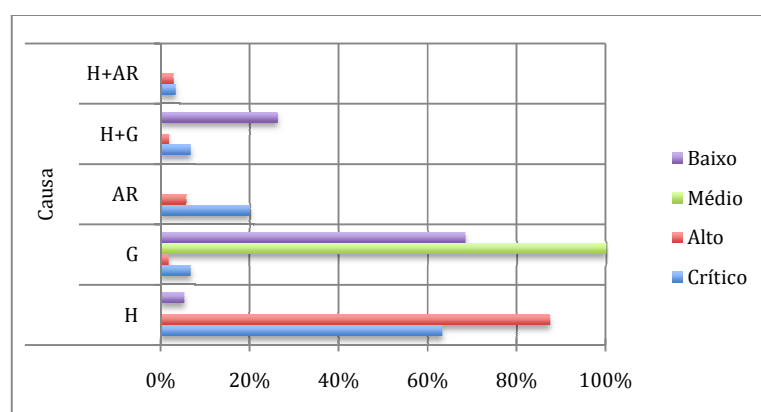


Figura 7.5. Causa da classificação de risco das barragens estudadas do PCJ por categoria de risco. Fonte: EGC-TUV/FCTH (2005).

Deste modo, de acordo com os dados que constam na **Tabela 7.23** e **Figura 7.5**, pode-se afirmar que problemas hidrológicos foram os responsáveis por enquadrar as estruturas em risco Crítico (~64%) e de Alto risco (~88%). Questões geotécnicas foram responsáveis por enquadrar as estruturas em Médio risco (100%) e Baixo risco (~69%). O Agravamento do Risco só foi relevante para barragens que apresentaram problemas hidrológicos, que de acordo com a primeira conclusão apresentada, foram os barramentos classificados como de riscos Crítico e Alto.

Dentre o universo escolhido como estudo de caso para testar e validar a índice IPRB proposto neste estudo, apenas 4 (ou 14,3%) dos 28 barramentos não foram classificados em termos do risco oferecido. A **Tabela 7.24** traz os resultados para os barramentos em estudo e a **Tabela 7.25** traz a classificação de risco a partir dos estudos hidráulicos e hidrológicos realizados.

Tabela 7.24. Risco atribuído entre os barramentos em estudo.

Barragem		Posição no Ranking	Nota de Geotecnia	Nota de Hidrologia	Nota Média de Agravamento de Risco	Classificação de Risco
ID	Código					
05	SG008	3	5	10	8,5	Crítica
02	RC002	21	3	10	6,5	Crítica
03	RC003	22	3	10	6,5	Crítica
23	IR102	23	3	10	6,5	Crítica
09	CH019	28	7	3	8,5	Crítica
01	RC001	40	0	7	10	Alto
04	SG007	41	5	7	5	Alto
12	SP039	42	5	7	5	Alto
20	PC081	43	5	7	5	Alto
27	CD117	44	3	7	7	Alto
22	IR098	55	3	7	6,5	Alto
25	IR104	56	5	10	1,5	Alto
18	PC075	65	0	7	8,5	Alto
24	IR103	70	3	7	5	Alto
16	SP051	77	3	10	1,5	Alto
14	SP048	82	5	7	1,5	Alto
15	SP049	101	5	7	0	Alto
21	PC082	102	5	7	0	Alto
10	CH023	113	3	5	1,5	Alto
26	CD115	122	3	7	0	Alto
06	SG009	136	5	0	0	Médio
08	CH018	143	3	3	0	Baixo
07	SG010	167	Localiza-se ao lado do Rio Santa Gertrudes e possui dimensões pequenas (50 X 40 m) e altura aproximada de 1 m. Assim, não foi realizado o estudo hidrológico.			Muito Baixo
11	SP038	169	Localiza-se ao lado do Córrego Espreado, sem população imediatamente a jusante, possui dois reservatórios de pequenas dimensões (20 x 40 m e 85 X 20 m) e altura da barragem de 2 m. Assim, não foi realizado o estudo hidrológico.			Muito Baixo
13	SP044	170	Não foi possível identificar a bacia de contribuição. Fica na margem direita do Ribeirão Samambaia, está em Perímetro urbano, não apresentando talude de jusante e o coroamento é uma via pública.			-
19	PC076	171	Faltam dados de inspeção de campo, de pequenas dimensões sem a necessidade de cálculos.			-
28	CD129	172	A vazão afluente chega ao reservatório por meio de duas tubulações podendo ser proveniente de derivação. Não foi Possível identificar a bacia de contribuição para realizar os cálculos hidráulico/hidrológico.			-
17	AS059	Não foi escolhida pelo Comitê de Bacia, portanto não foi classificada quanto ao grau de risco.				-

Fonte: EGC-TUV/FCTH, 2005.

Tabela 7.25. TR sugerido a partir dos cálculos hidráulicos/hidrológicos e grau de risco dos barramentos em estudo.

ID Barragem	TR Sugerido ³	Grau de Risco	Observações
1	500	Alto	A capacidade de descarga do extravasor é insuficiente para o período de retorno definido e condição CN-III-80. Para TR=100 anos e CN-III-80, a cota do NA está acima da cota da crista (revanche = 1,0m).
2	100	Muito Alto	A capacidade de descarga do extravasor é insuficiente para o período de retorno definido e condição CN-III-70. Para TR=10 anos e CN-III-70, a cota do NA está acima da cota da crista (revanche = 1,0m).
3	100	Muito Alto	A capacidade de descarga do extravasor é insuficiente para o período de retorno definido e condição CN-III-70. Para TR=10 anos e CN-III-70, a cota do NA está acima da cota da crista (revanche = 1,0m).
4	500	Muito Alto	A capacidade de descarga do extravasor é insuficiente para o período de retorno definido e condição CN-III-72. Para TR=10 anos e CN-III-72, a cota do NA está acima da cota da crista (revanche = 0,5m).
5	500	Muito Alto	A capacidade de descarga do extravasor é insuficiente para o período de retorno definido e condição CN-III-72. Para TR=10 anos e CN-III-72, a cota do NA está acima da cota da crista (revanche = 1,0m).
6	500	Muito Baixo	A capacidade de descarga do extravasor é suficiente para o período de retorno definido e condição CN-III-72. Para TR=500 anos e CN-III-72, a cota do NA está abaixo da cota da crista (revanche = 1,5m).
7	ND	Muito Baixo	Localiza-se ao lado do Rio Santa Gertrudes e possui dimensões pequenas (50 X 40 m) e altura aproximada de 1 m. Assim, não foi realizado o estudo hidrológico.
8	100	Muito Baixo	A capacidade de descarga do extravasor é suficiente para o período de retorno definido e condição CN-III-72. Para TR=100 anos e CN-III-72, a cota do NA está aproximadamente na cota da crista (revanche = 1,0m).
9	500	Muito Baixo	A capacidade de descarga do extravasor é suficiente para o período de retorno definido e condição CN-III-72. Para TR=500 anos e CN-III-72, a cota do NA está pouco abaixo da cota da crista (revanche = 1,0m).
10	100	Alto	A capacidade de descarga do extravasor é insuficiente para o período de retorno definido e condição CN-III-70. Para TR=50 anos e CN-III-70, a cota do NA está pouco acima da cota da crista (revanche = 0,5m).
11	ND	Muito Baixo	Localiza-se ao lado do Córrego Espraiado, sem população imediatamente a jusante, possui dois reservatórios de pequenas dimensões (20 x 40 m e 85 X 20 m) e altura da barragem de 2 m. Assim, não foi realizado o estudo hidrológico
12	100	Alto	A capacidade de descarga do extravasor é insuficiente para o período de retorno definido e condição CN-III-70. Para TR=10 anos e CN-III-70, a cota do NA está aproximadamente na cota da crista (revanche = 0,7m).
13	ND	ND	Não foi Possível identificar a bacia de contribuição. Localiza-se na margem direita do Ribeirão Samambaia e em Perímetro urbano não apresentando talude de jusante; o coroamento é uma via pública.
14	100	Alto	A capacidade de descarga do extravasor é insuficiente para o período de retorno definido e condição CN-III-70. Para TR=50 anos e CN-III-70, a cota do NA está pouco acima da cota da crista (revanche = 1,0m).

Fonte: EGC-TUV/FCTH (2005).

Continua

³ O TR sugerido foi estipulado a partir das condições de ocupação a jusante da barragem.

Tabela 7.25. TR sugerido a partir dos cálculos hidráulicos/hidrológicos e grau de risco dos barramentos em estudo.

ID Barragem	TR Sugerido ⁴	Grau de Risco	Observações
15	100	Muito Baixo	A capacidade de descarga do extravasor é suficiente para o período de retorno definido e condição CN-III-70. Para TR=100 anos e CN-III-70, a cota do NA está aproximadamente na cota da crista (revanche = 0,5m).
16	500	Muito Alto	A capacidade de descarga do extravasor é insuficiente para o período de retorno definido e condição CN-III-70. Para TR=10 anos e CN-III-56, a cota do NA está acima da cota da crista (revanche = 0,5m).
17	ND	ND	Não foi escolhido pelo contratante do estudo como prioritário.
18	500	Alto	A capacidade de descarga do extravasor é insuficiente para o período de retorno definido e condição CN-III-76. Para TR=100 anos e CN-III-76, a cota do NA está pouco acima da cota da crista (revanche = 1,0m).
19	500	Muito Alto	A capacidade de descarga do extravasor é insuficiente para o período de retorno definido e condição CN-III-70. Para TR=10 anos e CN-III-70, a cota do NA está acima da cota da crista (revanche = 1,0m).
20	100	Muito Alto	A capacidade de descarga do extravasor é insuficiente para o período de retorno definido e condição CN-III-76. Para TR=10 anos e CN-III-76, a cota do NA está acima da cota da crista (revanche = 1,0m).
21	100	Alto	A capacidade de descarga do extravasor é insuficiente para o período de retorno definido e condição CN-III-76. Para TR=50 anos e CN-III-76, a cota do NA está acima da cota da crista (revanche = 0,8m).
22	500	Baixo	A capacidade de descarga do extravasor é insuficiente para o período de retorno definido e condição CN-III-70. Para TR=500 anos e CN-III-70, a cota do NA está pouco acima da cota da crista (revanche = 1,5m).
23	500	Alto	A capacidade de descarga do extravasor é insuficiente para o período de retorno definido e condição CN-III-70. Para TR=100 anos e CN-III-70, a cota do NA está acima da cota da crista (revanche = 1,5m).
24	500	Baixo	A capacidade de descarga do extravasor é insuficiente para o período de retorno definido e condição CN-III-70. Para TR=500 anos e CN-III-70, a cota do NA está pouco acima da cota da crista (revanche = 1,5m).
25	500	Muito Alto	A capacidade de descarga do extravasor é insuficiente para o período de retorno definido e condição CN-III-70. Para TR=10 anos e CN-III-70, a cota do NA está acima da cota da crista (revanche = 1,0m).
26	100	Muito Alto	A capacidade de descarga do extravasor é insuficiente para o período de retorno definido e condição CN-III-70. Para TR=10 anos e CN-III-70, a cota do NA está acima da cota da crista (revanche = 1,5m).
27	500	Muito Alto	A capacidade de descarga do extravasor é insuficiente para o período de retorno definido e condição CN-III-72. Para TR=10 anos e CN-III-72, a cota do NA está muito acima da cota da crista (revanche = 1,0m).
28	ND	ND	A vazão afluente chega ao reservatório por meio de duas tubulações, podendo ser proveniente de derivação. Não foi Possível identificar a bacia de contribuição para realizar o cálculo hidráulico/hidrológico.

Fonte: EGC-TUV/FCTH, 2005.

⁴ O TR sugerido foi estipulado a partir das condições de ocupação a jusante da barragem.

A **Figura 7.6**, a seguir, ilustra os resultados de classificação de risco obtidos para os barramentos em estudo.

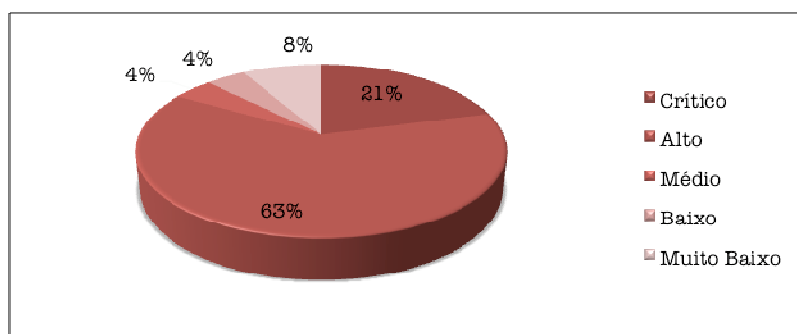


Figura 7.6. Classificação de risco das barragens em estudo. Fonte: EGC-TUV/FCTH (2005).

Assim, de acordo com os resultados, que constam na **Figura 7.6**, a maioria das barragens foram classificadas como de Alto risco (63%), seguidas por risco Crítico (21%), 8% de Muito Baixo risco, 4% de Médio risco e 4% de Baixo risco. As causas que contribuíram para esta classificação estão relacionadas na **Figura 7.7**, a seguir:

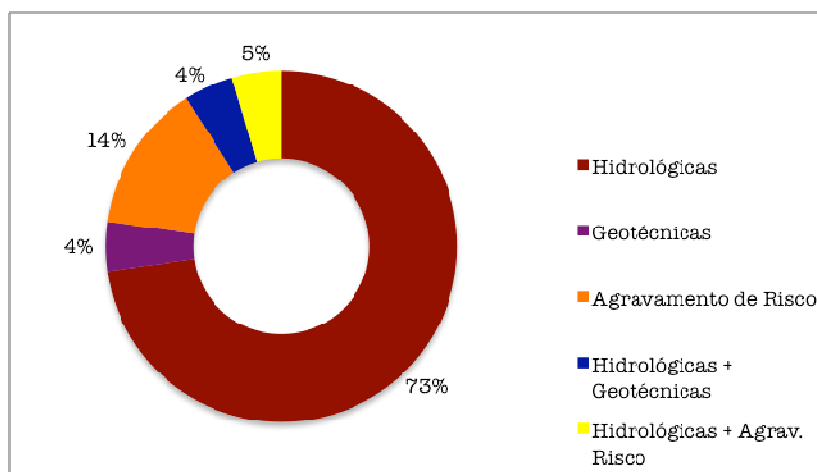


Figura 7.7. Causas da classificação de risco das barragens em estudo. Fonte: EGC-TUV/FCTH (2005).

A investigação das causas que levaram as barragens em estudo a serem enquadradas nas diferentes "categorias" de risco está na **Tabela 7.26** e na **Figura 7.8**, que trazem os resultados, referentes à causa da classificação de risco das barragens em estudo.

Tabela 7.26. Causa da classificação de risco das barragens em estudo por categoria de risco.

Risco	Causa				
	Hidráulico/Hidrológico	Geotécnico	Agravamento do Risco	Hidráulico/Hidrológico + Geotécnico	Hidráulico/Hidrológico + Agravamento do Risco
Crítico	80,0%	0,0%	20,0%	0,0%	0,0%
Alto	80,0%	0,0%	13,3%	0,0%	6,7%
Médio	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Baixo	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%

Fonte: EGC-TUV/FCTH (2005).

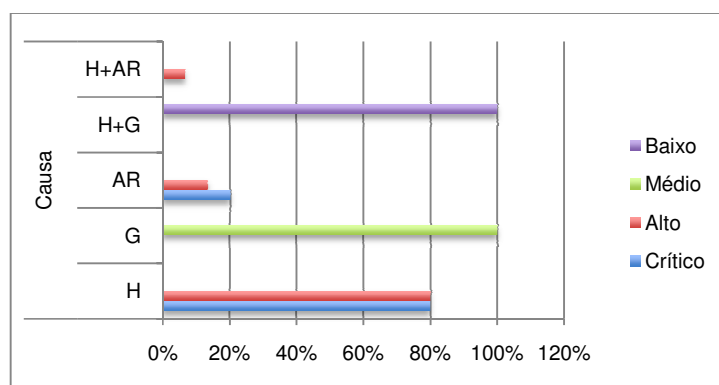


Figura 7.8. Causa da classificação de risco das barragens em estudo por categoria de risco.

Fonte: EGC-TUV/FCTH (2005).

Deste modo, de acordo com os dados que constam na **Tabela 7.25** e **Figura 7.8**, pode-se afirmar que problemas hidrológicos foram os responsáveis por enquadrar as estruturas em estudo em risco Crítico (80%) e de Alto risco (80%). Questões geotécnicas foram responsáveis por enquadrar as estruturas em estudo em Médio risco (100%) e as questões hidrológicas e geotécnicas foram responsáveis por enquadrar as estruturas em um Baixo risco (100%). O Agravamento do Risco só foi relevante para barragens que apresentaram problemas hidrológicos, classificadas como de riscos Crítico (20%) e Alto (~14%).

7.2) Discussão dos Resultados

É importante lembrar que a Análise de Risco fornece um meio para estimar as chances de ocorrência de um dado evento e suas consequências, permite ainda estimar quais serão

os riscos após a realização de melhorias nas barragens. Já a Avaliação de Risco informa quais estruturas deveriam ser melhoradas. Contudo, é uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão, para compreender quais os riscos que dadas estruturas oferecem e os benefícios das opções de melhorias das mesmas (ANCOLD, 2003).

Em um primeiro momento far-se-á premente dissertar sobre as diferenças entre os métodos aplicados, a fim de classificar os 28 barramentos em estudo quanto ao risco oferecido.

A análise probabilística descreve quaisquer processos que possam ser baseados em princípios estatísticos, lida explicitamente com a aleatoriedade e suas variações possíveis e constitui a espinha dorsal das análises de risco. A análise determinística descreve um processo cujos resultados são sempre os mesmos para um determinado conjunto de dados de entrada. O modo determinista de análise não lida com a aleatoriedade, pois seu resultado não varia para um mesmo conjunto de variáveis (ANCOLD, 2003).

Neste sentido, o IPRB é um método probabilístico, o RIC é um método probabilístico-determinístico e o *Ad Hoc* é um método determinístico. Ainda, os dois primeiros – o IPRB e o RIC – fazem parte da família de metodologias de avaliação de risco e o *Ad Hoc* pertence à família das abordagens tradicionais de segurança. Estas considerações aqui apresentadas já foram amplamente discutidas no Capítulo 5.

A metodologia desenvolvida por Andersen *et al* (2001), o RIC, é um índice de risco por se tratar de uma ferramenta que indica os níveis de riscos potenciais, que estão associados às barragens de material solto. Não é uma medida de risco, mas um indicador de risco. Estes riscos são quantificados pelas deficiências no estado físico da barragem, pelos pesos estabelecidos pelos critérios a serem avaliados e os graus de vulnerabilidade potencial da estrutura e seu potencial de dano.

O uso da abordagem empírica depende de um banco de dados existente, o qual pode ser limitado. As estatísticas geradas por esse tipo de abordagem não levam em consideração condições específicas existentes em barragens em estudo (Slunga, 2001).

Vale ressaltar que o IPRB é o único método por índices encontrado que tenta ser puramente probabilístico, não sendo possível comparar diretamente seus resultados com nenhum outro método com a mesma abordagem, mas apenas com um método pertencente

à mesma família. As informações fornecidas pelas abordagens de um Índice de Priorização são valiosas e vem aumentando suas utilizações a fim de priorizar as questões de segurança e investigações de barragens, segundo Bowles (2003), ANCOLD (2003) e CNPGB (2005). Visam, antes de mais nada, enquadrar as estruturas quanto ao risco oferecido.

A **Tabela 7.27** traz a comparação da hierarquização das 28 barragens em estudo, entre os três métodos: IPRB, RIC, *Ad Hoc*, quanto aos riscos oferecidos. Vale ressaltar que, devido as diferenças entre os métodos já elucidada, a aplicação de outros métodos não foram para validar os resultados obtidos pelo IPRB; serviu apenas para a comparação de resultados.

Tabela 7.27. Resultados obtidos pelo IPRB, RIC e *Ad Hoc*.

ID Barragem	IPRB	RIC	<i>Ad Hoc</i>
1	28º	22º	6º
2	26º	15º	2º
3	27º	8º	3º
4	3º	14º	7º
5	1º	6º	1º
6	25º	28º	21º
7	14º	23º	23º
8	22º	27º	22º
9	8º	2º	5º
10	5º	17º	19º
11	13º	13º	24º
12	10º	26º	8º
13	6º	12º	25º
14	15º	1º	16º
15	20º	4º	17º
16	19º	25º	15º
17	21º	18º	28º
18	17º	5º	13º
19	9º	21º	26º
20	4º	3º	9º
21	18º	19º	18º
22	23º	16º	11º
23	11º	7º	4º
24	24º	20º	14º
25	16º	10º	12º
26	12º	24º	20º
27	2º	11º	10º
28	7º	9º	27º

A fim de comparar os resultados obtidos pelos diferentes métodos apresentados na **Tabela 7.27**, optou-se por dividir os resultados por quatro faixa de valores de acordo com a posição no ranking, por se tratarem de metodologias de avaliação de risco que partem de premissas diferentes. Deste modo, a faixa 1 correspondem a valores de hierarquização entre as colocações 1ª e 7ª; a faixa 2 correspondem a valores entre 8ª e 14ª posições; a faixa 3, valores entre 15ª e 21ª posições; e a faixa 4, valores entre 22ª e 28ª posições no ranking. A **Tabela 7.28** apresenta a comparação entre os resultados obtidos pelas diferentes metodologias.

Tabela 7.28. Comparação dos resultados obtidos pelo IPRB, RIC e *Ad Hoc* por faixas de valores.

ID Barragem	Método			Faixa de Valores de Hierarquização			
	IPRB	RIC	Ad Hoc	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 4
				1ª a 7ª	8ª a 14ª	15ª a 21ª	22ª a 28ª
1	X	X					X
2	Resultados divergentes entre os três métodos.						
3	Resultados divergentes entre os três métodos.						
4	X		X	X			
5	X	X	X	X			
6	X	X					X
7		X	X				X
8	X	X	X				X
9		X	X	X			
10		X	X			X	
11	X	X			X		
12	X		X		X		
13	Resultados divergentes entre os três métodos.						
14	X		X			X	
15	X		X			X	
16	X		X			X	
17	X	X				X	
18	Resultados divergentes entre os três métodos.						
19	Resultados divergentes entre os três métodos.						
20	X	X		X			
21	X	X	X			X	
22	Resultados divergentes entre os três métodos.						
23		X	X	X			
24	Resultados divergentes entre os três métodos.						
25		X	X		X		
26	Resultados divergentes entre os três métodos.						
27		X	X		X		
28	Resultados divergentes entre os três métodos.						

Assim, de acordo com os resultados apresentados na **Tabela 7.28**, tem-se: 5 empates (ou 18%) entre o IPRB e RIC – barragens 1, 6, 11, 17 e 20; 5 empates (ou 18%) entre o IPRB e o *Ad Hoc* – barragens 4, 12, 14, 15 e 16; 6 empates (ou 21%) entre o RIC e o *Ad Hoc* – barragens 7, 9, 10, 23, 25 e 27; 3 empates (ou 11%) entre os três métodos – barragens 5, 8 e 21; e 9 (ou 32%) resultados divergentes entre os três métodos – barragens 2, 3, 13, 18, 19, 22, 24, 26 e 28.

Ao analisar os resultados por faixas de hierarquização, tem-se que a Faixa 1 (1ª a 7ª colocações) computa 5 resultados; a Faixa 2 (8ª a 14ª posições), 4 resultados; a Faixa 3 (15ª a 21ª posições), 6 resultados e a Faixa 4 (22ª a 28ª posições), 4 resultados. Ou seja, as distintas metodologias tendem a empatar mais para os barramentos hierarquizados no meio para o fim, havendo maiores discrepâncias justamente entre as barragens que ofertam mais riscos.

Os empates conferidos pelos métodos IPRB e RIC se distribuíram da seguinte maneira: 1 empate para cada uma das Faixas 1, 2 e 3 e 2 empates na Faixa 4. Entre o IPRB e *Ad Hoc* foram computados 1 empate cada uma das Faixas 1 e 2 e 3 empates na Faixa 3. Deste modo, pode-se dizer que os resultados do IPRB tendem empatar mais para as barragens que oferecem menos riscos, dentre o universo de barragens estudadas. Ao considerar os empates entre os métodos RIC e *Ad Hoc*, os empates estão distribuídos da seguinte maneira: 2 empates cada uma das Faixas 1 e 2 e 1 empate cada uma das Faixas 3 e 4. Assim, estes métodos tendem a empatar mais quanto aos resultados de barragens que oferecem mais riscos. E, por fim, ao observar os resultados de empates entre os três métodos, tem-se 1 empate para cada uma das Faixas 1, 3 e 4, ou seja, eles também tendem a resultados parecidos para as barragens de menor risco.

Ao comparar os cinco principais atributos probabilísticos que entram no cômputo dos métodos IPRB e RIC que levaram a estes resultados, considerando-se a média encontrada para os 28 barramentos em estudo, tem-se que:

- ◆ IPRB: I₅ Tipo de Fundação (34,53%), I₂ Volume do Reservatório (20,18%), E₂ Risco Sociológico (17,14%), I₄ Tipo de Material (10,74%) e D₁ TR dos órgãos de descarga (10,67%);
- ◆ RIC: E₁ Idade (33,65%), I₅ Tipo de Fundação (30,47%), I₂ Volume do Reservatório (18,62%), I₄ Tipo de Material (9,47%) e D₁ TR dos órgãos de descarga (6,84%).

Ao observar os resultados apresentados acima, nota-se que eles foram parecidos, o que era de se esperar, uma vez que as únicas diferenças nos respectivos cálculos foram as probabilidades referentes aos modos de falha e o atributo risco sociológico, que não foi computado no RIC. Por outro lado, a conceituação de diferentes possibilidades de modos de falha é parte relevante na identificação dos riscos (Slunga, 2001). Vale lembrar que, as probabilidades relacionadas aos modos de falha diferiram nos dois métodos porque o RIC não leva em consideração a Extrapolação do Risco Aceitável como um modo de falha e, deste modo, teve-se que reescalonar as probabilidades relacionadas aos modos de falha considerados por este método (galgamento, *piping*, erosão externa e movimentação do maciço) entre os respectivos atributos (ver **Tabelas 7.6 e 7.7**).

Acredita-se que a comparação dos atributos que mais contribuíram com riscos fica prejudicada uma vez que os dois métodos partem de critérios e premissas muito distintas. Deste modo, optou-se por apenas comparar a parte probabilísticas dos dois métodos. Aqui, cabe uma crítica ao método RIC, pois ele valora o mesmo subcritério várias vezes durante o cálculo, muito embora partindo de premissas diferentes ($I_{barragem}$, RI_j , CF_j), o que pode gerar confusões na hora da aplicação do método.

Vale, ainda, lembrar que muito embora o método *Ad Hoc* tenha classificado os barramentos quanto ao grau de risco, seus resultados não determinam, de fato, tal “valoração”. Uma vez que para determinar o “grau de risco”, tal como fez o RIC, seria necessário que o método considerasse em algum momento probabilidades combinadas de ocorrência dos atributos considerados. Fica claro que considerou-se o TR dos órgãos de descarga, mais uma combinação de fatores não foram abarcados pelo método, até mesmo por se tratar de uma abordagem tradicional de segurança e não de risco. Deste modo, pensa-se que realmente as barragens foram classificadas quanto ao “grau de periculosidade” ou, mesmo, “grau de criticidade”.

A abordagem tradicional trata a questão dos riscos e incertezas, porém não pode ser considerada como baseada em risco, pois não tem seu arcabouço estruturado na lei matemática da probabilidade. O modelo baseado em risco procura dar segurança ao decisor, propiciando uma compreensão das implicações dos riscos e das incertezas associadas (Bowles, 2003). Nota-se que estas mudanças trarão mais confiança às questões de avaliação da segurança de barragens e uma maior garantia na seguridade dos cidadãos.

Conforme já elucidado, o IPRB é um método semi-probabilístico, baseado em dados sobre barragens que romperam (ICOLD, 1995) e, portanto, seus resultados apresentam um risco baseado em informações de rompimentos registrados ao longo do tempo, ao redor do mundo. Indica uma probabilidade de rompimento, ou seja, medida por um risco métrico, associado à algumas características das barragens. Deste modo, o seu resultado representa um indicador de probabilidade e, assim, um rompimento pode ou não ocorrer.

Pode-se dizer que, infelizmente, a base estatística utilizada para o desenvolvimento do IPRB não pode ser considerada como altamente confiável, pois é antiga e com poucos dados. Mas mesmo assim, os resultados obtidos na sua aplicação não podem ser considerados como um fracasso, pois chegou-se a alguns resultados convergentes com outras metodologias.

Os métodos puramente determinísticos avaliam características peculiares de cada uma das barragens, a fim de determinar suas condições de segurança. Pertencem a família de abordagens tradicionais de segurança, cujo intuito de aplicação é diferente das metodologias de avaliação de risco. Chauhan e Bowles (2001) constataram que a avaliação de risco para barragens está sendo amplamente utilizada para complementar os resultados obtidos pelas abordagens tradicionais de avaliação de segurança.

A implementação de análises de riscos quantitativas encontra sérias dificuldades devido ao caráter singular das barragens e, ainda, está em fase de investigação e consolidação. Já as análises de risco qualitativas e semi-quantitativas, de uma maneira geral, podem ser objeto de aplicação nos casos em que a prática esteja bem estabelecida (CNPGB, 2005).

As abordagens de risco são úteis para seguradoras, a fim de determinar o valor do seguro a ser cobrado, e para priorizar barragens que necessitam de estudos mais aprofundados, conforme amplamente discutido nos capítulos 4 e 5. A análise de risco não visa substituir a abordagem tradicional de avaliação de segurança de barragens, mas o enquadramento das estruturas, visando uma melhora na segurança e nas suas condições de funcionalidade, uma gestão mais eficiente na alocação de recursos e a satisfação de exigências sociais. As avaliações de risco proporcionam uma maneira diferente de enfrentar os problemas e podem e devem contemplar as informações conseguidas a partir das metodologias de abordagem tradicional. Mesmo que existam certas limitações e lidem com

incertezas, as metodologias de risco são boas ferramentas de auxílio à tomada de decisão, pois apontam diretamente para os riscos.

A aplicação do IPRB, por exemplo, seria de grande valia para o Comitê contratante do estudo realizado pela EGC-TUV/FCTH (2005), na ocasião de selecionar quais dos 297 barramentos inicialmente levantados, deveriam ter estudos mais detalhados. Por exemplo, a barragem 17 não foi considerada como prioritária pelo Comitê, mas, de acordo com os resultados do IPRB, foi hierarquizada em 21º lugar e pelo RIC, em 18º. Este resultado deve-se, principalmente, de acordo com os resultados do IPRB apresentado na **Tabela 7.11**, aos subcritérios I_2 Volume do Reservatório (26,46%), E_2 Risco Sociológico (23,12%) e D_1 TR do Órgão de Descarga (18,98%). Assim, ela está oferecendo mais riscos que as barragens 8 (22º lugar), 22 (23º lugar), 24 (24º lugar), 6 (25º lugar), 2 (26º lugar), 3 (27º lugar) e 1 (28º lugar), todas selecionadas como prioritárias.

De modo análogo, não foram realizados estudos hidráulicos-hidrológicos nas barragens 7, 11 e 19, por não ofertarem grandes riscos, devido a suas pequenas dimensões. O IPRB trouxe as seguintes classificações para tais barragens, respectivamente: 14º, 13º e 9º. Parece claro, que justamente por tais cálculos não terem sido efetuados, elas foram “penalizadas” na ocasião de valorar o subcritério D_1 TR dos órgãos de descarga. Porém, este é apenas um dentre os 10 subcritérios de avaliação, e está, respectivamente, contribuindo com 16,50%, 16,24% e 15,91% dos resultados (ver **Tabela 7.11**). Os mesmos barramentos (7, 11 e 19) foram classificados em 23º, 13º e 21º, pelo método RIC. Ou seja, existem barragens com situação menor de risco que elas.

Portanto, observa-se que os resultados obtidos entre as metodologias distintas tendem a ser diferentes. Todavia, apesar das diferenças discutidas, os métodos apresentaram alguma convergência em seus resultados, sendo a mais importante a classificação da barragem que apresenta o maior risco associado, obtida tanto pelo IPRB quanto pelo *Ad Hoc*, a barragem 5.

As avaliações de risco e as abordagens tradicionais de segurança devem ser complementares e não excludentes. A aplicação de ambas é de suma importância para a garantia de barragens realmente seguras. Assim como nas avaliações de segurança tradicionais, as avaliações de risco devem fazer parte de um processo contínuo, periodicamente aplicadas, a fim de manter as estruturas entre níveis aceitáveis de risco. Assim, entre outros benefícios, melhora-se os dados sobre as próprias estruturas, pois a

falta de dados sobre algumas características dos barramentos (idade, altura, entre outras) certamente foi um fator que realmente afetou os resultados finais obtidos pelo IPRB.

A aplicação da avaliação de risco na segurança de barragens é um assunto premente em muitos países e está, ainda, em desenvolvimento. Uma vez que este é um tema de extrema importância, deverá ganhar reconhecimento mundialmente. Mudanças sempre vem acompanhadas por desconforto e resistência, especialmente quando acompanhada por uma mudança significativa de paradigma, como é o caso da avaliação de segurança de barragens baseada em risco.

Avaliações de risco são por índices são valiosas, pois permitem uma avaliação de diferentes aspectos que individualmente informam um possível comprometimento da segurança da barragem e conjuntamente possibilitam um diagnóstico global das condições de segurança da estrutura.

A análise de risco por meio da aplicação do IPRB caracterizou e identificou os modos de falha, fez a definição dos critérios e definiu as funções de valor para cada subcritérios; identificou os riscos (caracterização dos atributos das barragens em estudo, quantificáveis por meio de dados estatísticos diretos) e por fim fez o cálculo do risco estimado.

O uso de um Índice de Priorização, como o IPRB, oferece a vantagem de conseguir uma hierarquização inicial, para as barragens que constam em um mesmo portfólio. Desta forma, permite nortear a ordem das barragens que necessitam de estudos posteriores mais aprofundados ou para ajudar a estabelecer requerimentos de vigilância e monitoramento. Pode-se constatar que é uma ferramenta eficaz, que auxiliará o gerenciamento dos riscos e, deste modo, mostrou-se eficaz e seguindo as recomendações do que deve ser um índice de priorização de risco na análise de segurança de barragens.

8) CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

"Deus está nos pormenores."

Mies van der Rohe

A aplicação da avaliação de risco na segurança de barragens é um assunto de extrema importância e deverá ganhar reconhecimento mundialmente. Mudanças de paradigmas significativas sempre vem acompanhadas por desconforto e resistência, como é o caso de avaliações de segurança de barragens baseada em risco.

O risco pode ser definido como a percepção do perigo, de uma catástrofe possível, de uma crise potencial. A percepção dos riscos é diretamente proporcional ao grau de desenvolvimento social de uma determinada comunidade. A proteção parcial oferecida por barragens proporciona à população uma falsa sensação de segurança, promovendo a ocupação de áreas situadas nas planícies de inundação. Como resultado, os estragos de caráter social, ambiental e econômico podem chegar a grandes proporções quando a avaliação de segurança das estruturas não é realizada periodicamente.

A aplicação de metodologias tradicionais de segurança é fundamental para manter as barragens seguras e é indispensável no gerenciamento da segurança de barragens. Mas, podem não ser muito úteis na ocasião de hierarquizar as estruturas. É sabido que, em avaliações de qualquer tipo, não se deve considerar os resultados obtidos por apenas um método de avaliação, as metodologias tendem a partir de premissas diferentes, mesmo pertencendo a uma mesma família de métodos. Faz-se necessário auferir os resultados, mas o grande problema encontrado é que a avaliação de risco para barragens é uma área pouco explorada do conhecimento, por ser relativamente nova. Assim, não há muitas ferramentas disponíveis para utilização, principalmente índices de priorização.

O Índice de Priorização de Risco IPRB desenvolvido neste trabalho pode ser considerado como uma tentativa original para desenvolver ferramentas de análise de risco, pois é a única que tenta ser probabilística em sua determinação, característica muito desejada nas análises de risco. O IPRB pode ser considerado como uma poderosa ferramenta de auxílio a tomada de decisão, na ocasião de hierarquizar barragens pertencentes a um mesmo estudo. Sua aplicação se mostrou fácil de executar, uma vez definidas as funções de valor probabilísticas.

Na verdade, faz-se possível observar, a partir dos resultados obtidos pelas três metodologias empregadas, que entre o IPRB e RIC houve 5 empates (ou 18%) – barragens 1, 6, 11, 17 e 20; 5 empates (ou 18%) entre o IPRB e o *Ad Hoc* – barragens 4, 12, 14, 15 e 16; 6 empates (ou 21%) entre o RIC e o *Ad Hoc* – barragens 7, 9, 10, 23, 25 e 27; 3 empates (ou 11%) entre os três métodos – barragens 5, 8 e 21; e 9 (ou 32%) resultados divergentes entre os três métodos – barragens 2, 3, 13, 18, 19, 22, 24, 26 e 28. Ou seja, observou-se uma maior quantidade de divergências entre os resultados obtidos pelos métodos, que convergências.

Mesmo assim, a aplicação da metodologia do IPRB em 28 barragens mostrou a sua eficiência para a hierarquização das barragens e demonstrou a facilidade de utilização do método, o que significa um avanço nas questões de segurança de barragens. Os resultados permitem destacar quais são os atributos que requerem intervenção imediata para restituir os níveis de segurança.

Sua aplicação envolve muita subjetividade, fato normal em avaliações de risco, em que a opinião do avaliador é de suma importância. A subjetividade mais pungente é relativa a determinação das distribuições de probabilidades entre os atributos de avaliação e os modos de falha. Este problema pode ser minimizado uma vez que se pondere a opinião de diversos especialistas.

Em análises de risco, é necessário contar com avaliadores de risco com muita experiência em barragens. A opinião do avaliador influencia em muito a acuidade dos resultados. Constatou-se que alguns países obrigam o avaliador de segurança de barragens a prestar um teste sobre o assunto, a fim de comprovar sua capacidade técnica. Por meio do trabalho desenvolvido, destaca-se importante a avaliação dos especialistas para a determinação das probabilidades condicionadas dos atributos referentes aos modos de falha.

Para aprimorar os resultados do IPRB ou de quaisquer outros índices de priorização de risco para barragens, que venham a ser desenvolvidos, puramente probabilísticos, far-se-á necessária a compilação de dados sobre ruptura de barragens e sobre as próprias estruturas, de uma forma sistemática, partindo de um mesmo conjunto de subcritérios relevantes pré-determinados, de preferência ao redor do mundo. Assim, haveria uma base de dados altamente confiável a ser utilizada. Este problema parece ser recorrente em outras áreas da engenharia, tal como a hidrologia, mas menos problemática devido ao tempo que

se lida com este fator, o que possibilitou o desenvolvimento de outras ferramentas para sanar o problema.

No desenvolvimento do algoritmo do IPRB, a determinação do risco sociológico como um subcritério de avaliação e a incorporação da extrapolação do risco aceitável como um modo de falha são novidades benfazejas no assunto. A razão mais premente desta afirmação é que não existe risco sem que haja uma população que o perceba. Assim, parece claro que, mesmo em ferramentas que tendem a simplificar a abordagem do problema, tal como os índices de priorização de risco, por ser justamente o primeiro passo no auxílio a tomada de decisão, tais fatores não podem ser desconsiderados ou considerados *au passant*.

Acredita-se, que a valoração dos acima citados subcritério (risco sociológico) e modo de falha (extrapolação do risco aceitável) tenha sido a parte mais difícil de ser desenvolvida, devido a grande subjetividade envolvida e as dificuldades em associar um risco métrico em fatores geralmente valorados de uma forma semântica. Ainda, foi possível valorar as consequências de um incidente/acidente com a barragem, por meio de um fator atrelado ao uso e ocupação do solo a jusante das barragens. Esta condição é desejável, mas não *si ne qua non* em abordagens de risco por índices de priorização.

O uso de um índice de priorização, como o IPRB, ofereceu a vantagem de conseguir uma hierarquização inicial para barragens que constam em um mesmo portfólio. Desta forma, permite nortear a ordem das barragens que necessitam de estudos posteriores mais aprofundados ou para ajudar a estabelecer requerimentos de vigilância e monitoramento. Constata-se que é uma ferramenta eficaz, que auxiliará o gerenciamento dos riscos, e, assim, mostrou-se eficiente e segue as recomendações do que deve ser um índice de priorização de risco na análise de risco em barragens.

Sugere-se que tais ferramentas sejam utilizadas de uma forma sistemática, a fim de propiciar um inventário robusto sobre as barragens existentes. Ainda, há a necessidade de um aprimoramento da base estatística disponível, com dados atualizados e completos. A opinião de especialistas no assunto, na ocasião de aplicar metodologias de análise de risco por indicadores, é indispensável para auferir resultados precisos e confiáveis.

Indica-se a aplicação do IPRB em barragens localizadas em uma mesma bacia hidrográfica, uma vez que seus resultados fornecerão elementos para a elaboração de Planos de Emergência, justamente por considerar o problema da ruptura de uma barragem

associado à ocupação presente a jusante. O emprego do IPRB auxiliará, também, o fornecimento de novos elementos relativos aos atributos e modos de falha das barragens que farão parte do acervo técnico das mesmas.

As avaliações de risco e as abordagens tradicionais de segurança devem ser complementares e não excludentes. A aplicação de ambas é de suma importância para a garantia de barragens realmente seguras e deve fazer parte de um processo contínuo, periodicamente aplicadas, a fim de manter as estruturas entre níveis aceitáveis de risco.

Faz-se importante que os órgãos governamentais encarregados da fiscalização das barragens colaborem, aprofundando estudos para a estimativa dos atributos e modos de falha das barragens e, assim, aumentar a base de confiança dos resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia proposta neste trabalho.

A nova Lei brasileira de segurança de barragens (Lei nº 168, de 04/03/2010 – ver Anexo B) prevê alguns critérios, tais como: volume do reservatório, estado de conservação (ou condições gerais), potencial de perdas de vidas humanas (ou β_3) e os impactos econômicos (ou β_2), sociais (ou β_1) e ambientais (ou β_3). Critérios estes já previstos no IPRB e citados entre parênteses ao elencar os critérios previstos na Lei. Porém, não se aplica a barragens cuja altura seja menor que 15 metros e o volume de seu reservatório seja inferior a 3.000.000 m³, ou seja, o universo de barragens que o IPRB foi desenvolvido para avaliar suas condições de risco.

Assim, pode-se concluir que o algoritmo do IPRB está em conformidade com a referida Lei, pois contempla todos os atributos de avaliação previstos e, ainda, prevê outros aspectos considerados relevantes na “medição” da segurança de barragens, tais como: idade do barramento, TR dos órgãos de descarga, comprimento da crista, tipo de fundação, tipo de vertedor, entre outros.

O aspecto mais importante da referida Lei, para este estudo, é a criação de um Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens, que, neste caso, é um importante passo na sistematização de informações sobre barramentos no Brasil. É sabido que tais informações, atualmente, são bastante precárias.

Como algumas recomendações sugeridas a fim de aprimorar o presente estudo cita-se a necessidade de melhorar o sistema de atribuição de pesos, ou a probabilidade associada a

cada subcritério de avaliação, fazendo-se uso de alguma metodologia multicriterial que se mostra bastante adequada para a realização de tal tarefa. Como alguns exemplos, cita-se o AHP, MAUT e MacBeth. Para tal, a opinião de diversos especialistas altamente qualificados, entre projetistas, hidráulicos, hidrólogos, geotécnicos, entre outros, deverá ser colhida, sistematizada e levada em consideração.

Ainda, buscar uma base estatística mais recente e confiável para valorar os subcritérios de avaliação, principalmente quanto aos subcritérios I_5 Tipo de Fundação e I_6 Tipo de Vertedor; pois, quanto ao subcritério I_5 , não foi possível encontrar nenhuma base de dados que não se referisse a um risco anual e ao subcritério I_6 dever-se-ia relativizar as informações, pois uma vez que a grande maioria das barragens se encontram em fundação rochosa, justamente por ser mais confiável, a tendência é que o cômputo do risco para este tipo de fundação seja maior, o que não é verdadeiro, mas foi utilizado no cálculo do IPRB, que se baseou em leis estatísticas. Sugere-se também fazer uma análise de sensibilidade dos parâmetros utilizados no cômputo do IPRB, o que já diminuiria o problema da valoração do subcritério I_5 , conforme mencionado.

Como uma possibilidade de aprimoramento da metodologia aqui proposta, cita-se a incorporação da utilização da ferramenta matemática denominada de probabilidade nebulosa (ou *fuzzy*) em seu algoritmo. Acredita-se que, tal fato, poderá propiciar a consideração de um range de probabilidades associadas tanto aos subcritérios quanto aos modos de falha e, ainda, as diferenças de opiniões entre os especialistas, o que poderá desencadear resultados ainda mais precisos, justamente por tentar dirimir as “subjetividades” envolvidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANCOLD (*Australian National Committee on Large Dams*), 2003, ***Guidelines on Risk Assessment***, re-impressão de 2007 com correções, *Australian National Committee on Large Dams Incorporated*, ISBN 0 731 027 620, Austrália.
- ANDERSEN, G. R., CHOUINARD, L. e., HOVER, W. H. e COX, C. W., 2001, ***Risk Indexing Tool to Assist in Prioritizing Improvements to Embankment Dam Inventories***, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, abril, pg. 325-334.
- ANDRADE, J. P. M., 2006, ***Previsão hidrometeorológica visando sistema de alerta antecipado de cheias em bacias urbanas***. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP.
- BANA e COSTA, C. A. e VANSNICK, J. C., 1995, ***General Overview of the MACBETH Approach***, in *Advances in Multicriteria Analysis*, P. M. Pardalos, Y. Siskos, C. Zopounidis (editores), Kluwer Academic Publishers, Book Series: Nonconvex Optimization and its Applications, pp. 93-100.
- EDEN, C., 2004, ***Analyzing cognitive maps to help structure issues or problems***, *European Journal of Operational Research* 159 (2004) 673–686.
- ENGECORPS TUV e FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA (FCTH), 2005, ***Cadastramento e Avaliação de Barramentos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí***, Relatório Final (Minuta).
- ENSSLIN, L., MONTIBELLER NETO, G. e NORONHA, S. M., 2001, ***Apoio à Decisão: metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas***, Editora Insular, Santa Catarina, Brasil, 296 p.
- FIGRJ - Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro, 2003, ***Sistema de Alerta Meteorológico da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro***, Rio de Janeiro – RJ.

- ICOLD – *International Commission on Large Dams*, 1995, ***Dam Failures Statistical Analysis***, Bulletin 99, Imprimerie de Montlignon, França, ISSN 0534-8293, 73 pg.
- ICOLD – *International Commission on Large Dams*, 2005, ***Risk Assessment in Dam Safety Management***, Bulletin 130, Imprimerie de Montlignon, França, ISSN 0534-8293, 276 pg.
- IPA/FURB (2006), Modernização e Ampliação da Rede de Monitoramento Hidrometeorológico da Bacia do Rio Itajaí. Blumenau – SC.
- KEENEY, R. L., 1996, ***Value-focused Thinking: a path to creative decision-making***, Harvard University Press, EUA, 432 pg.
- LAFITTE, R., 1993, ***Probabilistic Risk Analysis of Large Dams: its value and limits***, *International Water Power & Dam Construction*, Volume 45, Número 3, Março, pg.15.
- MARTINS, J. R. S., 2010, in **Entrevista realizada na POLI-USP sobre os sistemas de previsão de cheias no Brasil**.
- MEGHELLA, M.; BUENO, I. E.; ORTUÑO, M. de M. e LOMBILLO, A. S., 2008, ***DAMSE: A European Methodology for the Security Assessment of Dam – Deliverable 3***, V.02.
- MIN - MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2002, **Manual de Segurança de Barragens**, Brasília, DF, Julho.
- NAGHETTINI, M e PINTO, E. J. de A., 2007, **Hidrologia Estatística**, CPRM Serviço Geológico do Brasil, Belo Horizonte, Minas Gerais, Agosto.
- ORTUÑO, M. G. de M.; BUENO, I. E.; PÉREZ, J. G. e GARCÍA, L. A., 2008, ***Aplicación del Análisis de Riesgos a la Seguridad de Presas***, Universidad Politécnica de Valência, Editorial UPV, Espanha.
- SLOVIC, P., 2000, ***Perception of Risk***, in “*The Perception of Risk*”, Editora Earthcan, Londres, Grã-Bretanha, pgs. 220-231.

- THOURET, J. C., 2003, **Avaliação, Prevenção e Gestão dos Riscos Naturais na América Latina**, in "Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente", organizadora: Yvette Veyret tradutor: Dilson Ferreira da Cruz, Editora Contexto, São Paulo, SP, Brasil, pgs 83-112.
- VELTROP, J., 1991, **Water, Dams and Hydropower in Coming Decades**, *International Water Power & Dam Construction* / June.
- VEYRET, Y. e RICHEMOND, N. M. de, 2003, **Definições e Vulnerabilidades do Risco**, in "Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente", organizadora: Yvette Veyret, tradutor: Dilson Ferreira da Cruz, Editora Contexto, São Paulo, SP, Brasil, pgs 25-46.
- VEYRET, Y., 2003, **Introdução**, in "Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente", organizadora: Yvette Veyret tradutor: Dilson Ferreira da Cruz, Editora Contexto, São Paulo, SP, Brasil, pgs 11-21.
- VEYRET, Y. e RICHEMOND, N. M. de, 2003, **O Risco, Os Riscos**, in "Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente", organizadora: Yvette Veyret, tradutor: Dilson Ferreira da Cruz, Editora Contexto, São Paulo, SP, Brasil, pgs 23-24.
- VEYRET, Y., 2003, **Os Riscos nos Países em Desenvolvimento**, in "Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente", organizadora: Yvette Veyret, tradutor: Dilson Ferreira da Cruz, Editora Contexto, São Paulo, SP, Brasil, pgs 81-82.
- VEYRET, Y. e RICHEMOND, N. M. de, 2003, **Os Tipos de Risco**, in "Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente", organizadora: Yvette Veyret, tradutor: Dilson Ferreira da Cruz, Editora Contexto, São Paulo, SP, Brasil, pgs 23-24.
- VEYRET, Y. e RICHEMOND, N. M. de, 2003, **Representação, Gestão e Expressão Espacial do Risco**, in "Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente", organizadora: Yvette Veyret, tradutor: Dilson Ferreira da Cruz, Editora Contexto, São Paulo, SP, Brasil, pgs 47-61.

ZUFFO, M. S. R e GENOVEZ, A. I. B., 2009, **A Segurança de Barragens sob a ótica de algumas legislações internacionais**, in Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande, MS, Brasil.

ZUFFO, M. S. R e GENOVEZ, A. I. B., 2008, ***Dam Safety Legislation: a focus on the different approaches***, in *Proceedings of the 16th IAHR-ADP Congress and 3rd Symposium of IAHR-ISHS, Advances in Water Resources and Hydraulic Engineering*, Nanjing, China.

ZUFFO, M. S. R., 2005, **Metodologia para Avaliação da Segurança de Barragens**, dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP.

ZUFFO, A. C., 1998, **Seleção e Aplicação de Métodos Multicriteriais ao Planejamento Ambiental de Recursos Hídricos**, tese de doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo; pg. 33, 41, 44.

REFERÊNCIAS PESQUISADAS NA REDE

ANA – Agência Nacional de Águas, 2008, **Prevenção e Mitigação de Eventos Hidrológicos Críticos no Âmbito da Comunidade dos Países de Língua Portuguesa – CPLP**, in http://www.ana.gov.br/PortalCPLP/Portals/2/Imagens/2008%20%20%20%20_03_BR_EventosHidrológicosCr%C3%ADticos.pdf, pesquisa realizada em 08 de março de 2010.

ANA – Agência Nacional de Águas, 2010, **Sala de Situação**, in www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/saladesituacao/saladesituacao.aspx, pesquisa realizada em 20 de março de 2010.

BANA e COSTA, C. A. e VANSNICK, J. C., 2005, **M-MACBETH versão 1.1: Manual do Usuário**, in www.m-macbeth.com, pesquisa realizada em 24 de outubro de 2008.

BANA e COSTA, C. A. e VANSNICK, J. C., 2006, ***A Critical Analysis of the Eigenvalue Method used to derive priorities in AHP***, in *European Journal of Operational*

Research, in www.elsevier.com/locate/ejor, pesquisa realizada em 22 de setembro de 2006.

BOWLES, D. S., ANDERSON, L. R., GLOVER, T. F. e CHAUHAN, S. S., 1999, ***Understanding and Managing the Risks of Aging Dams: Principles and Case Studies***, 19th USCOLD Annual Meeting and Lecture, Atlanta, Georgia, EUA, in www.engineering.usu.edu/uwrl/www/faculty/DSB/USCOLD99.pdf, pesquisa realizada em 17/07/2006.

BOWLES, D. S., 2001, ***Evaluation and Use of Risk Estimates in Dam Safety Decisionmaking***, invited paper in the Proceedings of the United Engineering Foundation Conference on Risk-Based Decision-Making in Water Resources IX, 20-Year Retrospective and Prospective of Risk-Based Decision-Making, Santa Bárbara, California, EUA, American Society of Civil Engineers, in www.engineering.usu.edu/uwrl/www/faculty/DSB/evaluation.pdf, pesquisa realizada em 17/07/2006.

BOWLES, D. S., 2003, ***Summary of USSD Emerging Issues White Paper on Dam Safety Risk Assessment: What is it? Who's using it and Why? Where should we be going with it?***, Invited Plenary Session Presentation and Paper Proceedings of the 2003 USSD Annual Lecture, Charleston, Carolina do Sul, EUA, in <http://www.engineering.usu.edu/uwrl/www/faculty/DSB/ussd2003.pdf>, pesquisa realizada em 30/04/2006.

CHAUHAN, S. S. e BOWLES, D. S., 2001, ***Incorporating Uncertainty into Dam Safety Risk Assessment***, Proceedings on Risk Analysis in Dam Safety, at 3rd International Conference on Dam Safety Evaluation, Goa, Índia, in www.engineering.usu.edu/uwrl/www/faculty/DSB/uncertaintypaper.pdf, pesquisa realizada em 30/04/2006.

CNPGB – Comissão Nacional Portuguesa das Grandes Barragens, (2005), Grupo de Trabalho de Análise de Riscos em Barragens, **1º Relatório de Progresso**, in <http://cnpgeb.inag.pt/imagens/relProgJaneiro05.pdf>, 30/04/2006.

HARRALD, J. R., RENDA-TANALI, I., SHAW, G. e YELETAYSI, S., 2005, ***Prioritizing Annual Operations and Maintenance (O&M) General Funding for USACE Dam Projects***

using the Analytic Hierarchy Process, a Report Submitted by the George Washington University Institute for Crisis, Disaster & Risk Management, in www.gwu.edu/~icdrm/publications/USACE_ICDRM_RepFeb18.pdf, pesquisa realizada em 30/04/2006.

HARRALD, J. R., RENDA-TANALI, I., SHAW, G., RUBIN, C. B. e YELETAYSI, S., 2006, ***Review of Risk Based Prioritization/Decision Making Methodologies for Dams***, US Army Corps of Engineers, the George Washington University Institute for Crisis, Disaster & Risk Management, in www.gwu.edu/~icdrm/publications/PDF/ICDRM_USACEApril29.pdf, pesquisa realizada em 24/07/2006.

LIMA, M. V. A. de, LOPES, A. L. M. e DUTRA, A., 2008, ***Contribuição da Metodologia Multicritério de Apoio à Tomada de Decisão no Método do Fluxo de Caixa Descontado Usado para Avaliar Empresas de Pequeno Porte***, XI SIMPOI FGV/EAESP, São Paulo, Brasil, in http://www.simpoi.fgvsp.br/simpoi/arquivo/2008/artigos/E2008_T00360_PCN93208.pdf, pesquisa realizada em 23/10/2008.

MIN – Ministério da Integração Social, 2007, ***Política Nacional de Defesa Civil***, Secretaria Nacional de Defesa Civil, Brasília, DF, Brasil, in http://www.disaster-info.net/PED-Sudamerica/leyes/leyes/suramerica/brasil/sistemnac/Politica_Nacional_Defensa_Civil.pdf, 25/09/2008.

SLUNGA, E., 2001, ***Concept and Bases of Risk Analysis for Dams***, RESCDAM-project, Development of Rescue Actions Based on Dam-Break Flood Analysis, Helsinki University of Technology, Helsinki, Finlândia, in www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=13495&lan=fi, pesquisa realizada em 16/08/2006.

ANEXOS

Anexo A – Dados das Barragens que Romperam (ICOLD, 1995)

ID	País	Nome da Barragem	Tipo		Volume do Reservatório	Altura	Comprimento	Ano		Ruptura
			Barragem	Fundação				Const. r.	Ruptura	Causa Primária
					10 ⁶ m³	(m)	(m)			
1	Algeria	St. Lucien	TE		2	27,0		1861	1862	
2	Algeria	Tabia	TE			25,0		1876	1876	
3	Argentina	Presa Frias	ER	R	0,14	17,7	60,0	1938	1970	2.3.8
4	Austrália	Briseis	ER	R	1	17,0	137,0	1926	1929	2.3.8
5	Austrália	Lake Cawndilla	TE	R	730	12,5	65,8	1961	1962	2.2.13
6	Bolívia	El Salto	TE		0,45	15,0	30,0		1976	2.1.5
7	Brasil	Boa Esperança	TE	S/R	37	17,0	450,0	1976	1977	4.1.2
8	Brasil	Ema	TE		10	18,5	370,0	1932	1940	2.4.12
9	Brasil	Pampulha	TE	S/R	18	18,0	350,0	1941	1954	2.4.12
10	Brasil	Santa Helena	ER	R	250	25,0	250,0	1979	1985	4.1.2
11	Canadá	Battle River	TE	S/R	15	14,0	548,0	1956	1956	2.4.12
12	Canadá	Hinds Lake	TE/ER		7500	12,0	5180,0	1980	1982	2.4.12
13	Canadá	Log Falls			30				1923	
14	Canadá	Scott Falls	PG/ER			15,0	610,0	1921	1923	2.3.8
15	Chile	Embalse Lo Ovalle	TE		13	12,5	1520,0	1932	1985	2.3.7
16	Chile	Lliu-Lliu	TE		3	20,0	550,0	1934	1985	2.3.7
17	Chile	Mena	TE	R	0,06	17,0	200,0	1885	1888	2.4.12
18	China	Banqiao	TE	S/R	492	24,5	2020,0	1956	1970	4.6.2
19	China	Shimantan	TE		92	25,0	500,0	1952	1975	4.5.2
20	Czechoslov v	Bila Desna	TE	S/R	0,4	18,0	244,0	1915	1916	2.2.13
21	Grã Bretanha	Bilberry	TE		0,31	20,0	90,0	1845	1852	2.4.12
22	Grã Bretanha	Blackbrook 1	TE		0,23	28,0	160,0	1797	1799	2.4.10.1
23	Grã Bretanha	Dale Dyke	TE		3,2	29,0	380,0	1863	1864	2.4.10.1
24	Grã Bretanha	Killington	TE		3,5	18,0	250,0	1820	1836	2.6.6
25	Grã Bretanha	Rhodesworth	TE		2,3	21,0	194,0	1855	1852	
26	Índia	Ahraura	TE		61	26,0		1954	1954	2.4.4
27	Índia	Dhanibara	TE		61	20,7		1975	1976	2.3.8
28	Índia	Guddah	TE			28,0		1956	1956	
29	Índia	Kaila	TE	R	14	26,3	213,4	1955	1959	4.6.3
30	Índia	Kedar Nala	TE		17	20,0		1964	1964	2.4.12
31	Índia	Kharagpur	TE		55	24,0		1956	1961	2.3.8
32	Índia	Lower Khajuri	TE		43	16,0		1949	1949	2.4.4
33	Índia	Manivali	TE		4,8	18,4		1975	1976	2.4.12
34	Índia	Nanak Sagar	TE			16,5	19300,0	1962	1967	2.4.12
35	Japão	Heiwaike	TE	R	0,22	22,3	82,5	1949	1951	2.3.8
36	Japão	Irukaike	TE		19	28,0	724,1	1633	1868	2.3.8

ID	País	Nome da Barragem	Tipo		Volume do Reservatório	Altur a (m)	Comprime nto (m)	Ano		Ruptura
			Barrage m	Fundaç ão				Const r.	Ruptu ra	Causa Primária
					10 ⁶ m ³	(m)	(m)			
37	Japão	Ogayarindo Tameike	TE	S	0,16	24,5	98,9	1944	1953	2.3.8
38	Coreia	Hyogiri	TE	R	0,22	15,6	109,5	1940	1961	2.3.4
39	Lesotho	Mafeteng	TE	R		23,0	500,0	1988	1988	2.4.4
40	México	La Laguna	TE	S/R	4,3	16,0	675,0	1912	1969	2.1.5
41	Nigéria	Bagauda	TE		22	20,0	2134,0	1970	1988	2.3.8
42	Paquistão	Bolan	TE/ER	R	90	22,9	533,0	1958	1976	2.3.8
43	Romania	Belci	TE		12	16,0	428,0	1963	1991	2.3.8
44	África do Sul	Blyderivier	TE	R	2,3	21,6	341,0	1924	1922	2.3.8
45	África do Sul	Elandsdrift	TE	S/R	3,3	28,0	600,0	1975	1974	2.3.9
46	África do Sul	Hans Strijdom Coffe	ER	R		18,5	400,0	1980	1977	2.3.10
47	África do Sul	Leeuw Gamka	TE	S	10	15,0	548,0	1920	1928	2.4.10.1
48	África do Sul	Molteno	TE		0,22	15,0	800,0	1881	1882	4.0.1
49	África do Sul	Smartt Syndicate	TE	R	98	28,0	2802,0	1912	1961	2.4.12
50	África do Sul	Spitskop	TE		61	18,0	683,0	1974	1988	
51	África do Sul	Rhodesworth	TE/ER	S/R		24,0	300,0	1974	1972	2.3.10
52	Sri Lanka	Kantale	TE	R	136	26,8	2524,0	1869	1986	2.4.11
53	Suécia	Noppikoski	TE	R	0,7	18,5	175,0	1966	1985	2.3.8
54	USA	Alamo Arroyo site 2	TE	S	6,6	21,0		1960	1960	2.1.5
55	USA	Anaconda	TE	S	0,2	22,0		1898	1938	2.1.4
56	USA	Avalon I	TE/ER			17,5		1893	1893	2.3.8
57	USA	Avalon II	TE/ER			17,5		1893	1904	2.4.12
58	USA	Balsam	TE	R		18,0	91,4	1927	1929	2.4.8
59	USA	Black Rock	TE/ER	R	18	21,3	208,0	1907	1909	2.1.4
60	USA	Castlewood	ER	R	4,3	28,0	183,0	1890	1933	2.4.11
61	USA	Caulk Lake	TE	R	0,7	20,0	134,0	1950	1973	2.4.11
62	USA	Cazadero	ER	R	16	21,3	55,0	1906	1965	4.6.2
63	USA	Chambers Lake I	TE	S/R		15,0	213,4	1885	1891	4.6.1
64	USA	Chambers Lake II	TE	S/R	10	15,0	243,8	1885	1907	4.6.1
65	USA	Cuba	TE		0,49	15,7		1851	1868	
66	USA	Dykstra	ER			15,2			1926	2.3.8
67	USA	Emery	TE	R	0,5	16,0	130,0	1850	1966	2.4.11
68	USA	English Water Supply	TE	R	0,61	15,8	148,0	1965	1965	2.1.5
69	USA	Fred Burr	TE	R	0,63	16,0	99,0	1947	1948	2.4.12

ID	País	Nome da Barragem	Tipo		Volume do Reservatório	Altura	Comprimento	Ano		Ruptura
			Barragem	Fundação				Const. r.	Ruptura	Causa Primária
					10 ⁶ m ³	(m)	(m)			
70	USA	Goose Creek	ER	R		20,0			1900	2.3.8
71	USA	Greenlick	TE/ER	R	0,6	19,0	259,0	1901	1904	2.1.4
72	USA	Hatchtown	TE		15	18,9	237,7	1908	1914	2.4.11
73	USA	Hebron I	TE	S		17,1	1127,8	1913	1914	2.4.12
74	USA	Hebron II	TE	S		17,1	1127,8	1913	1942	2.3.8
75	USA	Hell Hole	ER		2,6	30,0		1966	1964	4.7.1
76	USA	Horse Creek	TE	R	21	16,9	5150,0	1912	1914	2.1.5
77	USA	Jennings Creek 16	ER	R	0,31	16,8	113,4	1960	1964	2.1.5
78	USA	Jennings Creek 3	ER	R	0,43	21,0	92,1	1962	1963	2.1.4
79	USA	Jumbo	TE	R	30	18,3	1219,2	1905	1910	2.1.15
80	USA	Lake Barcroft	TE	R	3,1	21,0	62,5	1913	1972	2.3.8
81	USA	Lake Francis I	TE	R	0,86	15,0	297,3	1899	1899	2.4.12
82	USA	Lake Francis II	TE	R	2,3	24,0	396,0	1901	1935	4.1.5
83	USA	Lake Toxaway	TE	R	13	18,9	117,3	1902	1916	2.1.15
84	USA	Lake Vera	ER	R		15,0	51,0	1880	1905	2.3.8
85	USA	Little Deer Creek	TE	R	1,8	26,0		1962	1963	2.4.12
86	USA	Lookout Shoals	TE		49	24,9	832,0	1915	1916	2.3.8, 4.6.2
87	USA	Lyman	TE	S	43	19,8	256,0	1913	1915	2.4.12
88	USA	Mammoth	TE	R	14	23,0		1916	1917	4.6.4.2
89	USA	McMahon Gulch	TE		0,03	17,0	137,0	1924	1925	2.1.8
90	USA	Mill Creek (California)	TE	R	0,3	20,0	84,0	1889	1957	2.4.16
91	USA	Overholser	ER	R	18	16,5	247,0	1920	1923	2.3.8
92	USA	Qwen	TE		60	17,1	247,0	1915	1914	2.4.16
93	USA	Quail Creek	TE		50	24,0	610,0	1984	1988	2.1.4
94	USA	Schaeffer	TE			30,0	335,0	1911	1921	2.4.10
95	USA	Sepulveda	TE	R		20,0			1914	2.3.8
96	USA	Sheep Creek	TE	S	1,4	18,0	330,0	1969	1970	2.4.16
97	USA	Sinker Creek	TE	R	3,3	21,0	333,0	1919	1943	2.2.13
98	USA	South Fork	TE/ER	R	18	21,9	256,0	1852	1889	2.3.8
99	USA	Stockton Creek	ER		0,5	28,0	100,0	1950	1950	2.4.12
100	USA	Toreson	TE		1,4	15,0	96,0	1898	1953	2.4.16
101	USA	Utica	TE	S		21,0		1873	1902	2.2.12
102	USA	Wagner Creek	TE		0,74	15,0	98,0	1918	1938	4.6.1
103	USA	Wesley E. Scale	TE		374	25,0	1804,0	1958	1965	4.7.4
104	USA	Whitewater Brook Upper	TE		0,52	19,0	137,0	1949	1972	4.6.2
105	USA	Wisconsin Dells	ER	R	25	18,0	79,0	1909	1911	2.3.8
106	URSS	Nizhne Svirskaya	TE	S/R	1190	28,0	1860,0	1934	1935	2.4.13
107	URSS	Sargazonskaya	TE		2,7	23,0	510,0	1980	1987	2.3.8

Anexo B - Lei nº 168, de 04/03/2010

SENADO FEDERAL
SECRETARIA DE COMISSÕES
SERVIÇO DE APOIO ÀS COMISSÕES PERMANENTES
TEXTO FINAL AO PROJETO DE LEI DA CÂMARA Nº 168, DE 2009,
APROVADO EM 04/03/2010.

O CONGRESSO NACIONAL decreta:

CAPÍTULO I
DISPOSIÇÕES GERAIS

Art. 1º Esta Lei estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens – SNISB.

Parágrafo único. Esta Lei aplica-se a barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, que apresentem pelo menos uma das seguintes características:

I – altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15m (quinze metros);

II – capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000m³ (três milhões de metros cúbicos);

III – reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;

IV – categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas, conforme definido no art. 6º.

Art. 2º Para os efeitos desta Lei, são estabelecidas as seguintes definições:

I – barragem: qualquer estrutura em um curso permanente ou temporário de água para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e estruturas associadas;

II – reservatório: acumulação não natural de água, de substâncias líquidas ou de mistura de

líquidos e sólidos;

III – segurança de barragem: condição que vise a manter a sua integridade estrutural e operacional e a preservação da vida, da saúde, da propriedade e do meio ambiente;

IV – empreendedor: agente privado ou governamental, com direito real sobre as terras onde se localizam a barragem e o reservatório ou que explore a barragem para benefício próprio ou da coletividade;

V – órgão fiscalizador: autoridade do poder público responsável pelas ações de fiscalização da segurança da barragem de sua competência;

VI – gestão de risco: ações de caráter normativo, bem como a aplicação de medidas para a prevenção, controle e mitigação de riscos;

VII – dano potencial associado à barragem: dano que pode ocorrer em função do rompimento, vazamento, infiltração no solo ou ser causado por mau funcionamento de uma barragem.

CAPÍTULO II DOS OBJETIVOS

Art. 3º São objetivos da Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB:

I – garantir a observância de padrões de segurança de barragens de maneira a reduzir a possibilidade de acidente e suas consequências;

II – regulamentar as ações de segurança a serem adotadas nas fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação e de usos futuros de barragens em todo o território nacional;

III – promover o monitoramento e acompanhamento das ações de segurança empregadas pelos responsáveis por barragens;

IV – criar condições para que se amplie o universo de controle de barragens pelo poder público com base na fiscalização, orientação e correção das ações de segurança;

V – coligir informações que subsidiem o gerenciamento da segurança de barragens pelos governos;

VI – estabelecer conformidades de natureza técnica que permitam a avaliação da adequação aos parâmetros estabelecidos pelo poder público;

VII – fomentar a cultura de segurança de barragens e gestão de riscos.

CAPÍTULO III

DOS FUNDAMENTOS E DA FISCALIZAÇÃO

Art. 4º São fundamentos da Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB:

I – a segurança de uma barragem deve ser considerada nas suas fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação e de usos futuros;

II – a população deve ser informada e estimulada a participar, direta ou indiretamente, das ações preventivas e emergenciais;

III – o empreendedor é o responsável legal pela segurança da barragem, cabendo-lhe o desenvolvimento de ações para a garantia da segurança dela;

IV – a promoção de mecanismos de participação e controle social;

V – a segurança de uma barragem influi diretamente na sua sustentabilidade e no alcance de seus potenciais efeitos sociais e ambientais.

Art. 5º A fiscalização da segurança de barragens caberá, sem prejuízo das ações fiscalizatórias dos órgãos ambientais integrantes do Sistema Nacional do Meio Ambiente-SISNAMA:

I – à entidade que outorgou o direito de uso dos recursos hídricos, observado o domínio do corpo hídrico, quando o objeto for de acumulação de água, exceto para fins de aproveitamento hidrelétrico;

II – à entidade que concedeu ou autorizou o uso do potencial hidráulico, quando se tratar de uso preponderante para fins de geração hidrelétrica;

III – à entidade outorgante de direitos minerários para fins de disposição final ou temporária de rejeitos, ou a quem a autoridade outorgante delegar;

IV – à entidade que forneceu a licença ambiental de instalação e operação para fins de disposição de resíduos industriais.

CAPÍTULO IV DOS INSTRUMENTOS

Art. 6º São instrumentos da PNSB:

I – o sistema de classificação de barragens por categoria de risco e por dano potencial associado;

II – o Plano de Segurança da Barragem;

III – o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens – SNISB;

IV - o Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente - SINIMA;

V – o Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental;

VI – o Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e/ou Utilizadoras de Recursos Ambientais;

VII – o Relatório de Segurança de Barragens.

Seção I Da Classificação

Art. 7º As barragens serão classificadas pelos agentes fiscalizadores, por categoria de risco, por dano potencial associado e pelo seu volume com base em critérios gerais estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

§ 1º A classificação por categoria de risco em alto, médio ou baixo será feita em função das características técnicas, do estado de conservação do empreendimento e do atendimento do plano de segurança de barragem.

§ 2º A classificação por categoria de dano potencial associado à barragem em alto, médio ou baixo será feita em função do potencial de perdas de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da ruptura da barragem.

Seção II

Do Plano de Segurança da Barragem

Art. 8º O Plano de Segurança da Barragem deve compreender, no mínimo, as seguintes informações:

I – identificação do empreendedor;

II – dados técnicos referentes à implantação do empreendimento, inclusive, no caso de empreendimentos construídos após a promulgação desta Lei, do projeto como construído, bem como aqueles necessários para a operação e manutenção da barragem;

III – estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem;

IV – manuais de procedimentos dos roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento e relatórios de segurança da barragem;

V – regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem;

VI – indicação da área do entorno das instalações e seus respectivos acessos, a serem resguardados de quaisquer usos ou ocupações permanentes, exceto aqueles indispensáveis à manutenção e à operação da barragem;

VII – Plano de Ação de Emergência – PAE, quando exigido;

VIII – relatórios das inspeções de segurança;

IX – revisões periódicas de segurança.

§ 1º A periodicidade de atualização, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento dos planos de segurança deverão ser estabelecidos pelo órgão fiscalizador.

§ 2º As exigências indicadas nas inspeções periódicas de segurança da barragem deverão ser contempladas nas atualizações do Plano de Segurança.

Art. 9º As inspeções de segurança regular e especial terão sua periodicidade, a qualificação da equipe responsável, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento definidos pelo órgão fiscalizador em função da categoria de risco e do dano potencial associado à barragem.

§ 1º A inspeção de segurança regular será efetuada pela própria equipe de segurança da barragem, devendo o relatório resultante estar disponível ao órgão fiscalizador e à sociedade civil.

§ 2º A inspeção de segurança especial será elaborada, conforme orientação do órgão fiscalizador, por equipe multidisciplinar de especialistas, em função da categoria de risco e dano potencial associado da barragem, nas fases de construção, operação e desativação, devendo considerar as alterações das condições a montante e a jusante da barragem.

§ 3º Os relatórios resultantes das inspeções de segurança devem indicar as ações a serem adotadas pelo empreendedor para a manutenção da segurança da barragem.

Art. 10. Deverá ser realizada Revisão Periódica de Segurança de Barragem com o objetivo de verificar o estado geral de segurança da barragem, considerando o atual estado da arte para os critérios de projeto, atualização dos dados hidrológicos e as alterações das condições a montante e a jusante da barragem.

§ 1º A periodicidade, a qualificação técnica da equipe responsável, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento da revisão de segurança periódica serão estabelecidos pelo órgão fiscalizador em função da categoria de risco e do dano potencial associado à barragem.

§ 2º A Revisão Periódica de Segurança da Barragem deve indicar as ações a serem adotadas pelo empreendedor para a manutenção da segurança da barragem, compreendendo, para

tanto:

I – o exame de toda a documentação da barragem, em particular dos relatórios de inspeção;

II – o exame dos procedimentos de manutenção e operação adotados pelo empreendedor;

III – a análise comparativa do desempenho da barragem em relação às revisões efetuadas anteriormente.

Art. 11. O órgão fiscalizador poderá determinar a elaboração de Plano de Ações Emergenciais – PAE em função da categoria de risco e do dano potencial associado à barragem, devendo exigí-lo sempre para a barragem classificada como de dano potencial associado alto.

Art. 12. O PAE estabelecerá as ações a serem executadas pelo empreendedor da barragem em caso de situação de emergência, bem como identificará os agentes a serem notificados dessa ocorrência, devendo contemplar pelo menos:

I – identificação e análise das possíveis situações de emergência;

II – procedimentos para identificação e notificação de mau funcionamento ou condições potenciais de ruptura da barragem;

III – procedimentos preventivos e corretivos a serem adotados em situações de emergência, com indicação do responsável pela ação;

IV – estratégia e meio de divulgação e alerta para as comunidades potencialmente afetadas em situação de emergência.

Parágrafo único. O PAE deve estar disponível no empreendimento e nas prefeituras envolvidas, bem como ser encaminhado às autoridades competentes e aos organismos de defesa civil.

Seção III

Do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens

Art. 13. Fica instituído o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens – SNISB para registro informatizado das condições de segurança de barragens em todo o território nacional.

Parágrafo único. O SNISB compreenderá um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de suas informações, devendo contemplar barragens em construção, em operação e desativadas.

Art. 14. São princípios básicos para o funcionamento do SNISB:

I - descentralização da obtenção e produção de dados e informações;

II - coordenação unificada do sistema;

III - acesso aos dados e informações garantido a toda a sociedade.

Seção IV

Da Educação e da Comunicação

Art. 15. A PNSB deverá estabelecer programa de educação e de comunicação sobre segurança de barragem com o objetivo de conscientizar a sociedade da importância da segurança de barragens, o qual contemplará as seguintes medidas:

I – apoio e promoção de ações descentralizadas para conscientização e desenvolvimento de conhecimento sobre segurança de barragens;

II – elaboração de material didático;

III – manutenção de sistema de divulgação sobre a segurança das barragens sob sua jurisdição;

IV – promoção de parcerias com instituições de ensino, pesquisa e associações técnicas relacionadas à engenharia de barragens e áreas afins;

V – disponibilização anual do relatório de segurança de barragens.

CAPÍTULO V

DAS COMPETÊNCIAS

Art. 16. O órgão fiscalizador, no âmbito de suas atribuições legais, fica obrigado a:

I – manter cadastro das barragens, com identificação dos empreendedores, sob sua jurisdição para fins de incorporação ao SNISB;

II – exigir do empreendedor a anotação de responsabilidade técnica por profissional habilitado pelo Sistema Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia - CONFEA/Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia - CREA dos estudos, planos, projetos, construção, fiscalização e demais relatórios citados nesta Lei;

III – exigir do empreendedor o cumprimento das recomendações contidas nos relatórios de inspeção e revisão periódica de segurança;

IV – articular-se com outros órgãos envolvidos com a implantação e a operação de barragens no âmbito da bacia hidrográfica;

V – exigir do empreendedor o cadastramento e a atualização das informações relativas à barragem no SNISB.

§ 1º O órgão fiscalizador deverá informar imediatamente à ANA e ao Sistema Nacional de Defesa Civil sobre qualquer não conformidade que implique risco imediato à segurança ou acidente ocorrido nas barragens sob sua jurisdição.

§ 2º O órgão fiscalizador deverá implantar o cadastro das barragens a que alude o inciso I no prazo máximo de 2 (dois) anos, a partir da data de publicação desta Lei.

Art. 17. O empreendedor da barragem obriga-se a:

I – prover recursos necessários à garantia da segurança da barragem;

II – providenciar, para novos empreendimentos, a elaboração do projeto final como

construído;

III – organizar e manter em bom estado de conservação as informações e a documentação referentes ao projeto, à construção, à operação, à manutenção, à segurança e, quando couber, à desativação da barragem;

IV – informar ao respectivo órgão fiscalizador qualquer alteração que possa acarretar redução da capacidade de descarga da barragem ou que possa comprometer a sua segurança;

V – manter serviço especializado em segurança de barragem, conforme estabelecido no Plano de Segurança da Barragem;

VI – permitir o acesso irrestrito do órgão fiscalizador e dos órgãos integrantes do Sistema Nacional de Defesa Civil ao local da barragem e à sua documentação de segurança;

VII – providenciar a elaboração e atualização do Plano de Segurança da Barragem, observadas as recomendações das inspeções e revisões periódicas de segurança;

VIII – realizar as inspeções de segurança previstas no art. 9º desta Lei;

IX – elaborar as revisões periódicas de segurança;

X – elaborar o PAE, quando exigido;

XI – manter registros dos níveis dos reservatórios, com a respectiva correspondência em volume armazenado, bem como das características químicas e físicas do fluido armazenado, conforme estabelecido pelo órgão fiscalizador;

XII – manter registros dos níveis de contaminação do solo e do lençol freático na área de influência do reservatório, conforme estabelecido pelo órgão fiscalizador;

XIII – cadastrar e manter atualizadas as informações relativas à barragem no SNISB.

Parágrafo único. Para reservatórios de aproveitamento hidrelétrico, a alteração de que trata o inciso IV também deverá ser informada ao Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS.

CAPÍTULO VI

DISPOSIÇÕES GERAIS E TRANSITÓRIAS

Art. 18. A barragem que não atender aos requisitos de segurança nos termos da legislação pertinente deverá ser recuperada ou desativada pelo seu empreendedor, que deverá comunicar ao órgão fiscalizador as providências adotadas.

§ 1º A recuperação ou desativação da barragem deverá ser objeto de projeto específico.

§ 2º Na eventualidade de omissão ou inação do empreendedor, o órgão fiscalizador poderá tomar medidas com vistas na minimização de riscos e danos potenciais associados à segurança da barragem, devendo os custos desta ação ser ressarcidos pelo empreendedor.

Art. 19. Os empreendedores de barragens enquadradas no parágrafo único do art. 1º desta Lei terão prazo de dois anos, contados a partir de sua publicação, para submeter à aprovação dos órgãos fiscalizadores relatório especificando as ações e o cronograma para a implantação do Plano de Segurança da Barragem.

Parágrafo único. Após o recebimento do relatório de que trata o *caput*, os órgãos fiscalizadores terão prazo de até 1 (um) ano para se pronunciarem.

Art. 20. O *caput* do art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, passa a vigorar acrescido dos seguintes incisos XI, XII e XIII:

“Art. 35

XI – zelar pela implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB;

XII – estabelecer diretrizes para implementação da PNSB, aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens – SNISB;

XIII – apreciar o Relatório de Segurança de Barragens, fazendo, se necessário, recomendações para melhoria da segurança das obras, bem como encaminhá-lo ao Congresso.”

Art. 21. O *caput* do art. 4º da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, passa a vigorar

acrescido dos seguintes incisos XX, XXI e XXII:

“Art. 4º

XX – organizar, implantar e gerir o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens – SNISB;

XXI – promover a articulação entre os órgãos fiscalizadores de barragens;

XXII – coordenar a elaboração do Relatório de Segurança de Barragens e encaminhá-lo, anualmente, ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, de forma consolidada.”(NR)

Art. 22. O descumprimento dos dispositivos desta Lei sujeita os infratores às penalidades estabelecidas na legislação pertinente.

Art. 23. Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação.

Sala da Comissão, 04 de março de 2010.

Senador FERNANDO COLLOR

Presidente