



SERVIÇOS ANALÍTICOS E CONSULTIVOS EM SEGURANÇA DE BARRAGENS



PRODUTO 4

Classificação de Barragens: Avaliação dos Critérios Gerais Atuais, Metodologia Simplificada para Áreas Inundadas a Jusante e Diretrizes para a Classificação.

CONTRATO Nº 051/ANA/2012

RELATÓRIO FINAL

BRASÍLIA - DF

MAIO 2014



O Banco Mundial no Brasil
SCN - Qd. 2, Lt. A, Ed. Corporate Financial Center, 7 andar
Brasília, DF - CEP: 70.712-900
Brasil
Tel.: (+55 61) 3329 1000
Fax: (+55 61) 3329 1010
informacao@worldbank.org

The World Bank
1818 H Street, NW
Washington, DC 20433 USA
tel.: (+1 202) 473-1000
Internet: www.worldbank.org

Email: feedback@worldbank.org

Este relatório é um produto da equipe do Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento/Banco Mundial. As constatações, interpretações e conclusões expressas neste artigo não refletem necessariamente as opiniões dos Diretores Executivos do Banco Mundial nem tampouco dos governos que o representam. O Banco Mundial não garante a exatidão dos dados incluídos neste trabalho. As fronteiras, cores, denominações e outras informações apresentadas em qualquer mapa deste trabalho não indicam qualquer juízo por parte do Banco Mundial a respeito da situação legal de qualquer território ou o endosso ou aceitação de tais fronteiras.

Este relatório foi preparado pelo consultor José Hernández (USACE - Dam Safety Specialist), sob a direção de Erwin De Nys (Especialista Sênior em Recursos Hídricos) e Paula Freitas (Especialista em Recursos Hídricos), com a colaboração e comentários técnicos de Laura Caldeira (agrupamento COBA/LNEC). Gostaríamos de agradecer também aos nossos colegas do Banco Mundial, Inês Persechini, Carla Zardo, Carolina Abreu dos Santos e Vinícius Cruvinel, cujo apoio nos ajudaram a finalizar a edição e divulgação do documento. Esta atividade foi realizada pela Unidade de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (LCSEN) do Departamento de Desenvolvimento Sustentável da América Latina e Caribe do Banco Mundial.

Cópias adicionais podem ser fornecidas por Carolina Abreu (cdossantos@worldbank.org)

Foto da Capa: Açude Marechal Dutra (Gargalheiras) – Rio Grande do Norte
Autor: Marcus Fuckner

Sumário

Índice de Figuras	iii
Lista de Siglas e Abreviaturas	vi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS	2
2.1. Resolução CNRH nº 143/2012	2
2.2. Resolução ANA nº 742/2011.....	7
2.3. Resolução ANA nº 91/2012.....	8
3. AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS DO CNRH PARA A CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS.....	12
3.1. Categorias de Risco (CRI).....	16
3.1.1. Características Técnicas.....	17
3.1.2. Estado de Conservação	20
3.1.3. Plano de Segurança de Barragem	25
3.2. Dano Potencial Associado	28
3.2.1. Volume Total do Reservatório	29
3.2.2. Potencial para a Perda de Vidas Humanas	29
3.2.3. Impacto Ambiental	29
3.2.4. Impacto Socioeconômico	29
4. METODOLOGIA SIMPLIFICADA PARA A ÁREA INUNDADA A JUSANTE	32
4.1. Análises Preliminares do USACE	33
4.1.1. Volume do Reservatório.....	34
4.1.2. Altura da Barragem	36
4.1.3. Comprimento da Barragem	37

4.1.4. Conclusões.....	38
4.2. Análises Adicionais do USACE	39
4.3. Metodologia Simplificada Recomendada.....	44
4.3.1 Passo 1 - Distância Inundada a Jusante	45
4.3.2 Passo 2 – Pico de Vazão no Rompimento da Barragem.....	46
4.3.3 Passo 3 - Atenuação do Pico da Descarga no Rompimento da Barragem.....	49
4.3.4 Passo 4 – Área Inundada a Jusante	50
4.3.5 Passo 5 – Inundação a Jusante	51
5. DIRETRIZES PARA A CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS.....	54
5.1. Categoria de Risco (CRI).....	54
5.1.1. Características Técnicas (CT).....	54
5.1.2. Estado de Conservação (EC).....	56
5.1.3. Plano de Segurança de Barragem (PS).....	56
5.2. Dano Potencial Associado (DPA)	57
5.2.1. Volume	59
5.2.2. Perda de Vidas Humanas	59
5.2.3. Impactos ambientais	59
5.2.4. Impactos socioeconômicos	60
5.2.5. Área Inundada a Jusante	60
5.2.6. Identificação de Danos Potenciais a Jusante	60
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
REFERÊNCIAS	69

Índice de Figuras

Figura 1 - Volume do Reservatório x Distância Inundada a Jusante	35
Figura 2- Volume do Reservatório/Altura da Barragem x Distância Inundada a Jusante	36
Figura 3 - Altura da Barragem x Distância Inundada a Jusante	37
Figura 4 – Comprimento da Barragem x Distância Inundada a Jusante	38
Figura 5 – Capacidade Máxima de Armazenamento/Altura da Barragem x Vazão de Pico do Rompimento	43
Figura 6 – Altura da Barragem x Vazão de Pico do Rompimento	43
Figura 7– Capacidade Máxima de Armazenamento x Vazão de Pico do Rompimento	44
Figura 8 – Picos de Vazão Previstos pela Equação de Froehlich x Vazão de Picos Observados	47
Figura 9– Equação de Froehlich com limites de confiança de 95%	48
Figura 10– Atenuação do Pico de Fluxo pela Distância a Jusante	50
Figura 11 – Relação Profundidade/Velocidade para o Nível de Perigo de Inundação para Casas Construídas Sobre Fundações	63
Figura 12 – Relação Profundidade/Velocidade para o Nível de Perigo de Inundação para Casas Móveis.....	64
Figura 13 – Relação Profundidade/Velocidade para o Nível de Perigo de Inundação para Veículos de Passageiros	65
Figura 14 – Relação Profundidade/Velocidade para o Nível de Perigo de Inundação para Pedestres Adultos	66
Figura 15 – Relação Profundidade/Velocidade para o Nível de Perigo de Inundação para Pedestres Crianças	67

Índice de Tabelas

Tabela 1– Descrição/Ponderação de Critérios de Características Técnicas para Determinar a Categoria de Risco.....	3
Tabela 2 – Descrição/Ponderação de Critérios do Estado de Conservação para Determinar a Categoria de Risco.....	4
Tabela 3 – Descrição/Ponderação de Critérios do Plano de Segurança de Barragem para Determinar a Categoria de Risco.....	5
Tabela 4 – Descrição/Ponderação de Critérios para Determinar Dano Potencial Associado	6
Tabela 5 – Cálculo da Categoria de Risco	7
Tabela 6 - Categoria de Risco	7
Tabela 7 - Dano Potencial Associado.....	7
Tabela 8 - Resultado Final da Avaliação: Categoria de Risco e Dano Potencial Associado	7
Tabela 9 – Periodicidade das Inspeções Regulares Baseada em Categoria de Risco e Dano Potencial.....	8
Tabela 10 - Nível de Perigo Baseado em Resultados das Inspeções Regulares.....	8
Tabela 11 – Matriz de Categoria de Risco e Dano Potencial Associado	9
Tabela 12 – Escopo do Plano de Segurança de Barragens Baseado na Matriz de Categoria de Risco.....	10
Tabela 13 – Periodicidade Mínima das Revisões Periódicas da Segurança de Barragens Baseada na Matriz de Categoria de Risco	10
Tabela 14 – Cronograma com prazos para a elaboração da Revisão Periódica de Segurança de Barragens (RPSB)	11
Tabela 15 – Comparação entre a classificação de uma Barragem pelos critérios do CNRH e MI.....	15
Tabela 16 – Descrição/Ponderação de Critérios Revisados de Características Técnicas para Determinar a Categoria de Risco.....	20
Tabela 17 – Descrição/Ponderação de Critérios Revisados do Estado de Conservação para Determinar a CRI	24
Tabela 18 – Descrição/Ponderação Revisadas de Critérios para o Plano de Segurança de Barragem, para Determinar a CRI.....	27

Tabela 19 – Descrição/Ponderação de Critérios Revisados para Determinar o Dano Potencial Associado	31
Tabela 20 – Classificação das Barragens por Características	40
Tabela 21 – Fatores na Classificação da PeR.....	40
Tabela 22 – Fatores atribuídos aos aspectos Classificação de Barragens por Estado de Conservação, Altura, Volume e Declividade do Leito do Rio.....	41
Tabela 23 – Fatores Atribuídos ao Tipo de Barragem para Classificação	41
Tabela 24 – Escala de Pontuação de Barragens	42
Tabela 25 – Pontuação de Barragens do USACE Comparada com a “DSAC”	42
Tabela 26 – Capacidade de Armazenamento x Distância Total a Jusante	45
Tabela 27 – Capacidade de Armazenamento Recomendada x Distância Total a Jusante	45
Tabela 28 – Características de Atenuação da Propagação da Cheia	49
Tabela 29 – Velocidades Representativas para Estimar a Inundação Causada pelo Rompimento de uma Barragem.....	52

Lista de Siglas e Abreviaturas

ANA – Agência Nacional de Águas
BM – Banco Mundial
CCR – Concreto compactado a rolo
CMP – Cheia Máxima Provável
CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CRI – Categoria de Risco
CT – Características Técnicas
DPA – Dano Potencial Associado
DSAC – Classe de Ações em Segurança de Barragens
DSIET - Equipe de Especialistas Internacionais em Segurança de Barragens
EC – Estado de Conservação
ICOLD – Comissão Internacional de Grandes Barragens
I – Importância
ICT - Equipe de Consultores Individuais
MDE - Modelo Digital de Elevação
MI – Ministério da Integração Nacional
MMC – Mapa, Modelos e Consequências
NPB – Nível de Perigo da Barragem
PAE – Plano de Ação de Emergência
PNSB – Política Nacional de Segurança de Barragens
PdV – Perdas de Vida
PeR – População em Risco
PPV – Prováveis Perdas de Vida
PR – Risco potencial
PS – Plano de Segurança de Barragem
RSB – Relatório de Segurança de Barragens
SNISB – Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens
SRTM - Missão Topográfica Radar Shuttle
TI – Tecnologia da Informação
USACE – Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos
USBR – Bureau of Reclamation dos Estados Unidos
V - Vulnerabilidade
VCP – Vazão de Cheia de Projeto

1. INTRODUÇÃO

1. A Agência Nacional de Águas (ANA) foi incumbida de liderar a implantação da Lei de Segurança de Barragens no Brasil (Lei nº 12.334 de 10 de setembro de 2010). Para tanto, a ANA solicitou a assistência técnica do Banco Mundial (BM) nos seguintes aspectos: (a) marco regulatório para a segurança de barragens por meio da avaliação de normas, regulações, diretrizes e manuais existentes sobre o tema, com a finalidade de propor complementação; (b) assessorar no monitoramento de inspeções e na avaliação de atividades de segurança de barragens, dos relatórios e da comunicação dos resultados às autoridades e à população; (c) conceber o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB); e (d) apoiar a capacitação da ANA e dos outros órgãos envolvidos na gestão e na regulação da segurança de barragens.
2. Este produto faz parte da Assessoria Técnica e foi desenvolvido com o apoio de profissionais do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (USACE). Realiza uma avaliação dos critérios atuais utilizados no Brasil para classificação de barragens, aborda a necessidade de se realizar uma metodologia simplificada para estimar as áreas inundadas a jusante de uma barragem (no caso de vir a ocorrer alguma falha na estrutura) e indica diretrizes para a classificação das barragens no Brasil.
3. Além da Introdução realizada no capítulo 1, esse relatório apresenta no capítulo 2 os critérios do CNRH para classificação das barragens por meio da resolução nº 143/2012 e a resolução da ANA nº 91/2012 que classifica as barragens por categoria de risco e dano potencial associado, além de tratar do detalhamento das revisões periódicas.
4. O capítulo 3 apresenta uma avaliação dos critérios do CNRH para classificação de barragens à luz da experiência nacional e internacional, comentando cada parâmetro e sugerindo alterações. O capítulo 4 apresenta uma discussão sobre metodologias simplificadas para cálculo da área inundada a jusante de uma barragem, no caso de uma falha, e diretrizes gerais para classificação de barragens. Este capítulo apresenta principalmente a experiência da USACE que servirá de base para o desenvolvimento de uma metodologia simplificada que será aplicada as barragens sob a fiscalização da ANA.
5. As diretrizes apresentadas neste relatório para a adoção de uma metodologia simplificada para a classificação de barragens são destinadas a realizar uma abordagem conceitual sobre o assunto. Essa abordagem será ampliada pela Equipe de Especialistas Internacionais em Segurança de Barragens (DSIET) durante no processo de aplicação da metodologia às barragens reguladas pela ANA e será detalhada no produto sobre a classificação de barragens. Portanto, no caso de outras entidades fiscalizadoras de barragens recorrerem à mesma metodologia simplificada utilizada pela ANA, essas entidades devem utilizar o produto específico citado acima.
6. Antes da apresentação das considerações finais no capítulo 6, é realizada uma discussão sobre as diretrizes para classificação de barragens (capítulo 5), abordando a categoria de risco e o dano potencial associado.

2. CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS

7. De acordo com o art. 7º da Lei nº 12.334/2010, as barragens serão classificadas por categoria de risco, por dano potencial associado e pelo seu volume, com base em critérios gerais estabelecidos pelo CNRH. A classificação por categoria de risco alto, médio ou baixo será feita em função das características técnicas, do estado de conservação do empreendimento e do atendimento à documentação sobre a segurança (ou seja, ao Plano de Segurança da Barragem). A classificação do dano potencial associado à barragem em alto, médio ou baixo será feita em função do potencial de perda de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes do rompimento da barragem, além de sua capacidade de armazenamento.

2.1. Resolução CNRH nº 143/2012

8. Em cumprimento ao art. 7º da Lei nº 12.334/2010, o CNRH editou a Resolução nº 143, de 10 de julho de 2012, que estabeleceu os critérios gerais para a classificação de barragens por categoria de risco (CRI) e dano potencial associado (DPA), em função das consequências a jusante e do volume do reservatório.
9. As classificações por CRI (art. 4º e Anexo II dessa Resolução) são determinadas de acordo com os seguintes critérios que podem influenciar na possibilidade de ocorrência de acidente em uma barragem: características técnicas (CT), estado de conservação da barragem (EC) e plano de segurança da barragem (PS). Cada critério se decompõe em vários parâmetros e cada parâmetro se divide em níveis com pesos ponderados. Quanto maior a ponderação de um parâmetro, mais crítico ele será. A CRI se obtém somando os pesos de todos os parâmetros para cada critério, e ao final somando os subtotais dos três critérios. As **Tabelas 1 a 3** apresentam uma descrição dos parâmetros e dos respectivos níveis e ponderações para os critérios da CRI.
10. Por outro lado, as classificações por DPA (arts. 5º e 7º, e Anexo II dessa Resolução) consideram apenas um critério, dividido em quatro parâmetros: volume total do reservatório, potencial para a perda de vidas humanas e impactos ambientais e socioeconômicos. Como no caso da CRI, cada parâmetro se divide em níveis, com pesos ponderados. Novamente, quanto maior a ponderação de um parâmetro, mais crítico ele será. O DPA se calcula somando os pesos de todos os parâmetros. Uma descrição dos parâmetros e das respectivas ponderações para os critérios do DPA são apresentados na **Tabela 4**.
11. A metodologia para definir as áreas afetadas e as consequências a jusante (e a montante também) que podem advir de um rompimento de barragem, para possibilitar a classificação quanto ao DPA, será determinada pelo órgão fiscalizador (art. 3º desta Resolução),
12. O CNRH estabeleceu critérios para a classificação de barragens de acumulação de água (Anexo II dessa Resolução) para qualquer fim, e também para barragens para disposição de resíduos e rejeitos (Anexo I). O escopo deste relatório se limita às barragens de acumulação de água.

13. Uma vez determinada a CRI para uma barragem, usando a **Tabela 5**, a barragem será classificada como de risco alto, médio ou baixo, de acordo com a **Tabela 6**. A mesma barragem, em seguida, é classificada como sendo de dano potencial associado alto, médio ou baixo, de acordo com a **Tabela 7**. A **Tabela 8** apresenta as três classificações para categoria de risco e três para dano potencial associado.

Tabela 1– Descrição/Ponderação de Critérios de Características Técnicas para Determinar a Categoria de Risco

CNRH, Resolução nº 143, 10 de julho de 2012 (Anexo II)

Características Técnicas (CT)					
Altura (a)	Comprimento (b)	Tipo de barragem quanto ao material de construção (c)	Tipo de fundação (d)	Idade da Barragem (e)	Vazão de Projeto (f)
Altura ≤ 15m (0)	Comprimento ≤ 200m (2)	Concreto convencional (1)	Rocha sã (1)	entre 30 e 50 anos (1)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (3)
15m < Altura < 30m (1)	Comprimento > 200m (3)	Alvenaria de pedra / concreto ciclópico / concreto rolado (CCR) (2)	Rocha alterada dura com tratamento (2)	entre 10 e 30 anos (2)	Milenar (5)
30m ≤ Altura ≤ 60m (2)	-	Terra homogênea/ enrocamento/ terra enrocamento (3)	Rocha alterada sem tratamento / rocha alterada fraturada com tratamento (3)	entre 5 e 10 anos (3)	TR = 500 anos (8)
Altura > 60m (3)	-	-	Rocha alterada mole / saprolito / solo compacto (4)	< 5 anos ou > 50 anos ou sem informação (4)	TR < 500 anos ou Desconhecida / Estudo não confiável (10)
-	-	-	Solo residual/ Aluvião (5)	-	-

$$CT = \sum(a \text{ até } f)$$

Tabela 2 – Descrição/Ponderação de Critérios do Estado de Conservação para Determinar a Categoria de Risco
CNRH, Resolução nº 143, 10 de julho de 2012 (Anexo II)

Estados de Conservação - EC					
Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (g)	Confiabilidade das Estruturas de Adução (h)	Percolação (i)	Deformações e Recalques (j)	Deterioração dos Taludes / Parâmetros (k)	Eclusa (l)
Estruturas civis e hidroeletromecânicas em pleno funcionamento / canais de aproximação ou de restituição ou vertedouro (tipo soleira livre) desobstruídos (0)	Estruturas civis e dispositivos hidroeletromecânicos em condições adequadas de manutenção e funcionamento (0)	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem (0)	Inexistente (0)	Inexistente (0)	Não possui eclusa (0)
Estruturas civis e hidroeletromecânicas preparadas para a operação, mas sem fontes de suprimento de energia de emergência / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões ou obstruções, porém sem riscos a estrutura vertente. (4)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação. (4)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, parâmetros, taludes ou ombreiras estabilizadas e/ou monitoradas. (3)	Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo. (1)	Falhas na proteção dos taludes e parâmetros, presença de arbustos de pequena extensão e impacto nulo. (1)	Estruturas civis e hidroeletromecânicas bem mantidas e funcionando. (1)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões e/ou parcialmente obstruídos, com risco de comprometimento da estrutura vertente. (7)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas. (6)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, parâmetros, taludes ou ombreiras sem tratamento ou em fase de diagnóstico. (5)	Existência de trincas e abatimentos de impacto considerável gerando necessidade de estudos adicionais ou monitoramento. (5)	Erosões superficiais, ferragem exposta, crescimento de vegetação generalizada, gerando necessidade de monitoramento ou atuação corretiva. (5)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados e com medidas corretivas em implantação. (2)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidro eletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas/canais ou vertedouro (tipo soleira livre) obstruídos ou com estruturas danificadas. (10)	-	Surgência nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras com carreamento de material ou com vazão crescente. (8)	Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos expressivos, com potencial de comprometimento da segurança. (8)	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança. (7)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados e sem medidas corretivas. (4)

$$EC = \sum (g \text{ até } l)$$

Tabela 3 – Descrição/Ponderação de Critérios do Plano de Segurança de Barragem para Determinar a Categoria de Risco
CNRH, Resolução nº 143, 10 de julho de 2012 (Anexo II)

Plano de Segurança de Barragens - PS				
Existência de documentação de projeto (n)	Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem (o)	Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento (p)	Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem (q)	Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação (r)
Projeto executivo e “como construído” (0)	Possui estrutura organizacional com técnico responsável pela segurança da barragem (0)	Possui e aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (0)	Sim ou Vertedouro tipo soleira livre (0)	Emite regularmente os relatórios (0)
Projeto executivo ou “como construído” (2)	Possui técnico responsável pela segurança da barragem (4)	Possui e aplica apenas procedimentos de inspeção (3)	Não (6)	Emite os relatórios sem periodicidade (3)
Projeto básico (4)	Não possui estrutura organizacional e responsável técnico pela segurança da barragem (8)	Possui e não aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (5)	-	Não emite os relatórios (5)
Anteprojeto ou Projeto conceitual (6)	-	Não possui e não aplica procedimentos para monitoramento e inspeções (6)	-	-
Inexiste documentação do projeto (8)	-	-	-	-

$$PS = \sum (n \text{ até } r)$$

Tabela 4 – Descrição/Ponderação de Critérios para Determinar Dano Potencial Associado

CNRH, Resolução nº 143, 10 de julho de 2012 (Anexo II)

Classificação Quanto ao Dano Potencial Associado – DPA (Acumulação de Água)			
Volume Total do Reservatório (a)	Potencial para a perda de vidas humanas (b)	Impacto Ambiental (c)	Impacto Socioeconômico (d)
Pequeno ≤ 5 milhões m ³ (1)	INEXISTENTE (Não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando na área afetada a jusante da barragem) (0)	SIGNIFICATIVO (Área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais) (3)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem) (0)
Médio 5 milhões a 75 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (4)	MUITO SIGNIFICATIVO (Área afetada da barragem apresenta interesse ambiental relevante ou protegida em legislação específica) (5)	BAIXO (Existe pequena concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) (4)
Grande 75 milhões a 200 milhões m ³ (3)	FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal, estadual, federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas) (8)	-	ALTO (Existe grande concentração de instalações residenciais e comerciais agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) (8)
Muito Grande > 200 milhões m ³ (5)	EXISTENTE (Existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portando, vidas humanas poderão ser atingidas) (12)	-	-

$$DPA = \sum (a \text{ até } d)$$

Matriz de Classificação para Barragens de Usos Múltiplos
CNRH, Resolução nº 143, 10 de julho de 2012 (Anexo II)

Tabela 5 – Cálculo da Categoria de Risco

Crítérios da Barragem que Afetam a Possibilidade de um Acidente	Pontos
Características Técnicas (CT)	
Estado de Conservação (EC)	
Plano de Segurança de Barragens (PS)	
Pontuação Total (CRI) = CT + EC + PS	

Tabela 6 - Categoria de Risco

Categoria de Risco	CRI
Alto	≥ 60 ou $EC \geq 8^*$
Médio	35 a 60
Baixo	≤ 35

* $EC \geq 8$ em qualquer coluna dos critérios do Estado de Conservação (EC) implica automaticamente uma Categoria de Risco Muito Alta, e medidas imediatas devem ser adotadas pelo empreendedor da barragem.

Tabela 7 - Dano Potencial Associado

Dano Potencial Associado	DPA
Alto	≥ 16
Médio	$10 < DPA < 16$
Baixo	≤ 10

Tabela 8 - Resultado Final da Avaliação: Categoria de Risco e Dano Potencial Associado

CRI	DPA		
Categoria de Risco	Alto	Médio	Baixo
Dano Potencial Associado	Alto	Médio	Baixo

2.2. Resolução ANA nº 742/2011

14. A Resolução ANA nº 742, de 17 de outubro de 2011, estabelece a periodicidade, a qualificação da equipe responsável, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento das inspeções regulares de segurança para as barragens sob sua responsabilidade, de acordo com a Lei (art. 9º).
15. A periodicidade das inspeções regulares de segurança foi estabelecida pela ANA (art. 4º dessa Resolução) em função de uma matriz, considerando a categoria de risco e o dano potencial associado (art. 7º da Lei).

Tabela 9 – Periodicidade das Inspeções Regulares Baseada em Categoria de Risco e Dano Potencial

Agência Nacional de Águas (ANA), Resolução nº 742 de 17 de outubro de 2011 (art. 4º)

Categoria de Risco	Dano Potencial Associado		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	Bianual	Bianual	Anual
Médio	Bianual	Anual	Anual
Baixo	Bianual	Anual	Bienal

Notas:

1. A ANA pode exigir inspeções regulares adicionais se houver razões que as justificam.
 2. As inspeções regulares subsequentes, com periodicidade anual ou bianual, devem ser conduzidas em ciclos diferentes de inspeção.
16. Como parte do conteúdo mínimo dos relatórios sobre inspeções de segurança regulares (art. 7º dessa Resolução), as barragens devem ser classificadas em função de seu nível de perigo, baseado nas definições apresentadas na **Tabela 10**. Os empreendedores devem apresentar à ANA os relatórios de inspeção dentro dos seguintes prazos, dependendo do nível de perigo da barragem inspecionada: (a) para níveis “normal” e “atenção”, até 31 de maio para as inspeções feitas no primeiro ciclo de inspeção, e até 30 de novembro para as inspeções feitas durante o segundo ciclo de inspeções desse ano; (b) para o nível “alerta”, não mais do que 15 dias após a inspeção; e (c) para o nível “emergência,” não mais do que um dia depois da inspeção.

Tabela 10 - Nível de Perigo Baseado em Resultados das Inspeções Regulares

Agência Nacional de Águas (ANA), Resolução nº 742 de 17 de outubro de 2011 (art. 7º)

Nível de Perigo da Barragem	Descrição
Normal	Quando não foram encontradas anomalias ou as anomalias encontradas não comprometem a segurança da barragem, mas devem ser controladas e monitoradas ao longo do tempo.
Atenção	Quando as anomalias encontradas não comprometem a segurança da barragem em curto prazo, mas devem ser controladas, monitoradas ou reparadas ao longo do tempo.
Alerta	Quando as anomalias encontradas representam risco à segurança da barragem, devendo ser tomadas providências para a eliminação dos problemas.
Emergência	Quando as anomalias encontradas representam risco de rompimento iminente, devendo ser tomadas medidas para prevenção e redução dos danos materiais e a humanos decorrentes de um eventual rompimento da barragem.

2.3. Resolução ANA nº 91/2012

17. A Resolução ANA nº 91, de 2 de abril de 2012, estabelece a periodicidade, qualificação da equipe responsável, conteúdo mínimo e nível de detalhamento para os planos de segurança

de barragens e revisões periódicas de segurança para barragens por ela reguladas, de acordo com a Lei nº 12.334/2010 (arts. 8º e 10º). As barragens reguladas pela ANA são classificadas de acordo com a matriz da ANA (art. 3º e Anexo I dessa Resolução) apresentada na **Tabela 11**. Essa matriz considera a categoria de risco e o dano potencial associado (art. 7º da Lei).

18.

Tabela 11 – Matriz de Categoria de Risco e Dano Potencial Associado
 Agência Nacional de Águas (ANA), Resolução nº 91 de 2 de abril de 2012 (art. 3º/Anexo I)

Categoria de Risco	Dano Potencial Associado		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	B	C
Médio	A	C	D
Baixo	A	C	E

Nota: A ANA pode rever a classificação da barragem em função de uma modificação estrutural na mesma ou de mudanças nas áreas a jusante que exigirem uma revisão de categoria de risco ou de dano potencial associado.

19. O plano de segurança de barragens consiste em cinco volumes. Porém, a abrangência de um plano de segurança para qualquer barragem específica depende de sua classificação. A abrangência do plano de segurança (art. 6º dessa Resolução), baseado na categoria de risco e no dano potencial associado é apresentada na **Tabela 12**.

Tabela 12 – Escopo do Plano de Segurança de Barragens Baseado na Matriz de Categoria de Risco

Agência Nacional de Águas (ANA), Resolução nº 91, 2 de abril de 2012 (art. 6º)

Classe	Volumes dos Planos de Segurança de Barragens				
	I – Informações Gerais	II – Planos e Procedimentos	III – Registros e Controles	IV – PAE ⁽²⁾	V – Revisão Periódica de Segurança de Barragem
A	X	X	X	X	X
B	X	X	X		X
C	X	X	X		X
D	X	X ⁽¹⁾	X		X
E	X	X ⁽¹⁾	X		X

Notas:

1. Para barragens nas classes D e E, o único conteúdo exigido para o Volume II são as regras operacionais das obras de descarga, e os procedimentos para atender as regras de operação definidas pelo empreendedor ou pela entidade responsável pela barragem.
 2. A ANA pode determinar a elaboração do PAE para qualquer barragem, qualquer que seja a classe da barragem.
20. A periodicidade da realização de revisões periódicas de segurança de barragens foi estabelecida pela ANA (art. 14 dessa Resolução) em função dessa matriz. A **Tabela 13** apresenta as periodicidades mínimas para as revisões periódicas de segurança de barragens. A partir do dia 20 de setembro de 2012, as revisões periódicas de segurança de barragens devem ser feitas pelos empreendedores de barragens dentro dos prazos estabelecidos no art. 18 do Anexo III dessa Resolução, como apresentado na **Tabela 14**.

Tabela 13 – Periodicidade Mínima das Revisões Periódicas da Segurança de Barragens Baseada na Matriz de Categoria de Risco

Agência Nacional de Águas (ANA), Resolução nº 91, 2 de abril de 2012 (art. 14)

Categoria de Risco	Dano Potencial Associado		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	A – 5 anos	B – 7 anos	C – 10 anos
Médio	A – 5 anos	C – 10 anos	D – 10 anos
Baixo	A – 5 anos	C – 10 anos	E – 10 anos

Tabela 14 – Cronograma com prazos para a elaboração da Revisão Periódica de Segurança de Barragens (RPSB)

Agência Nacional de Águas (ANA), Resolução nº 91, 2 de abril de 2012 (art. 18/Anexo III)

Número de Barragens por Empreendedor	Prazos para elaboração das RPSB	
	Prazos Intermediários	Prazo Limite
1	-	1 ano
2	-	2 anos
3 a 5	3 barragens em até 2 anos	5 anos
6 a 10	4 barragens em até 3 anos	7 anos
11 a 20	6 barragens em até 3 anos	10 anos
> 20	7 barragens em até 4 anos	12 anos

3. AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS DO CNRH PARA A CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS

21. O CNRH estabeleceu critérios gerais de classificação de barragens baseados em duas categorias principais: categoria de risco e dano potencial associado.
22. O dano potencial é definido como o potencial para perda de vidas e danos à propriedade na eventualidade de um rompimento de barragem. Também é importante notar que a classificação de dano potencial atribuída a uma estrutura específica se baseia apenas nas consequências potenciais para vidas e bens a jusante que ocorreriam em função de um rompimento da barragem, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem e da liberação repentina da água.
23. No entanto, de forma geral, em matéria de segurança de barragens, o risco é definido como o produto da probabilidade de rompimento pelas consequências associadas, onde a probabilidade de rompimento é a probabilidade da carga (cheia ou evento sísmico) multiplicada pela resposta estrutural àquela carga. Por isso, o termo “risco” usado nos critérios gerais do CNRH, que vem da Lei nº 12.334/2010 é impróprio. A categoria de risco, tal como expressa na Lei, informaria o grau de propensão de uma barragem a incidentes ou acidentes (maior ou menor probabilidade, possibilidade ou chance de ocorrência) e o dano potencial associado expressaria a magnitude de suas consequências.
24. Nos critérios de classificação de barragens por categoria de risco (CRI), em vez de “risco” o termo que o CNRH poderia ter empregado era desempenho e/ou vulnerabilidade da barragem, para captar o verdadeiro sentido dos critérios “Características Técnicas (CT)”, “Estado de Conservação (EC)” e “Plano de Segurança (PS)” para a classificação de uma barragem específica. Já que alguns dos parâmetros nesses critérios (isolados ou combinados) se relacionam a modos de falha potenciais, sua combinação quantitativa total pode ser relacionada à variável “probabilidade de rompimento” na fórmula de risco. Com base em sua definição básica, usando a CRI como a probabilidade de ruptura e o DPA como as consequências, então risco seria igual a $CRI \times DPA$.
25. O processo de determinar a abrangência e o nível de detalhamento ou complexidade para uma avaliação de risco deveria se basear em uma “declaração de propósito” e em um processo de identificação do modo de falha. Nesse processo seriam relacionados e descritos todos os modos de falha potenciais para a barragem em questão, inclusive a relação entre cada modo de falha e os tipos de consequências da falha que sejam relevantes para satisfazer a “declaração de propósito”. Seguem exemplos de alguns “propósitos” para uma avaliação de risco em segurança de barragem:
 - a. Identificar sistematicamente e compreender melhor os modos de falha potenciais.
 - b. Identificar, justificar e priorizar investigações e análises para reduzir incertezas nas estimativas de risco para barragens isoladas e/ou portfólios de barragens.
 - c. Fortalecer a formulação, justificativa e priorização de medidas de redução de riscos para barragens isoladas e/ou portfólios de barragens.

- d. Justificar decisões sobre restrições à operação de um reservatório, como medidas interinas de redução de riscos.
 - e. Identificar meios para melhorar a segurança da barragem através de mudanças na operação do reservatório, monitoramento e fiscalização, sistemas de gestão de segurança, capacitação de pessoal, planejamento de ações de emergência e decisões empresariais relacionadas à segurança da barragem.
 - f. Identificar oportunidades para melhorar a eficácia de planos de alerta e de evacuação.
 - g. Identificar opções com a melhor relação custo-benefício para reduzir mais rapidamente os riscos à segurança da barragem.
 - h. Justificar as despesas com melhorias em segurança da barragem para os proprietários.
 - i. Criar um marco para quantificar o discernimento na engenharia e comunicar problemas técnicos a empreendedores da barragem de modo mais aberto e transparente.
 - j. Facilitar a avaliação dos riscos na segurança da barragem para o público, de modo a permitir a comparação com danos associados a outras infraestruturas e tecnologias.
 - k. Oferecer uma base não técnica para comunicar ao público os riscos de segurança da barragem.
 - l. Criar a base para defender ou demonstrar a segurança frente a empreendedores e reguladores.
 - m. Avaliar a adequação da cobertura por seguros.
 - n. Fortalecer a base para a governança corporativa com relação aos riscos de segurança da barragem.
 - o. Fortalecer o empreendedor no exercício dos deveres de cuidar, zelar e defender sua propriedade no tocante a problemas de segurança ou rompimento da barragem.
26. Mesmo havendo o engano quanto à definição do risco no contexto da classificação de barragens, a metodologia do CNRH é considerada um bom sistema de dois níveis para avaliar o desempenho/viabilidade e a conformidade em quesitos de segurança de barragens, além de diferenciar o dano potencial das barragens com base nas consequências resultantes de um rompimento ou mau funcionamento. Apesar de as classificações serem determinadas separadamente por avaliações simplistas (idealmente, a categoria desempenho/vulnerabilidade teria sido combinada com a de dano potencial associado, em um só sistema de classificação de barragens), elas ainda atendem aos objetivos principais de uma classificação de barragens.
27. As duas classificações (CRI e DPA) podem ser combinadas pela entidade fiscalizadora em uma matriz, como a proposta pela Resolução nº 91/2010 da ANA (ver a **Tabela 11**) a fim de priorizar ações para a redução de riscos. Por outro lado, a classificação DPA pode ser usada para identificar as barragens de alto dano potencial associado que requerem PAEs.

28. O sistema do CNRH é uma ferramenta fácil de usar, que pode servir inicialmente para identificar as características e o estado de conservação de uma barragem específica, que contribuem para sua segurança e assim determinam a necessidade de mais monitoramento, investigações adicionais para reduzir incertezas ou a adoção de medidas de redução de risco.
29. Os critérios elaborados pelo CNRH parecem semelhantes aos critérios sugeridos por pesquisadores brasileiros há uma década, como Menescal et al. (2001), Kuperman et al. (2001) e Fusaro (2003). Todos eles usaram parâmetros com diferentes níveis e ponderações para obter valores que são comparados com faixas que caracterizam vários níveis de risco. O Manual de Segurança e Inspeções de Barragens, publicado em 2002 pelo Ministério da Integração Nacional (MI), contém a metodologia de classificação de barragens proposta por Menescal et al (2001). O sistema do MI se baseia em um índice de potencial de risco (PR) calculado como o produto de valores ponderados em diferentes níveis de desempenho e de vulnerabilidade (V) da barragem, divididos pela pontuação atribuída ao valor estratégico de uma barragem em caso de rompimento. Este último critério é denominado de “importância” (I), compreendendo a capacidade de armazenamento, a população a jusante e o custo da barragem. A principal diferença entre os sistemas de classificação do MI e do CNRH é que o sistema do MI combina os critérios desempenho/vulnerabilidade da barragem com as consequências, analogamente à definição básica do risco, enquanto o sistema do CNRH trabalha com duas classificações separadas.
30. Neste trabalho criou-se uma barragem hipotética, para comparar os resultados do sistema de classificação do CNRH com o do MI. Foram atribuídos valores a cada parâmetro correspondente aos critérios estabelecidos pelo CNRH, inclusive características técnicas, estado de conservação, conformidade com inspeções e consequências a jusante. Com base nos parâmetros, foram atribuídos os níveis e pesos respectivos para cada sistema (onde fosse o caso) e as classificações foram determinadas. O resultado está apresentado na **Tabela 15**.

Tabela 15 – Comparação entre a classificação de uma Barragem pelos critérios do CNRH e MI

Dados da Barragem: exemplo	CNRH	MI
Altura = 35 m	2	6
Comprimento = 300 m	3	N/A (incluído em A)
Tipo: Terra enrocamento	3	8
Fundação de rocha decomposta	3	4
Idade = 20 anos	2	1
Recorrência de inundação 1.000 anos	5 CT = 18	2
Volume = 150 milhões m ³	3	5 P = 25
Vertedouro	4	3
Obras de descarga	4	3
Percolação	3	4
Recalques	1	2
Desgaste do talude	1	3
Eclusas	0 EC = 13	N/A
Existe projeto “como construído”	2	3 V = 19
Possui técnico em segurança de barragens	4	N/A
Possui e aplica apenas procedimentos de inspeção	3	N/A
Possui Regra operacional dos dispositivos de descarga	0	N/A
Emite os relatórios de inspeção sem periodicidade	3 PS = 12	N/A
Sem potencial de perda de vidas humanas	0	N/A
Impacto ambiental significativo	3	N/A
Não existe navegação	0 DPA = 6	N/A
Volume útil (150 M m ³)	N/A	1
População a jusante (pequena)	N/A	1
Custo (médio)	N/A	1,2
		I = 3,2/3 = 1,1

Legenda

Cor	CNRH	MI
Amarelo	CT	P
Vermelho	EC	V
Verde	PS	
Azul	DPA	I

$$CRI = CT + EC + PS = 18 + 13 + 12 = 43$$

$$DPA = 6$$

Categoria de Risco **Média**

$$(P + V)/2 = (25 + 19)/2 = 22$$

$$PR = (P + V)/2 \times I = 22 \times 2 \times 1,1 = 24,2$$

31. Após análise da **Tabela 15** chegam-se as seguintes conclusões:
- A comparação entre os dois sistemas de classificação não levou exatamente a uma avaliação item por item, já que nove dos parâmetros do CNRH inexistem no sistema do MI, e vice-versa para outros três do MI (fileiras sem cor na **Tabela 15**).
 - Há 12 parâmetros comuns aos dois sistemas, mas algumas das descrições de parâmetros variam de um critério para outro. Os parâmetros de altura e volume são objetivos.
 - De forma geral as ponderações não se assemelham e variam bastante.
 - O sistema do MI classifica as barragens por um só índice, enquanto o CNRH as classifica com dois critérios separados de pontuação, usando a conformidade vulnerabilidade-desempenho-inspeções além do dano potencial associado.
 - A vantagem do CNRH é que o DPA pode ser usado sozinho para identificar barragens com alto dano potencial que exigem PAEs. Mesmo uma barragem em boas condições permanece com seu dano potencial alto, devido às consequências incrementais.
 - A CRI e o DPA do sistema do CNRH também podem ser combinados em uma matriz como a que a ANA elaborou para estabelecer os requerimentos para o conteúdo do Plano de Segurança de Barragens e a periodicidade das revisões periódicas de segurança de barragens.
32. Cada critério e cada parâmetro da classificação de barragens do CNRH, inclusive níveis e ponderações, foram avaliados usando informações e experiências de estudos de caso encontrados na literatura sobre a segurança de barragens. Nos parágrafos a seguir, apresentam-se os resultados dessa avaliação e recomendações para os critérios.
33. Observa-se que essas recomendações não resultam efetivamente em proposta de modificação dos critérios do CNRH. O relatório que tratará especificamente sobre a classificação de barragens fiscalizadas pela ANA poderá refinar essas recomendações a luz de discussões posteriores à elaboração deste relatório.

3.1. Categorias de Risco (CRI)

34. A CRI quantifica e combina os parâmetros primários dos três critérios de desempenho/vulnerabilidade para uma barragem específica: características técnicas, estado de conservação e conformidade com o plano de segurança de barragem. A finalidade principal dessa classificação é avaliar e medir a integridade estrutural da barragem.

3.1.1. Características Técnicas

35. Estes parâmetros são as características que descrevem o projeto original da barragem. Os critérios do CNRH estabeleceram seis características técnicas: altura, comprimento, tipo, fundação, idade e vazão de projeto. Cinco dos seis (exceto idade) são basicamente constantes, por não mudarem com o tempo. Por outro lado, o parâmetro idade é considerado como variável porque muda com o tempo conforme a barragem envelhece. Os parâmetros considerados nesta matriz são vitais e podem impactar a probabilidade de um rompimento, porém há alguns outros que não foram considerados e que podem ser importantes também. Algumas destas outras características são: a presença de condutos atravessando uma barragem de aterro, os tipos de vertedouro e até a orla do reservatório. Já que os vertedouros sempre são considerados na matriz do estado de conservação (baseado em sua estabilidade) e a avaliação das orlas dos reservatórios é complexa, não se sugere a inclusão dessas características entre as características técnicas. No entanto, recomenda-se considerar da presença de condutos atravessando ou em contato direto com barragens de aterro.

Altura do Barramento

36. Uma análise estatística de rompimentos de barragens realizada e publicada em 1995 pela Comissão Internacional de Grandes Barragens (ICOLD Boletim nº 99) revelou que o percentual de rompimentos de grandes barragens vem diminuindo nas últimas quatro décadas. Enquanto 2,2% das barragens construídas antes de 1950 romperam, houve menos de 0,5% de rompimentos entre as barragens construídas desde 1951. Em termos absolutos, a maioria dos rompimentos ocorre em pequenas barragens, mas estas representam a maior proporção das que estão operando. Além disso, a proporção de barragens que rompem entre todas as que têm a mesma altura varia muito pouco. Esta proporção indica claramente que a altura não é um fator significativo no número de rompimentos. As pequenas barragens também tendem a romper mais porque seus projetos e obras geralmente são inferiores aos das grandes barragens e as pequenas barragens geralmente são menos monitoradas. É razoável concluir que as consequências aumentam com a altura de uma barragem. Por isso, a base para a contribuição do parâmetro altura do barramento para o aumento do risco nos critérios do CNRH é aceitável. Sugere-se, porém, a inclusão de mais dois níveis na coluna, para incluir barragens entre 60-100 metros de altura e aquelas com mais do que 100 metros. As ponderações também foram modificadas para levar em conta os níveis a mais e o fato de que a presença de uma barragem, de qualquer altura, implica sempre algum grau de risco.

Comprimento do Coroamento da Barragem

37. As condições geológicas normalmente variam na extensão de uma planície inundada. Por isso, quando mais longo for o eixo de uma barragem, maior a variação que sem dúvida haverá no tipo e grau de decomposição do material na sua fundação. No caso de barragens de terra e/ou de enrocamento, o comprimento da barragem também é um fator que leva a possíveis variações no controle da qualidade do aterramento durante a construção. Em consequência, quanto maior o comprimento da barragem maior a probabilidade de

rompimento e assim a justificativa é aceitável. No entanto, a maioria de barragens altas é construída em vales ou gargantas estreitas, que também podem possuir grandes diferenças na composição e qualidade das fundações. Além disso, muitas planícies largas com topografias baixas exigem barragens menores. Em geral as barragens de concreto também são mais adequadas para vales estreitos e as de terra para as planícies largas. Por isso, sugerimos combinar o parâmetro comprimento com a razão entre comprimento/altura para as barragens de concreto/CCR e de terra, introduzindo novos níveis para levar em conta a forma do vale, tipos de barragens e faixas de comprimento. A recomendação é incluir quatro níveis diferentes com suas respectivas ponderações.

Tipo de Barragem quanto ao Material de Construção

38. Segundo o ICOLD, a proporção de barragens que rompem entre o total de barragens de terra e de enrocamento é 70% maior do que para as de concreto de gravidade. Há muito mais barragens de terra e de enrocamento do que de concreto. O Boletim nº 99 do ICOLD mostra que as razões de rompimentos por barragens do mesmo tipo são quase iguais, mas as barragens de terra que romperam são mais altas. Por isso, o conceito de ponderar menos neste parâmetro as barragens de concreto do que as de terra (por conta do material de construção) é aceitável, se bem que os níveis devem ser expandidos um pouco para diferenciar entre as barragens de concreto de arcos e de gravidade e entre as barragens de terra homogêneas e as zonadas. Além disso, a presença de um conduto que atravessa uma barragem de terra aumenta a probabilidade de rompimento, e por isso esse fator foi citado como condicionamento para a ponderação de barragens de terra.

Fundação da Barragem

39. Os problemas com as fundações estão entre as causas mais comuns de rompimento em barragens de concreto. Tanto a erosão interna quanto a resistência insuficiente ao cisalhamento dos materiais na fundação são os principais problemas, com 21% cada um. Do mesmo modo, os problemas nas fundações (percolação e erosão tubular) são causas comuns nos rompimentos de barragens de terra. Porém, o comportamento das estruturas varia, dependendo do tipo de material nas fundações e em função do tipo de barragem. As barragens de concreto normalmente exigem fundações sólidas, enquanto as de terra têm mais flexibilidade e podem tolerar materiais de fundação com menos resistência, desde que a fundação seja adequadamente tratada. Do mesmo modo, as propriedades hidráulicas dos materiais da fundação também desempenham um papel importante na seleção do nível do tipo de fundação. Por exemplo, o aluvião tende a deixar fluir mais água do que uma rocha sã. Por isso, a sugestão é que os níveis atuais sejam substituídos com uma descrição mais detalhada da qualidade das características da fundação (com ou sem tratamento), que possam ser selecionados pelo avaliador dependendo do tipo de barragem (com base no material da construção). Sugere-se também modificações na ponderação dos respectivos níveis.

Idade da Barragem

40. A maioria dos rompimentos se dá em barragens recém-construídas. 70% ocorrem nos primeiros 10 anos, segundo o ICOLD, Boletim nº 99. Foram plotados com maior detalhe os dados dos primeiros 10 anos, o que indica claramente que a maioria dos rompimentos ocorreu durante o primeiro ano depois da inauguração das barragens. As barragens mais jovens tendem a falhar mais do que as mais velhas porque o primeiro enchimento é a fase mais crítica de qualquer barragem. Durante o primeiro enchimento, os materiais da fundação – e a própria barragem, se ela for de terra – se saturam e a água do novo reservatório exerce pressões contra a barragem pela primeira vez. Em consequência, os materiais da fundação podem perder parte de sua resistência ao cisalhamento e demonstrar uma erosão interna devido a deficiências na construção ou por fatores não considerados no projeto. Como uma barragem mais nova tem mais probabilidade de rompimento, considera-se razoável aumentar a ponderação com a diminuição da idade, a não ser para barragens com mais de 50 anos. Em geral, as barragens com essa idade não foram projetadas usando os critérios atuais, e a maioria não foi modificada ou melhorada para adequar-se a esses critérios. Mais ainda, as barragens de terra com mais de 50 anos podem estar sofrendo de erosão interna, que tende a demorar muito para se manifestar. Ao mesmo tempo, muitas barragens de concreto com mais de 50 anos podem ter a reação alcali-silica nas estruturas, que com o tempo irá causar expansão, microfissuras e a degradação das propriedades mecânicas do concreto. O resultado é que as barragens com mais de 50 anos devem corresponder ao pior cenário projetado pelos critérios do CNRH, junto com os casos em que essa informação não está disponível. Por isso, as atuais ponderações e níveis para este parâmetro são aceitáveis.

Vazão de Projeto

41. O ICOLD Boletim nº 99 também concluiu que a causa mais comum de rompimentos em barragens de terra e de enrocamento é o galgamento, sendo a causa primária em 31% e uma causa secundária em 18%. O boletim do ICOLD indica que a causa mais comum de rompimentos em barragens de alvenaria também é o galgamento, observado em 43% dos casos relatados. Por isso, a probabilidade de ocorrência de galgamento aumenta com a diminuição do tempo de recorrência da vazão de projeto, como indica o parâmetro para a vazão de projeto. Nossa sugestão, porém, é agregar outro nível de vazão de projeto correspondendo a um tempo de recorrência de 5.000 anos, entre a cheia máxima provável (CMP) e o tempo de recorrência da vazão de projeto de 1.000 anos. Além disso, recomendamos diminuir a ponderação da CMP. As outras ponderações estabelecidas para os diferentes níveis desse parâmetro parecem aceitáveis.
43. A conclusão é que os parâmetros que descrevem as características técnicas de uma barragem oferecem um quadro inicial da barragem quanto a sua confiabilidade, independente de sua integridade e condições estruturais e são um componente importante nos critérios do CNRH para a classificação de barragens com base no projeto. O quadro para as características técnicas com as revisões sugeridas em relação ao quadro equivalente do CNRH (em vermelho) se encontra na **Tabela 16**.

Tabela 16 – Descrição/Ponderação de Critérios Revisados de Características Técnicas para Determinar a Categoria de Risco
CNRH, Resolução nº 143, 10 de julho de 2012 (Anexo II)

Critérios de Características Técnicas (CT)					
Altura (A), m (a)	Comprimento (C), m e C/A (b)	Tipo (c)	Fundação (d)	Idade, anos (e)	Vazão de projeto (Tempo de Recorrência) (f)
≤ 15 (1)	Aterro: $C \leq 200$ e $C/A > 3$ Concreto / alvenaria de pedra / concreto ciclópico / CCR: $C \leq 200$ (1)	Concreto em arco (1)	Muito Boa ² (0)	30 a 50 (1)	CMP (1)
15 < A < 30 (2)	Aterro: $C \leq 200$ e $C/A \leq 3$ ou $200 < C < 500$ e $C/A > 3$ Concreto / alvenaria de pedra / concreto ciclópico / CCR: $200 < C < 500$ (2)	Concreto de Gravidade (2)	Boa ³ (2)	10 a 30 (2)	5.000 anos (2)
30 ≤ A ≤ 60 (3)	Aterro: $200 < C < 500$ e $C/A \leq 3$, ou $500 \leq C \leq 2.000$ e $C/A > 3$ Concreto / alvenaria de pedra / concreto ciclópico / CCR: $500 \leq C \leq 2.000$ (3)	Alvenaria de pedra / concreto ciclópico / CCR / enrocamento com face de concreto, de betuminoso ou geomembrana ¹ (3)	Aceitável ⁴ (3)	5 a 10 (3)	1000 anos (5)
60 < A ≤ 100 (4)	Aterro: $500 \leq C \leq 2.000$ e $C/A \leq 3$; ou $C > 2.000$ Concreto / alvenaria de pedra / concreto ciclópico / CCR: $C > 2.000$ (4)	Terra zonada e terra / enrocamento / homogênea com sistema interno de drenagem ¹ (4)	Ruim ⁵ (8)	< 5 ou > 50 ou sem informação (4)	500 anos (8)
> 100 (5)		Homogênea ¹ (5)	Muito Ruim ⁶ (10)		< 500 anos ou desconhecida (10)

$$CT = \sum (a \text{ até } f)$$

¹Somar (1) à ponderação quando qualquer conduto estiver em contato com ou penetrar o aterro.

²Muito Boa: Características mecânicas e hidráulicas da fundação adequadas, segundo o tipo de barragem (não requer tratamento)

³Boa: Características mecânicas adequadas, com tratamento hidráulico adequado da fundação, segundo o tipo de barragem

⁴Aceitável: Tratamento mecânico e hidráulico adequado da fundação, segundo o tipo de barragem

⁵Ruim: Tratamento mecânico e hidráulico inexistente ou inadequado da fundação, segundo o tipo de barragem

⁶Muito Ruim: Fundação problemática de solo ou de rocha

3.1.2. Estado de Conservação

44. Os parâmetros neste critério são descrições das deficiências mais comuns que podem ocorrer em barragens. Essas deficiências podem levar a modos de falha potenciais, que são avaliados por inspeções, monitoramento da instrumentação, revisão da documentação existente (por exemplo, projeto “como construído”, fotos históricas, registros da construção e inspeções e avaliações anteriores), análise da engenharia e trocas de ideias (*brainstorming*) entre uma equipe multidisciplinar de profissionais em segurança de barragens. Os modos de falha potenciais primários pertinentes ao estado de conservação

são a erosão tubular ou interna debaixo das fundações ou através de aterros e ombreiras, ineficiência das estruturas (vertedouros ou obras de descarga) devido a eventos hidrológicos que causam o galgamento e instabilidade da fundação ou estrutural. Os critérios do CNRH estabeleceram seis condições existentes que podem induzir modos de falha potenciais: confiabilidade das estruturas extravasoras, confiabilidade das estruturas de captação (obras de descarga), percolação, deformações e recalques, degradação dos taludes e eclusas.

45. As principais causas de rompimentos de barragens estão relacionadas à erosão interna e à baixa resistência ao cisalhamento nas fundações, por meio de infiltrações (no caso de barragens de terra). O galgamento, em barragens de terra, de enrocamento ou em barragens de concreto são apontados também como causas de rompimento. Adicionalmente, no caso de estruturas associadas, a capacidade inadequada das estruturas extravasoras foi a causa comum de rompimento, com 22% como causa primária e 30% como causa secundária (ICOLD Boletim nº 99). As avaliações de risco realizadas desde 2005 nas mais de 700 barragens do USACE revelaram que aproximadamente 80% dos modos de falha potenciais causadores de risco se relacionam à percolação, seguida por ineficiência das estruturas devido a eventos hidrológicos e confiabilidade das comportas.

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras

46. O parâmetro de confiabilidade das estruturas extravasoras é utilizado para dois tipos de vertedouros: os “controlados” e os “não controlados”. Para as estruturas extravasoras “controlados”, a sua confiabilidade é estimada analisando-se as condições operacionais das estruturas das comportas, do equipamento eletromecânico e por sua capacidade de vazão. Os vertedouros “não controlados”, por outro lado, são avaliados pela capacidade inadequada, obstruções ou danos causados por erosão.
47. Os níveis estabelecidos pelo CNRH para estes parâmetros são adequados, apesar de as ponderações parecerem um pouco altas, já que as ineficiências das estruturas devido a eventos hidrológicos são modos potenciais de falha que não pontuam tanto quanto o fator percolação/erosão tubular nas avaliações de risco feitos em todas as barragens do USACE. Também é verdade que outros países (por exemplo, Portugal e outros países europeus) já tiveram eventos de galgamento (alguns com rompimento) causados por ineficiência das estruturas devido a eventos hidrológicos. Por isso, as ponderações estabelecidas pelo CNRH para este parâmetro também são consideradas adequadas. A única sugestão para o quadro é incluir o vertedouro tipo tulipa na categoria dos “não controlados”, nos vários níveis e com as respectivas descrições de vulnerabilidade.

Confiabilidade das Estruturas de Adução

48. No parâmetro de confiabilidade das estruturas de tomada de água para obras de descarga, os níveis previstos se referem apenas a estruturas com comportas para controlar a liberação da água. Essas estruturas são usadas principalmente quando é necessário controlar a inundação a jusante, e geralmente consistem de uma torre de tomada de água com comportas no lado a montante, com um conduto que penetra a barragem principal através

da fundação ou sua base, e uma bacia de dissipação no lado a jusante. Em algumas barragens (geralmente as relativamente menores), porém, a estrutura de tomada de água é uma tubulação vertical sem comporta, que não controla a liberação da água depois da cota atingir o topo da tubulação. As obras de descarga, nesses casos, não são capazes de controlar a entrada da água, fato que prejudica qualquer situação de emergência quando a água precisa ser controlada. Por outro lado, um dos modos de falha potenciais é precisamente a percolação/erosão tubular ao redor e ao longo desse tipo de conduto. Há muitos casos onde essa condição acaba levando ao rompimento, especialmente para barragens de terra. A sugestão, portanto, é expandir e reduzir os níveis/ponderações desse parâmetro, para incluir as obras de descarga sem controle e a percolação que desemboca no lado a jusante do conduto e da bacia de dissipação.

Percolação

49. O parâmetro percolação é ponderado com a probabilidade crescente de rompimento. As ponderações atribuídas pelo CNRH para cada nível parecem viáveis. Por isso, é razoável concluir que piores condições de percolação, na ausência de medidas de remediação ou controle, são proporcionais a uma maior probabilidade de rompimento e que as ponderações/níveis atuais no parâmetro estabelecido pelo CNRH são razoáveis.

Deformações e Recalques

50. As deformações e recalques indicam deslocamentos laterais ou verticais das estruturas, causados por muitos fatores de projeto, ou de construção, e por defeitos na fundação. Alguns fatores incluem diferentes materiais de fundação com compressibilidade variável, saliências ou pináculos na superfície original ao longo das ombreiras, fissuras e outros defeitos de material no caso de barragens de concreto e também a ausência de armações de aço adequadas. Outros fatores são a falta de controle da qualidade da compactação do enchimento contra condutos de tomada de água penetrantes ou contatos entre aterros e as ombreiras das estruturas de concreto nos vertedouros e formações geológicas cársticas (principal causa de dolinas). Como no caso do parâmetro anterior, os níveis e ponderações elaborados pelo CNRH são plausíveis e não precisam ser alterados. A sugestão, no entanto, é agregar o termo “dolina” à descrição dos dois níveis inferiores desse parâmetro.

Deterioração dos Taludes

51. O parâmetro deterioração dos taludes se relaciona diretamente à instabilidade dos taludes, principalmente nas barragens de terra e de enrocamento, mas também pode ser aplicável a estruturas de concreto que manifestarem sinais de exposição da armadura de aço, erosão (cavitação), fissuras e crescimento de vegetação próxima às estruturas. Características físicas indesejáveis como fissuras longitudinais e transversais ao longo da crista ou na face dos aterros, protuberâncias pelos taludes a jusante, depressões nas faces nos taludes com rip-rap a montante, ravinas criadas por enxurradas descontroladas e a presença de vegetação lenhosa em cima ou próximo aos aterros, são todos sinais de um deslizamento que pode acontecer, mais cedo ou mais tarde. O parâmetro também é um indicador da boa (ou da falta de) manutenção. São aceitáveis os níveis propostos, mas sugere-se agregar os

termos “tocas de animais” e “estabilidade do talude,” respectivamente, à descrição dos dois níveis inferiores.

Eclusas

52. As eclusas aparecem basicamente em projetos de navegação, como as estruturas eclusa-e-barragem. No Brasil existem menos de dez estruturas que atendem este critério. Este valor será zero para todas as barragens reguladas pela ANA e para a maioria das outras barragens no Brasil. Para aqueles casos onde ocorrer a necessidade de classificar uma barragem com eclusa, a sugestão é que a descrição e ponderações dos quatro níveis existentes sejam modificados para elevar o nível inferior, para acionar uma intervenção ou medidas imediatas.
53. A conclusão é que os parâmetros que descrevem o estado de conservação de uma barragem oferecem um excelente resumo da vulnerabilidade de uma barragem, complementam suas reais condições e reforçam o nível de confiança nos critérios de classificação das barragens. O quadro para o estado de conservação com as revisões sugeridas (**em vermelho**) é apresentada na **Tabela 17**.

Tabela 17 – Descrição/Ponderação de Critérios Revisados do Estado de Conservação para Determinar a CRI

CNRH, Resolução nº 143, 10 de julho de 2012 (Anexo II)

Critérios do Estado de Conservação (EC)					
Confiabilidade das estruturas extravasoras (g)	Obras de Descarga Confiabilidade das Estruturas de Adução (h)	Percolação (i)	Deformações e Recalques (j)	Deterioração do Talude (k)	Eclusas (l)
Estruturas civis e hidroeletrônicas em pleno funcionamento / canal de aproximação ou de restituição ou vertedouro (tipo soleira livre) desobstruídos (inclusive o vertedouro tulipa) (0)	Estruturas civis e dispositivos hidro-eletrônicos em condições adequadas de manutenção e funcionamento (0)	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem (0)	Inexistente (0)	Inexistente (0)	Não possui eclusa (0)
Estruturas civis e hidroeletrônicas preparadas para a operação mas sem fontes de suprimento de energia de emergência / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões ou obstruções porém sem risco à estrutura vertente / vertedouro tulipa com abertura funcional (4)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidro-eletrônicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação (2)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras estabilizadas e/ou monitoradas (3)	Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo (1)	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de arbustos de pequena extensão e impacto nulo. (1)	Estruturas civis e hidro-eletrônicas bem mantidas e funcionando (2)
Estruturas civis e hidroeletrônicas com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com ações corretivas em implantação / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões e/ou parcialmente obstruídos, com risco de comprometimento da estrutura vertente / vertedouro tulipa com abertura parcialmente funcional (7)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidro-eletrônicos e sem controle com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas (4)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem tratamento ou em fase de diagnóstico (5)	Existência de trincas e abatimentos de impacto considerável que podem originar dolinas , gerando necessidade de estudos adicionais ou monitoramento (5)	Erosões superficiais, ferrugem exposta, crescimento de vegetação generalizada e tocas de animais , gerando necessidade de monitoramento ou atuação corretiva (5)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidro-eletrônicos com problemas identificados e com medidas corretivas em implantação (4)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos com problemas identificados, com redução da capacidade de vazão e sem ações corretivas / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) obstruídos ou com estruturas danificadas / vertedouro tulipa com abertura disfuncional (10)	Estruturas sem controle, com problemas identificados ou conduto com percolação aparecendo a jusante, sem ações corretivas (8)	Surgência nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras com carreamento de material ou com vazão crescente (8)	Existência de trincas, abatimentos, dolinas ou escorregamentos expressivos, com potencial de comprometimento da segurança estrutural (8)	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da estabilidade do talude e da segurança (7)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidro-eletrônicos com problemas identificados e sem medidas corretivas (8)

EC = Σ (g até l)

3.1.3. Plano de Segurança de Barragem

54. O plano de segurança de barragem é basicamente o arquivo principal onde se guarda todos os documentos relacionados com a segurança de um projeto específico (desenhos, especificações, o projeto “como construído”, relatórios de inspeções, o PAE, a regra operacional dos dispositivos de descarga e o manual de operação e manutenção). Por conter documentos recorrentes e também atualizações, o plano de segurança de barragem é considerado um arquivo vivo, que cresce com o tempo. Por isso, os parâmetros deste critério são ótimas medidas para identificar a qualidade e o conteúdo de um plano de segurança de barragem para qualquer projeto específico, como ferramentas de análise para avaliar o estado de conservação da barragem e a eficiência da organização para garantir a fiscalização, manutenção e operação da barragem. O CNRH estabeleceu cinco parâmetros para o plano de segurança de barragem: existência de documentação de projeto, estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem, procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento, regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem e relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação.

Existência de Documentação de Projeto

55. O primeiro parâmetro mede a existência ou disponibilidade de documentos de projeto e de construção, incluindo plantas, especificações e o projeto “como construído.” A documentação do projeto é de extrema importância para oferecer o conhecimento mínimo necessário sobre um projeto e poder identificar as possíveis causas de deficiências atuais e futuras. Os níveis e ponderações para este parâmetro são adequados. Sugere-se, no entanto, para fins de esclarecimento, que os registros da construção também sejam incluídos para os dois níveis superiores, onde se menciona o projeto “como construído”.

Estrutura Organizacional e Qualificação Técnica dos Profissionais da Equipe de Segurança da Barragem

56. O segundo parâmetro descreve a estrutura organizacional da segurança de barragem, que trata principalmente da disponibilidade de profissionais em segurança de barragem que farão as inspeções e o monitoramento regulares da barragem e de sua instrumentação, assegurando a comunicação em toda a organização (empreendedor e regulador). Uma equipe organizada de segurança de barragem assegurará a pronta detecção e notificação de situações críticas pertinentes à segurança da barragem, para passar imediatamente à avaliação e/ou à ação. Os níveis e ponderações para este parâmetro são adequados.

Procedimentos de Roteiros de Inspeções de Segurança e de Monitoramento

57. Os procedimentos para inspeções e monitoramento/interpretação da instrumentação são tratados no terceiro parâmetro como a medida para garantir que essas atividades sejam conduzidas com a máxima qualidade, seguindo as boas práticas e com registros oportunos. Como no parâmetro anterior, os procedimentos de registros e de monitoramento garantem a avaliação eficaz e oportuna de problemas com a segurança de uma barragem. A sugestão é

alterar as descrições do segundo e do terceiro níveis, agregando que os procedimentos são aplicados “em conformidade com as regulamentações” em todos os níveis. No mais, os níveis e ponderações para este parâmetro são adequados.

Regra Operacional dos Dispositivos de Descarga da Barragem

58. O parâmetro da regra operacional dos dispositivos de descarga foi estabelecido corretamente como uma pergunta sim/não, ou seja, se o projeto possui ou não uma regra operacional dos dispositivos de descarga. Esse manual é o documento que contém tudo que é necessário para regular as liberações de água na barragem. Ele garante que a operação dos dispositivos de descarga seja conduzida como deveria. Os níveis e ponderações para este parâmetro são adequados. Sugere-se agregar “outras estruturas semelhantes de descarga” na descrição do nível superior e assinalar se a regra operacional está sendo aplicada ou não.

Relatórios de Inspeção de Segurança com Análise e Interpretação

59. Por último, mas não menos importante, a apresentação dos relatórios de inspeção é essencial para monitorar as deficiências de uma barragem e as medidas recomendadas, sejam estruturais ou não, para reduzir riscos. A sugestão é agregar que os relatórios de inspeção sejam emitidos “em conformidade com as regulamentações.” Os níveis e ponderações para este parâmetro são aceitáveis.
60. Os parâmetros na matriz do plano de segurança da barragem são importantes para medir se uma barragem específica está sendo administrada adequadamente em termos da segurança de barragens e se o conteúdo do plano de segurança de barragem é adequado e completo. Combinados com as matrizes sobre características técnicas e estado de conservação, esses critérios constituem um bom conjunto de ferramentas para classificar barragens de acordo com sua integridade estrutural. O quadro para o plano de segurança de barragem com as revisões sugeridas (**em vermelho**) é apresentado na **Tabela 18**.

Tabela 18 – Descrição/Ponderação Revisadas de Critérios para o Plano de Segurança de Barragem, para Determinar a CRI

CNRH, Resolução nº 143, 10 de julho de 2012 (Anexo II)

Critérios para o Plano de Segurança da Barragem (PS)				
Existência de documentação de projeto (n)	Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem (o)	Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento (p)	Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem (q)	Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação (r)
Projeto executivo e "como construído", e registros da construção (0)	Possui estrutura organizacional com técnico responsável pela segurança da barragem (0)	Possui e aplica procedimentos de inspeção e monitoramento em conformidade com as regulamentações pertinentes (0)	Sim, ou Vertedouro tipo soleira livre ou outra estrutura de descarga semelhante (0)	Emite regularmente os relatórios em conformidade com as regulamentações pertinentes (0)
Projeto executivo ou "como construído", e registros da construção (2)	Possui técnico responsável pela segurança da barragem (4)	Possui e aplica apenas procedimentos de inspeção em conformidade com as regulamentações pertinentes (3)	Não (6)	Emite os relatórios sem periodicidade não em conformidade com as regulamentações pertinentes (3)
Projeto básico (4)	Não possui estrutura organizacional e responsável técnico pela segurança da barragem (8)	Possui e não aplica procedimentos de inspeção e monitoramento em conformidade com as regulamentações pertinentes (5)		Não emite os relatórios (5)
Anteprojeto ou Projeto conceitual (6)		Não possui e não aplica procedimentos para monitoramento e inspeções em conformidade com as regulamentações (6)		
Inexiste documentação de projeto (8)				
PS = Σ (n até r)				

3.2. Dano Potencial Associado

61. O DPA é a somatória de quatro parâmetros: volume total do reservatório, potencial para a perda de vidas, impacto ambiental e impacto socioeconômico. A não ser pelo parâmetro volume, o Quadro de Dano Potencial Associado de certo modo segue muitos sistemas internacionais de classificação por dano potencial.
62. Exceto o parâmetro volume, o Quadro de dano potencial associado para uma barragem se baseia nas consequências adversas incrementais do rompimento ou mau funcionamento, sem relação com a integridade estrutural naquele momento, estado das operações, capacidade de amortecimento de cheia ou condições de segurança da barragem ou de suas estruturas associadas.
63. A intenção é classificar barragens por suas consequências adversas incrementais a jusante e a montante para vidas humanas e para interesses econômicos, ambientais e de serviços vitais na eventualidade de um rompimento ou mau funcionamento da barragem, por qualquer causa. As consequências devem se basear nas condições gerais da calha do rio a jusante e nas áreas de interesse localizadas a montante da barragem até as nascentes do reservatório, se bem que estas áreas a montante são mais difíceis de estimar. Por isso, somente os impactos a jusante são considerados, a não ser quando se realiza uma análise de rompimento da barragem.
64. Não se deve presumir possibilidades de evacuação da população ou outras ações emergenciais na seleção do nível, se elas não forem bem conhecidas. Portanto, os níveis/ponderações de consequências devem ser selecionados presumindo que mesmo havendo PAEs, estes podem vir a não serem executados ou o tempo para o alerta será limitado ou zero.
65. Para selecionar os níveis de consequências e as respectivas ponderações é melhor identificar as áreas impactadas pelo rompimento ou mau funcionamento da barragem por meio da modelagem da inundação causada. Esses modelos são compostos por três componentes analíticos diferentes: (a) a estimativa do hidrograma da vazão efluente, (b) a propagação do hidrograma do rompimento pelo vale a jusante e (c) a estimativa dos níveis de inundação e de danos a estruturas localizadas a jusante.
66. No entanto, a realidade no Brasil é que a maioria das barragens, exceto umas poucas operadas por grandes empreendedores, não possuem mapas de inundação. Além disso, como será apresentado neste relatório, a ausência hoje no Brasil de mapas topográficos de grande escala, com uma resolução adequada, constitui uma limitação fundamental para os empreendedores que pensam modelar rompimentos de barragens. A ausência de bons mapas topográficos dificulta também o uso de qualquer um dos outros métodos simplificados disponíveis na literatura sobre segurança de barragens que utilizam dados topográficos para traçar mapas de inundação. Por isso mesmo, este relatório recomenda uma metodologia simplificada, para definir a área que seria inundada por um eventual rompimento de barragem, para identificar os danos potenciais a jusante e para oferecer parâmetros que ajudam na seleção da classificação do dano potencial.

3.2.1. Volume Total do Reservatório

67. Apesar de o parâmetro volume ser diretamente proporcional às consequências de um rompimento, o parâmetro em si não é um dano e, portanto, deveria ter sido incluído no quadro de características técnicas. Como a legislação dispõe que as barragens serão classificadas por categoria de risco, dano potencial associado e volume, o CNRH incluiu o volume entre seus critérios como parte do quadro do dano potencial associado. Observa-se que o sistema de classificação do MI também inclui o volume em seu quadro de consequências. Por isso, não se sugere transferir o parâmetro volume para o quadro de características técnicas. Afinal de contas, o volume está intimamente vinculado ao potencial de dano. Os níveis e ponderações definidos pelo CNRH parecem adequados, se bem que as faixas de volume podem precisar de um novo nível/ponderação {por ex: 200 a 1.000 hm³ (4) e > 1.000 hm³ (5), mas não se propõe esta alteração neste relatório.

3.2.2. Potencial para a Perda de Vidas Humanas

68. A perda de vidas é o parâmetro mais importante em qualquer sistema de classificação de dano potencial. Se for plausível o potencial para a perda de vidas (provável, razoável, realista), então a barragem é automaticamente classificada com o maior potencial de dano. O número de óbitos resultantes de um rompimento ou mau funcionamento de barragem é usualmente influenciado pelos seguintes fatores: (a) o número de pessoas que ocupam a planície do rompimento da barragem, (b) o prazo para alertas para as pessoas expostas à uma cheia crítica (c) a gravidade da cheia, mas o CNRH considera somente o primeiro caso. Assim, na ausência de uma análise de rompimento da barragem, a escolha do nível e da ponderação deste parâmetro é obviamente uma tarefa difícil, principalmente para as barragens menores. Em algumas situações, as consequências são óbvias e o nível/ponderação pode ser selecionado rapidamente, usando imagens de satélite e visitas de campo, junto com o discernimento dos engenheiros. Assim, consideram-se adequados os níveis para este parâmetro.

3.2.3. Impacto Ambiental

69. É extremamente difícil estimar este parâmetro. Por isso é adequado usar dois níveis e as ponderações correspondentes para identificar o impacto ambiental resultante de um rompimento ou mau funcionamento de barragem. Assim, podem ser adequados os níveis e ponderações definidos pelo CNRH para este parâmetro.

3.2.4. Impacto Socioeconômico

70. Este parâmetro refere-se a danos potenciais que podem ter impactos econômicos para áreas residenciais, comerciais, agrícolas e industriais, e para a infraestrutura dentro da área a jusante da barragem por causa de um rompimento ou mau funcionamento de uma barragem. Mesmo assim, a redução sugerida para a pontuação do nível “baixo” é proporcional às pontuações no parâmetro sobre o potencial de perda de vidas.

71. Os parâmetros neste quadro são importantes para determinar a categoria do dano potencial associado de uma barragem específica. Sozinho, o quadro pode ser usado para identificar se há necessidade de elaborar um PAE, e em combinação com os quadros do CRI para identificar o conteúdo do plano de segurança de barragem, a periodicidade das inspeções regulares e especiais, e das revisões periódicas de segurança, visto na **Tabela 11**. Os critérios originais propostos pelo CNRH para o dano potencial associado são adequados, salvo duas revisões apresentadas **em vermelho** na **Tabela 19**. Os critérios do CNRH são simples e podem ser usados não só para categorizar o dano potencial, mas também para priorizar as barragens carentes de medidas de remediação, visando maximizar o financiamento disponível.

Tabela 19 – Descrição/Ponderação de Critérios Revisados para Determinar o Dano Potencial Associado

CNRH, Resolução nº 143, 10 de julho de 2012 (Anexo II)

Volume Total do Reservatório (hm ³) (a)	Potencial para a perda de vidas humanas (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Pequeno ≤ =5 (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando na área afetada a jusante da barragem) (0)	SIGNIFICATIVO (área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais) (3)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem) (0)
Médio 5 a 75 (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (4)	MUITO SIGNIFICATIVO (área afetada da barragem apresenta interesse ambiental relevante ou protegida em legislação específica) (5)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) (2)
Grande 75 a 200 (3)	FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal, estadual, federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas) (8)	-	ALTO (existe grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) (8)
Muito Grande > 200 (5)	EXISTENTE (há pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem; portanto, vidas humanas poderão ser atingidas) (12)	-	-
DPA = Σ (a até d)			

4. METODOLOGIA SIMPLIFICADA PARA A ÁREA INUNDADA A JUSANTE

72. Este capítulo visa apresentar os esforços iniciais da ANA para classificar as barragens sob sua jurisdição e as análises do USACE utilizadas para desenvolver uma metodologia simplificada.
73. Uma metodologia simplificada é apresentada para delinear áreas a jusante de barragens que seriam inundadas por causa do rompimento ou mau funcionamento de uma barragem. Essa simplificação é necessária pois, algum estudo deverá ser feito para a classificação da barragem quanto ao dano potencial associado. Mas esse estudo simplificado não deve ser substituído pelo mapa de inundação, componente no Plano de Ação de Emergência.
74. A opção para o desenvolvimento de uma metodologia simplificada se deve também à falta de dados topográficos suficientes no país para fundamentar estudos mais detalhados para os mapas de inundação.
75. Com vistas a iniciar o processo de classificação das barragens sob sua jurisdição, a ANA desenvolveu uma metodologia preliminar e bastante simplificada para tentar classificar as barragens reguladas por ela com base no dano potencial, apesar da falta de dados topográficos precisos.
76. Essa triagem se baseou em imagens de satélite limitadas, de duas dimensões (90 m x 90 m), usando certas premissas para criar uma metodologia simples para estimar as consequências a jusante. Foram usados pela ANA dois critérios. No primeiro estabeleceu-se um raio de 25 km a partir do eixo da barragem e em um segundo critério definiu-se uma faixa de 1 km de largura, em paralelo à linha do centro do rio, no sentido de jusante da barragem.
77. Quando se encontrava algum núcleo urbano dentro da área coberta pelos dois critérios, classificou-se a barragem como de dano potencial alto. Quando havia uma fazenda, uma ponte em rodovia federal ou outra pequena barragem dentro da área coberta pelos dois critérios, classificou-se a barragem como de dano potencial médio. Quando não se encontrava nenhum dos fatores mencionados nas categorias anteriores dentro da área coberta pelos dois critérios, classificou-se a barragem como de dano potencial baixo. Desta forma, as classificações foram definidas assim:
 - a. Baixo – Nada de relevante encontrado: sem cultivos ou infraestrutura relevante,
 - b. Médio – Existência de pelo menos um dos seguintes fatores: fazenda, ponte com acesso a uma rodovia federal ou outra (pequena) barragem a jusante,
 - c. Alto – Concentração de áreas urbanas.
78. No caso da existência de barragens em cascata, utilizou-se outro critério para classificação das mesmas. Duas hipóteses foram consideradas: usando-se um raio de 25 km e outro de 50 km.

79. No caso de barragens em cascata foram comparadas as áreas de superfície do espelho d'água de cada uma, pois não se podia determinar o volume das mesmas com os mapas bidimensionais dos reservatórios. Em relação à comparação entre as áreas de superfície, se a de montante fosse maior ou igual a 10% da de jusante e caso não houvesse habitações permanentes a jusante na distância estabelecida, considerava-se o dano potencial médio, por impactar somente a infraestrutura da barragem de jusante. Caso a de jusante tivesse dano potencial alto, por ter habitações permanentes a jusante na distância estabelecida, o DPA alto era herdado pela de montante. Os resultados dessa primeira triagem, que classificou um total de 102 barragens (usando os raios de 25 km e 50 km), foram bastante próximos. De forma geral, cerca de 50% foram consideradas como de dano potencial alto nos dois critérios.
80. Esses resultados refletem somente um esforço inicial para começar a entender o grau de dificuldade a ser enfrentado para classificar as barragens reguladas pela ANA na ausência de informações mais precisas.
81. A ANA tem desenvolvido trabalhos no sentido de coletar dados topográficos para barragens sob sua responsabilidade. Estão em curso trabalhos para vetorização da hidrografia e para contagem do número de edificações dentro da Bacia do Piranhas-Açu, para os rios federais.
82. Outros trabalhos ainda podem ser desenvolvidos, como a possibilidade de mapear edificações a jusante de barragens em rios de dominialidade da ANA e o desenvolvimento de uma Modelo Digital de Elevação (MDE). O desenvolvimento deste modelo é necessário (com resolução melhor do que a do SRTM) para análises de danos potenciais associados ao rompimento de barragens. Outra possibilidade é a de obter um MDE em áreas selecionadas – a jusante das barragens – por meio de *Light Detection and Ranging* (LiDAR), em escala 1:10.000 com resolução altimétrica de até 1 m.
83. A ausência no Brasil de mapas topográficos em grande escala e com a resolução adequada é uma limitação fundamental para empreendedores de barragens, que terão que fazer análises de rompimento de barragens, mesmo usando qualquer dos métodos simplificados presentes na literatura sobre segurança de barragens, utilizando dados topográficos para delimitar a área de inundação. Por isso, a ANA solicitou a elaboração de uma metodologia simplificada, correlacionando a distância inundada a jusante de uma barragem com os parâmetros conhecidos como volume, altura e comprimento da barragem, usando uma base de dados de barragens existentes do USACE, sobre os quais foram feitas análises de rompimento de barragem. Os resultados dessas correlações são descritos a seguir.
84. A amostragem representa barragens com volumes até 2.500 hm³, altura variando até 100m e comprimento da crista até 7,6 km.

4.1. Análises Preliminares do USACE

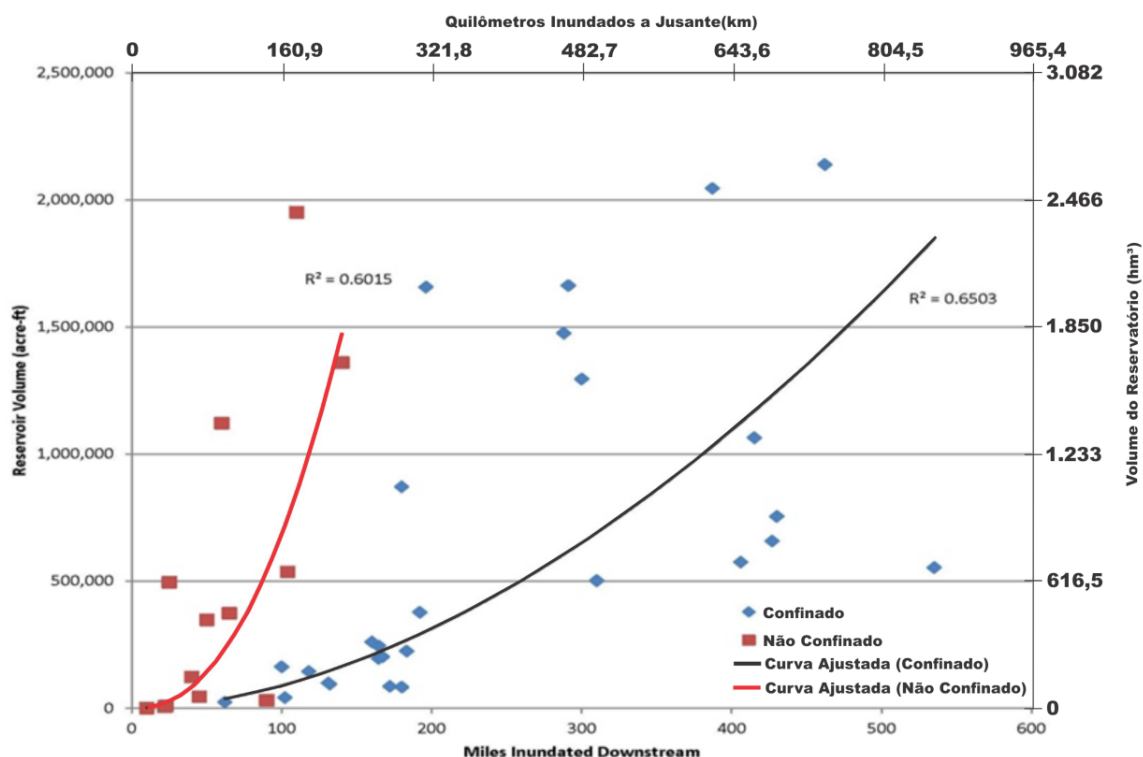
85. O Centro de Produção do USACE “Mapas, Modelos e Consequências” (MMC) é uma equipe virtual criada para apoiar o USACE na produção de modelos hidrológicos e

hidráulicos, modelos de consequências econômicas e mapas de inundação por cheias. O MMC foi encarregado de fazer uma análise preliminar usando dados de modelos de rompimento de barragens realmente ocorridos em 50 barragens para correlacionar a distância da inundação a jusante da barragem com parâmetros como a altura, o comprimento e o volume máximo da barragem. Sendo parâmetros fáceis de obter, a finalidade do estudo era determinar se seria possível encontrar uma relação entre esses parâmetros e a extensão da inundação a jusante. Buscava-se utilizar a melhor correlação para estimar as áreas que seriam inundadas no caso de um rompimento de barragem, e determinar as consequências para a classificação por dano potencial.

4.1.1. Volume do Reservatório

86. A simples plotagem dos pontos de dados rapidamente revelou muita dispersão. Para refinar a análise, as barragens foram classificadas pelas respectivas planícies de inundação, confinadas ou não confinadas. Definiu-se a barragem confinada pela presença de uma planície bastante uniforme que podia ser modelada inteiramente com HEC-RAS. A barragem não confinada tem a planície não uniforme, larga e plana, ou uma que pode ser modelada com um modelo 2D. Após avaliar os vários parâmetros, a melhor relação produzida foi o volume do reservatório versus a distância inundada a jusante. Esta relação é apresentada na **Figura 1** para as barragens confinadas e as não confinadas. Observa-se claramente que os pontos de dados continuam dispersos, mesmo depois de divididos em duas classes pelo tipo de planície inundada.

Figura 1 - Volume do Reservatório x Distância Inundada a Jusante¹



87. O volume do reservatório dividido pela altura da barragem foi plotado contra a distância inundada a jusante, para agrupar melhor os reservatórios largos e planos, versus os altos e estreitos. Esta relação é apresentada na **Figura 2**.
88. A dispersão neste gráfico e no anterior (apenas volume) pode ser atribuída a inúmeros fatores, porém o mais importante é a distância inundada a jusante, que é o parâmetro efetivamente usado na análise.
89. Os modelos de inundação por rompimento de barragens tipicamente se estendem a jusante até que a cheia fique encaixada dentro do canal. Há casos, porém, onde a inundação pode

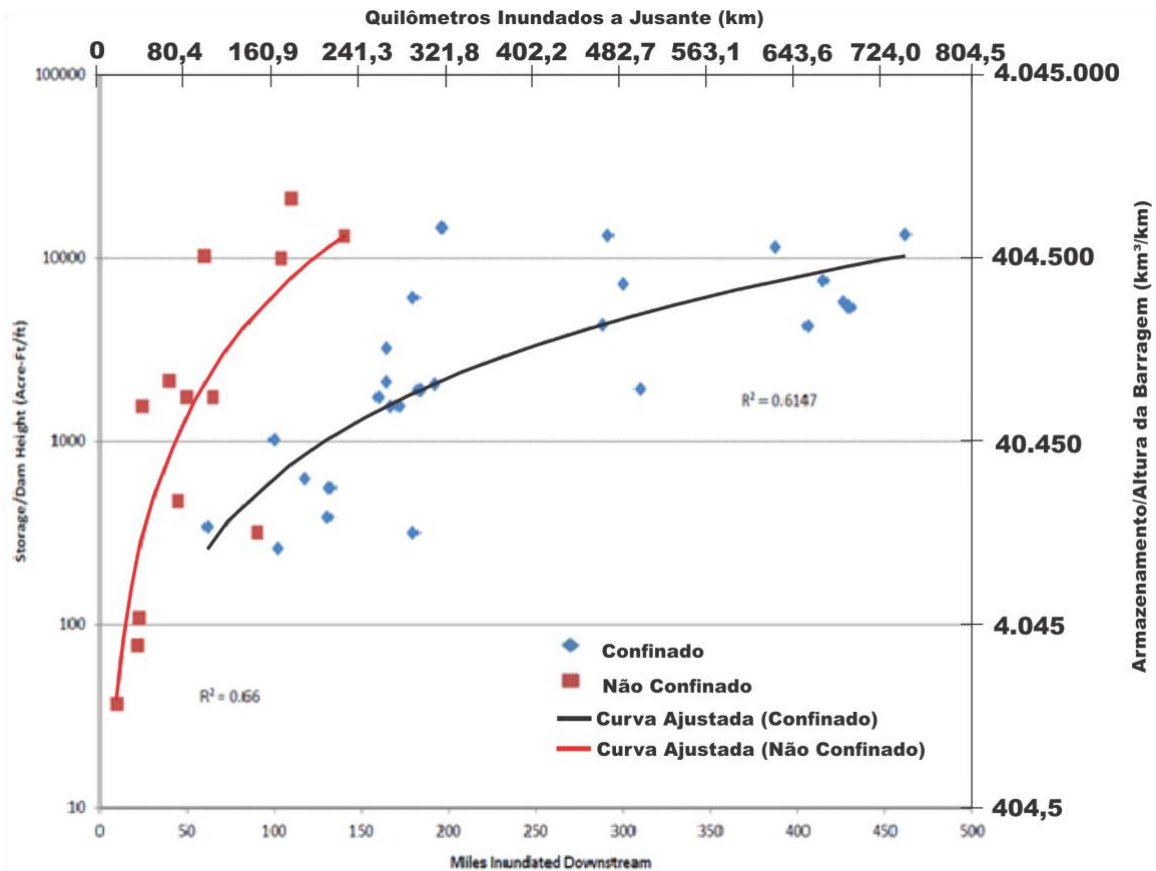
¹ Alguns dos gráficos e equações apresentados neste relatório foram elaborados originalmente usando unidades inglesas. Por isso, o seguinte quadro é útil para facilitar a conversão de algumas das medidas do Sistema Inglês para o Sistema Métrico Internacional:

Sistema Inglês	Sistema Métrico Internacional (SI)
1 foot (ft)	0,30488 metros
1 mile	1,609 km
1acre-foot	1.233 m ³
1 cubic foot per second (cfs)	0,02832 m ³ /s

ser encurtada, por exemplo, quando ela é absorvida por um reservatório a jusante ou quando encontra a área costeira.

90. A distância inundada a jusante pode ser efetivamente maior do que o indicado no gráfico, porque algumas das inundações usadas neste conjunto particular de dados podem acontecer quando não há restrições a jusante.

Figura 2- Volume do Reservatório/Altura da Barragem x Distância Inundada a Jusante



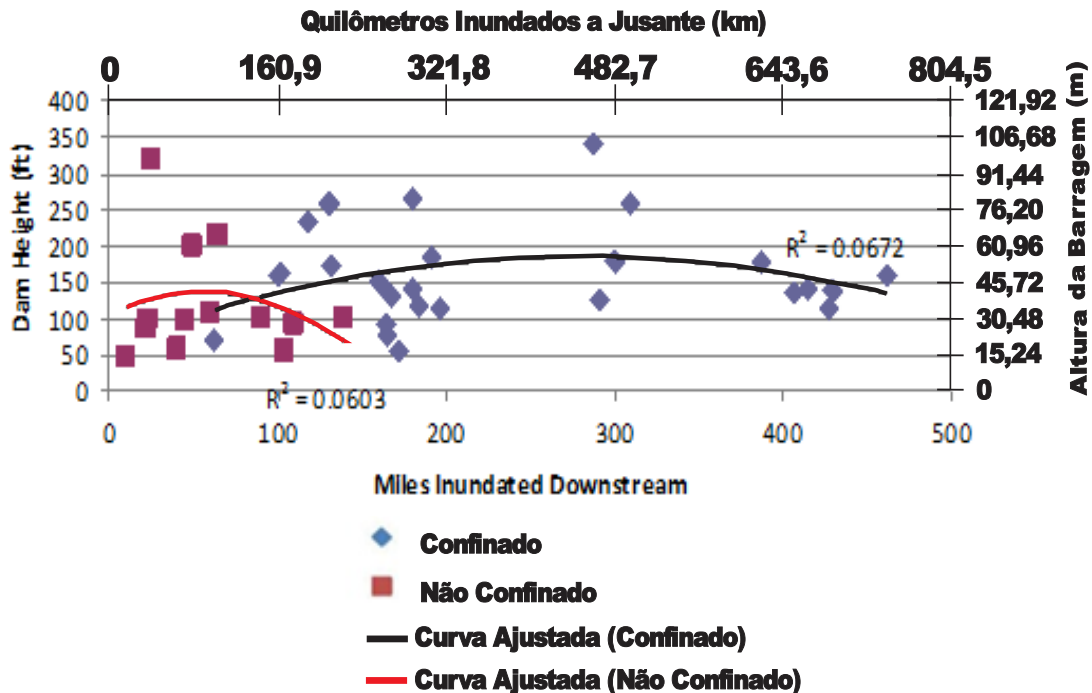
4.1.2. Altura da Barragem

91. A relação que aparece na **Figura 3** é entre a altura da barragem e a distância inundada a jusante. Não é recomendado usar uma correlação entre a altura da barragem e a extensão da inundação a jusante, pelas seguintes razões:

- Grande variação dos volumes de armazenamento para uma dada altura de barragem. Por exemplo, uma barragem com 15 m de altura pode ter um volume de 12.000 hm³ ou 600.000 hm³, dependendo do local onde ela foi construída.
- O volume é função da área de superfície do reservatório e da profundidade média do reservatório, que não corresponde à altura da barragem.

- c. Diferenças significativas no volume terão um grande impacto na extensão da inundação a jusante.

Figura 3 - Altura da Barragem x Distância Inundada a Jusante



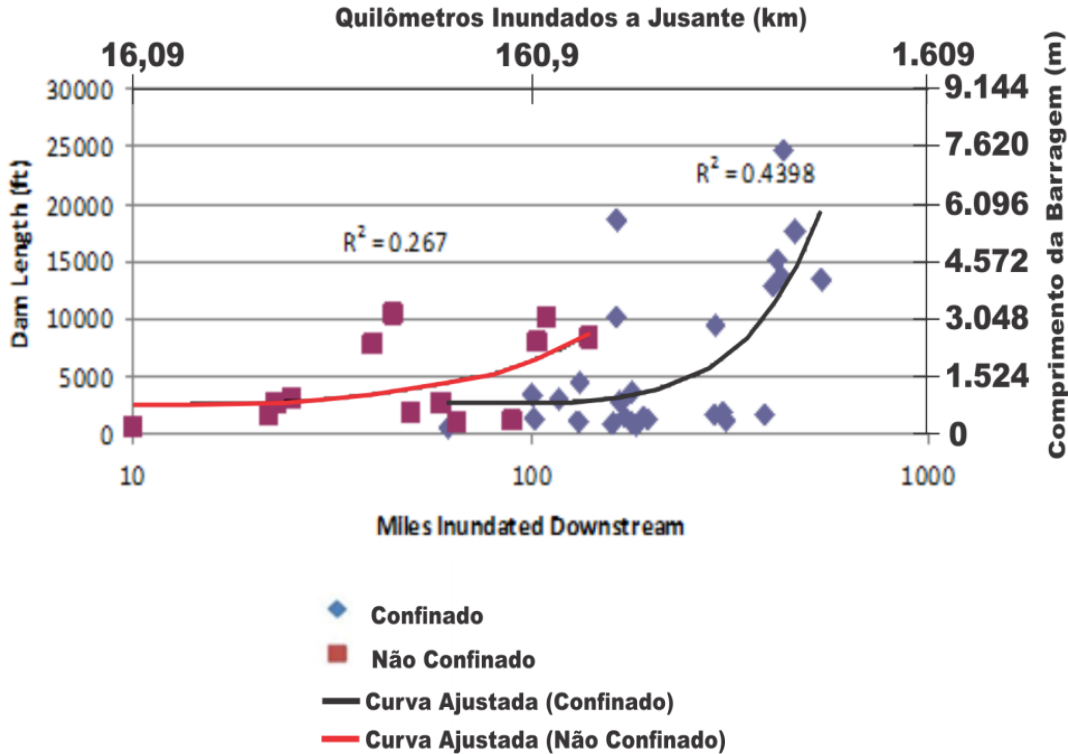
4.1.3. Comprimento da Barragem

92. O comprimento da barragem (distância entre as ombreiras) também foi relacionado à distância inundada a jusante, separando as barragens entre as confinadas e as não confinadas, como apresentado na **Figura 4**. Não é possível correlacionar a distância de inundação na planície com qualquer parâmetro físico da barragem, pelas seguintes razões:

- A largura da planície de inundação varia consideravelmente ao longo da extensão da inundação, devido à topografia a jusante (por exemplo, a planície é larga em alguns pontos e estreita em outros).
- A maioria das barragens é construída em vales estreitos ou gargantas dentro da bacia, para reduzir o tamanho (e custo) da barragem. Em consequência, o comprimento das barragens tende a ser menor do que as planícies de inundação, mas a diferença percentual entre largura da planície versus comprimento da barragem varia muito de uma barragem para outra. Também há casos onde o comprimento da barragem é maior do que a largura da planície de inundação.

c. A largura da planície de inundação depende em grande parte da topografia a jusante e do volume de água que passa pela ruptura.

Figura 4 – Comprimento da Barragem x Distância Inundada a Jusante



4.1.4. Conclusões

93. Depois de compilar os dados desta amostragem de barragens e produzir as correlações, fica claro que uma só característica, ou mesmo a combinação de características de uma barragem, não produz uma estimativa precisa da distância a jusante que sofrerá consequências no caso de um rompimento de uma barragem.
94. Uma análise aprofundada dos dados após a ruptura de qualquer barragem cuja inundação fosse absorvida por um reservatório a jusante (ou que chegasse ao litoral) poderia validar melhor os resultados. Porém a única maneira de saber se a onda de cheia do rompimento de uma barragem inunda um reservatório a jusante é com um modelo numérico do rompimento da barragem.
95. Na ausência total de dados topográficos em grande escala, uma estimativa muito grosseira dos impactos a jusante pode ser feita com os dados da barragem analisada, complementada com fotografias aéreas:

- a. Determinar se a planície de inundação a jusante da barragem é confinada ou não confinada, examinando as melhores fotografias aéreas disponíveis e os dados topográficos disponíveis em pequena escala.
 - b. Obter a distância inundada a jusante, considerando a razão entre a capacidade máxima de armazenamento do reservatório e a altura da barragem, usando o gráfico da **Figura 2** (volume armazenado/altura da barragem versus a distância inundada a jusante).
96. Mesmo considerando que a razão volume/altura resulta em pontos dispersos, essa correlação oferece a melhor opção para estimar a distância inundada a jusante no caso de um rompimento. Considerando essa conclusão, o USACE expandiu sua base de dados de 50 para 145 barragens e realizou mais análises para avaliar a inclusão de outros parâmetros como tipo de barragem, estado de conservação, declividade da planície de inundação e população em risco (PeR), além dos estudados preliminarmente.

4.2. Análises Adicionais do USACE

97. O MMC realizou uma segunda rodada de análises utilizando os resultados das avaliações de rompimentos de aproximadamente 145 barragens do USACE. O MCC tabulou aleatoriamente aspectos como altura da barragem, comprimento, volume, distância inundada a jusante, materiais usados na barragem, idade, estado de conservação, declividade média do leito do rio, terreno da planície inundada e populações em risco (PeR). O objetivo era determinar se havia uma relação entre esses parâmetros e o nível de risco presente em cada barragem. Também foram considerados o tipo e hora do rompimento, o prazo para alerta à população, curvas de mobilização, CMP e a qualidade do material de construção para cada barragem. A coleta de dados revelou rapidamente uma grande dispersão dos pontos. Foram removidos aproximadamente 20 dos casos de maior dispersão para esclarecimento posterior.
98. As variáveis mais críticas na classificação do fator risco para uma barragem foram identificados como sendo a população em risco e o estado de conservação. Outros parâmetros pontuados na classificação foram altura, volume máximo do reservatório, declividade média do leito do rio a jusante e tipo de barragem. As pontuações relativas dos fatores foram ordenadas e uma tentativa de criar uma escala de classificação das barragens para priorizar as barragens foi realizada.
99. Identificou-se que comprimento da barragem, distância inundada a jusante, tipo de terreno da planície inundada (confinada ou não) e influências significativas a jusante (por exemplo, oceano ou confluência com outro rio) foram usadas para estimar a população em risco, em conjunto com o volume da barragem e outras características da bacia. Porém, essas características não puderam ser usadas individualmente para classificar quantitativamente os riscos totais, com um mínimo de precisão.
100. Conforme apresentado na **Tabela 20**, cada barragem foi avaliada nas seguintes categorias: população em risco, estado de conservação, altura da barragem, volume do reservatório, declividade do leito do rio a jusante e tipo de barragem. As características receberam uma

percentual do total de pontos possíveis por categoria e foram somadas em um total possível de 10 pontos. As 145 barragens foram classificadas usando esses critérios e comparadas com a Classe de Ação em Segurança de Barragem (DSAC) existente para cada uma dessas barragens.²

Tabela 20 – Classificação das Barragens por Características

Características da Barragem	Pontos	Total Possível de Pontos
População em Risco	-	5
Estado de Conservação	-	3
Altura da Barragem	-	0,5
Volume do Reservatório	-	0,5
Declividade do leito do rio a jusante	-	0,5
Tipo de Barragem	-	0,5
Total	-	10

101. Para esta avaliação, a **população em risco** é obtida de três maneiras: a PeR na área até 24 km a jusante do reservatório, a PeR até 96 km e a PeR total noturna a jusante do reservatório. Em cada um dos cálculos, a população até 4,8 km a jusante foi multiplicada por 2, para enfatizar o risco maior e o tempo menor para alerta e mobilização, durante um rompimento efetivo. A população encontrada foi comparada com os valores máximos de população na **Tabela 21**, e lhe foi atribuído um percentual do fator, segundo a faixa onde ocorreu. Por exemplo, uma PeR de 1.599 pessoas, localizada até 24 km a jusante ficaria na categoria de 25%, como também seria o caso de uma PeR (0-24 km) igual a 601 pessoas.

Tabela 21 – Fatores na Classificação da PeR

População (0-24 km)	Fator	População (0-96km)	Fator	População Total Noturna	Fator
900.000	5	900.000	5	900.000	5
10.000	3,75	50.000	3,75	80.000	3,75
3.000	2,5	10.000	2,5	25.000	2,5
1.600	1,25	6.000	1,25	9.000	1,25
600	0	1.800	0	1.500	0

102. Para o **estado de conservação** foi considerado o observado na última inspeção da barragem (cada uma foi avaliada como bom, regular, sofrível ou insatisfatório), transposto diretamente para um valor numérico. **A altura da barragem** foi comparada com os valores máximos de altura apresentados na **Tabela 23** e atribuído um percentual do fator, de

² O Relatório 3 “Classificação de Barragens: melhores práticas nacionais e internacionais” apresenta uma descrição detalhada da DSAC.

acordo com respectiva a faixa. O mesmo foi feito para o **volume do reservatório**. Por exemplo, uma altura de 30 m ficaria na categoria de 25%.

103. Os fatores para as **declividades** mínima e máxima para as 145 barragens foram fixadas neste estudo com fatores variando de 0 a 50%. Todas as outras declividades foram interpoladas linearmente, entre esses dois casos. A declividade foi o único fator avaliado qualitativamente, entre grande e plano. Os fatores da classificação para esses quatro aspectos estão apresentados na **Tabela 22**.

Tabela 22 – Fatores atribuídos aos aspectos Classificação de Barragens por Estado de Conservação, Altura, Volume e Declividade do Leito do Rio

Estado de Conservação	Fator	Altura da Barragem (m)	Fator	Volume (hm ³)	Fator	Declividade	Fator
Insatisfatório	3	200	0,5	8.631,0	0,5	Grande	0,5
Sofrível	1,98	120	0,375	1.602,9	0,375	-	0,375
Regular	0,99	60	0,25	616,5	0,25	-	0,25
Bom	0	30	0,125	246,6	0,125	-	0,125
		15	0	55,5	0	Plano	0

104. O fator para o **tipo de barragem** foi estabelecido para cada material, baseado em suas propriedades. O concreto tem a maior probabilidade de rompimento repentino, por isso recebeu o valor mais alto. As barragens de aterro, por terem maior probabilidade de mostrar sinais de rompimento e deixar um prazo maior para alertas e mobilização, receberam o valor mais baixo. Os outros materiais e combinações receberam valores intermediários, conforme apresentado na **Tabela 23**.

Tabela 23 – Fatores Atribuídos ao Tipo de Barragem para Classificação

Tipo de Barragem	Fator
Concreto	0,5
Concreto/Enrocamento	0,375
Enrocamento	0,25
Terra/Concreto	0,25
Terra/Concreto/Enrocamento	0,25
Terra/Enrocamento	0,125
Terra	0

105. As pontuações foram agrupadas em uma escala de classificação de cinco níveis. A classificação referente ao quinto nível se refere a uma baixa prioridade, os níveis 3 ou 4 são classificados como prioridades médias e uma classificação de 1 ou 2 como prioridade alta, conforme apresentado na **Tabela 24**.

Tabela 24 – Escala de Pontuação de Barragens

Escala de Pontuação de Barragens		Pontuação Máxima (0-24km)	Pontuação Máxima (0-96km)	Pontuação Máxima (total-noturna)
1	Prioridade Alta	10	10	10
2	Prioridade Significativa	8	8	8
3	Prioridade Média Alta	6	6	6
4	Prioridade Média Baixa	4	4	4
5	Prioridade Baixa	2	2	2

106. Como já mencionado, cada classificação foi comparada com sua Classe de Ação em Segurança de Barragem (DSAC), para calibrar a fórmula. A **Tabela 25** revela que os sistemas de classificação são muito semelhantes. Nota-se que a discrepância com relação às barragens DSAC do nível 5 se deve ao fato de que o USACE nunca classificou uma barragem como de prioridade baixa, pois considera que sempre há algum risco presente em qualquer barragem, porque a maioria delas é antiga e, portanto, não atendem aos critérios de projeto atuais.
107. A análise foi feita com dados obtidos de barragens atualmente modeladas pelo USACE, usando o processo do centro MMC. O uso de barragens atualmente modeladas ainda limita o conjunto de dados. Com base na DSAC atual e a classificação de alto dano potencial, as barragens em situação crítica foram modeladas em primeiro lugar. Portanto, é possível que as barragens de menor dano potencial e risco tenham ficado sub-representadas. Também, as classificações dependem da qualidade dos dados usados. Seja como for, a classificação proposta por esta análise está além do escopo da metodologia simplificada que se busca para identificar áreas inundadas a jusante para a classificação por dano potencial associado. O objetivo de apresentá-la é contribuir para divulgação de métodos que estão sendo desenvolvidos no momento.

Tabela 25 – Pontuação de Barragens do USACE Comparada com a “DSAC”

Nº de Pontuações	(0-24km)	(0-96km)	DSAC
1	6	8	7
2	48	42	41
3	39	42	41
4	40	40	56
5	12	13	0

108. Além da classificação, o MMC também plotou os mesmos gráficos de sua primeira tentativa, usando os 145 pontos de dados. Ficou evidente que uma só característica ou uma combinação de características não pode produzir uma boa estimativa da distância a jusante

que sofrerá as consequências no caso do rompimento de uma barragem. Estas relações produziram correlações melhores, como se vê nas **Figuras 5, 6 e 7**. Ao final, a relação entre volume do reservatório e a vazão de pico (**Figura 7**) produziu a melhor correlação e poderia mesmo ser usada para estimar a vazão de pico de um rompimento de barragem, quando se conhece o volume do reservatório. Esta estimativa de vazão de pico ainda contém um grande erro, como se vê na dispersão de dados. Para o escopo deste trabalho, poderão ser usados outros métodos encontrados na literatura, como o método simplificado explicitado a seguir.

Figura 5 – Capacidade Máxima de Armazenamento/Altura da Barragem x Vazão de Pico do Rompimento

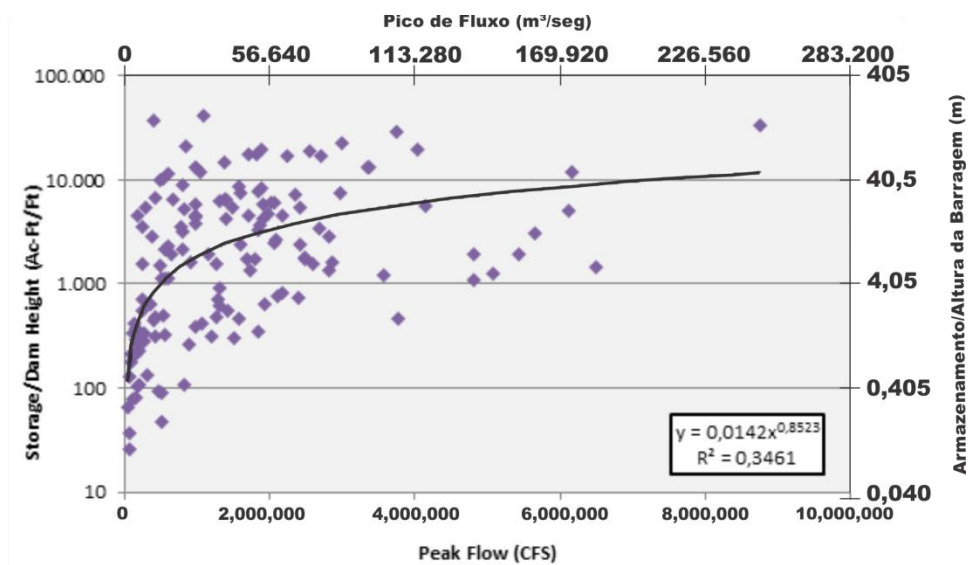


Figura 6 – Altura da Barragem x Vazão de Pico do Rompimento

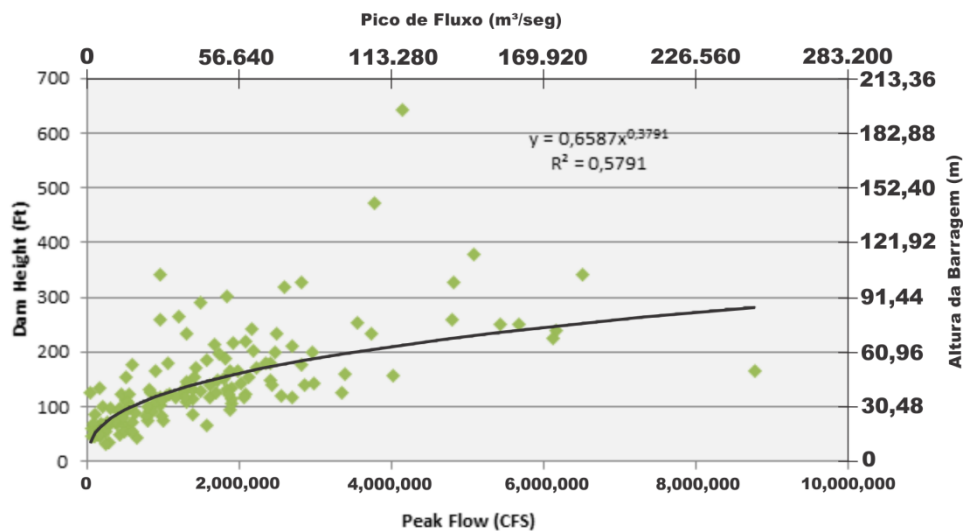
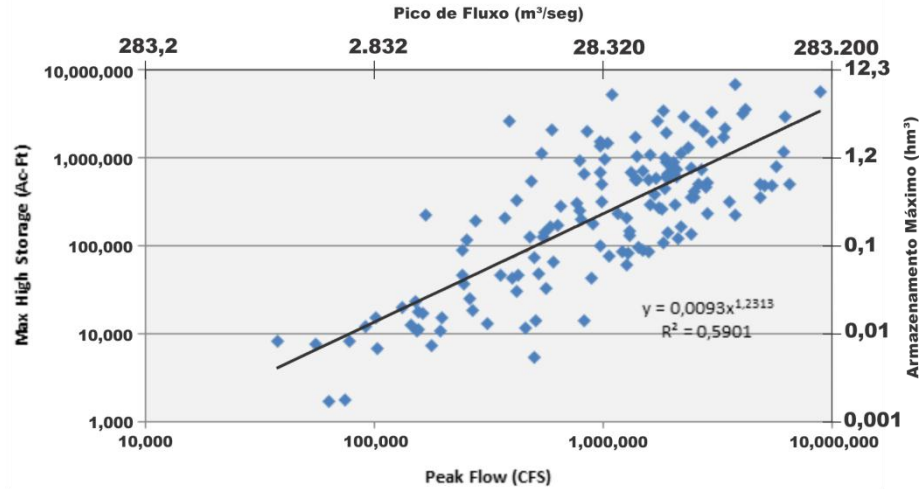


Figura 7– Capacidade Máxima de Armazenamento x Vazão de Pico do Rompimento



4.3. Metodologia Simplificada Recomendada

109. A correlação da razão volume/altura versus distância inundada a jusante poderia ser usada como aproximação preliminar da distância máxima de inundação resultante de uma ruptura de barragem. Essas correlações, no entanto, apresentam uma dispersão significativa nos pontos de dados e não são aplicáveis para identificar as consequências a jusante. Além da dispersão, a distância inundada a jusante obtida por essas correlações parece ser maior do que a distância máxima onde haveria o impacto de perdas econômicas e de vidas. Por isso, os dados empíricos e estatísticos na literatura, baseados em rompimentos reais e/ou em estudos de ruptura de barragens, serão usados para estabelecer as distâncias máximas a considerar a jusante, onde os efeitos incrementais da cheia de uma ruptura de barragem ficam relativamente pequenos.
110. A metodologia simplificada, recomendada neste relatório, para a classificação do dano potencial a jusante se baseia nas sugestões do Departamento de Segurança Interna dos EUA (setembro de 2011) e do Estado de Washington (julho de 1992). Esta metodologia simplificada usa os mesmos valores obtidos na modelagem dos rompimentos de barragens, só que os valores são obtidos a partir de correlações e suposições empíricas. Uma vez estimado o pico da descarga, determinam-se os outros parâmetros que são relativos à propagação da cheia a jusante do rompimento da barragem, ou seja, a redução ou atenuação da vazão de pico enquanto avança para jusante, o tempo de deslocamento do pico da cheia entre pontos de interesse (para obter a velocidade da água) e a cota máxima da água (profundidade de cheia) nos pontos de interesse.
111. Esses parâmetros são controlados pela declividade do leito do canal, largura da seção transversal e confinamento do canal, a rugosidade do canal e das margens e a presença de água armazenada por outros reservatórios a jusante ou pelo mar. O usuário desta metodologia simplificada, portanto, deve ser extremamente cuidadoso e decidir pelo lado da segurança, especialmente com as grandes barragens. Alguns casos exigem um tratamento específico, particularmente onde o vale a jusante é confinado e estreito ao longo

de grandes distâncias. Nestes casos, a onda de cheia pode não dissipar rapidamente e pode ser necessário considerar maiores distâncias a jusante, se houver edificações e outros locais habitados. Nos próximos parágrafos descreve-se, passo a passo, a metodologia simplificada sugerida para identificar consequências e classificar danos potenciais associados.

4.3.1 Passo 1 - Distância Inundada a Jusante

112. Segundo um estudo estatístico de rompimentos de barragens nos Estados Unidos, que causaram um ou mais óbitos de 1960 a 1998 (Graham, 1999), 50% das mortes ocorreram até 5 km ou menos da barragem que rompeu, e mais de 99% das mortes ocorreram até 25 km ou menos da barragem. Por outro lado, 86% das mortes foram causadas pelo rompimento de barragens com até 15 m de altura. Estudos sobre rompimentos de barragens no estado de Queensland, na Austrália, publicados em junho de 2010 mostram que a distância a jusante, depois da qual os efeitos incrementais da cheia do rompimento da barragem ficam relativamente pequenos, é proporcional à capacidade de armazenamento, como vemos na **Tabela 26**.

Tabela 26 – Capacidade de Armazenamento x Distância Total a Jusante

Capacidade de Armazenamento (hm ³)	Distância Total a Jusante (km)
20	Até 60
2	5 – 20
0,2	0 – 5

113. Com base nas fontes consultadas e no discernimento da engenharia, a sugestão é que as distâncias inundadas a jusante sejam estimadas até o ponto onde se presume que os efeitos incrementais da cheia do rompimento da barragem em relação a uma cheia natural de referência ficariam relativamente pequenos. As distâncias sugeridas relacionadas às faixas de capacidade máxima de armazenamento, conforme a distribuição apresentada na tabela de classificação de volumes do CNRH, são apresentadas na **Tabela 27**. Observa-se que as distâncias são apenas estimativas a serem usadas como parte da metodologia simplificada recomendada.

Tabela 27 – Capacidade de Armazenamento Recomendada x Distância Total a Jusante

Capacidade de Armazenamento (hm ³)	Distância Total a Jusante (km)
≤ 5	0 – 10
5 – 75	10 – 25
75 – 200	25 – 50
≥ 200	50 a 100

114. Os mapas de inundação revelam uma linha contínua de inundação, identificando a área potencialmente em risco no caso de um rompimento de barragem. Essa linha começa na barragem e segue a jusante até o ponto onde a cheia não representa mais risco para vidas

humanas ou para bens, por exemplo, até um grande rio ou reservatório capaz de armazenar as águas da cheia induzida pelo rompimento da barragem. Se o possível rompimento de uma barragem puder causar o rompimento de barragens a jusante, este efeito em cascata deve ser considerado caso a caso. É preciso exercer o discernimento da engenharia e ter extremo cuidado em barragens com complexidades hidráulicas significativas a jusante, como grandes estruturas de desvio, divisão de vazões ou com potencial de rompimentos em cascata. Se houver casas, comércio ou estradas próximas ao leito do rio, no final da distância recomendada a jusante, pode ser necessário estender a distância para incluir essas estruturas ou estradas adicionais. O objetivo é definir uma distância a partir da qual a cheia do rompimento fique basicamente contida dentro dos limites do canal e/ou até o ponto onde não haverá impactos significativos para outras estruturas a jusante.

4.3.2 Passo 2 – Pico de Vazão no Rompimento da Barragem

115. Wahl (1998) avaliou alguns procedimentos que relacionam o pico de vazão induzida pelo rompimento de barragens com várias dimensões da barragem (por exemplo, altura da barragem, altura do rompimento, profundidade da água acima do rompimento). As equações foram avaliadas com base na comparação entre o pico de descarga previsto e o efetivamente observado para os projetos na base de dados de rompimentos de barragens. Froehlich (1995) desenvolveu a seguinte equação, em unidades inglesas, que se mostrou um dos melhores métodos disponíveis para o cálculo direto do pico de descarga do rompimento de uma barragem:

$$Q_p = 40,1 V_w^{0,295} A_w^{1,24}$$

onde: Q_p = Vazão de Pico do rompimento de barragem (cfs)

V_w = Volume da água acima da cota da base da brecha na hora do rompimento (ac-ft)

A_w = Altura da água acima da elevação na base do rompimento (ft)

116. Em unidades do Sistema Internacional tem-se a seguinte versão da equação original:

$$Q_p = 0,607 V_w^{0,295} H_w^{1,24}$$

onde: Q_p = Pico de fluxo do rompimento de barragem (m^3/s)

V_w = Volume da água acima da cota da base da brecha na hora do rompimento (m^3)

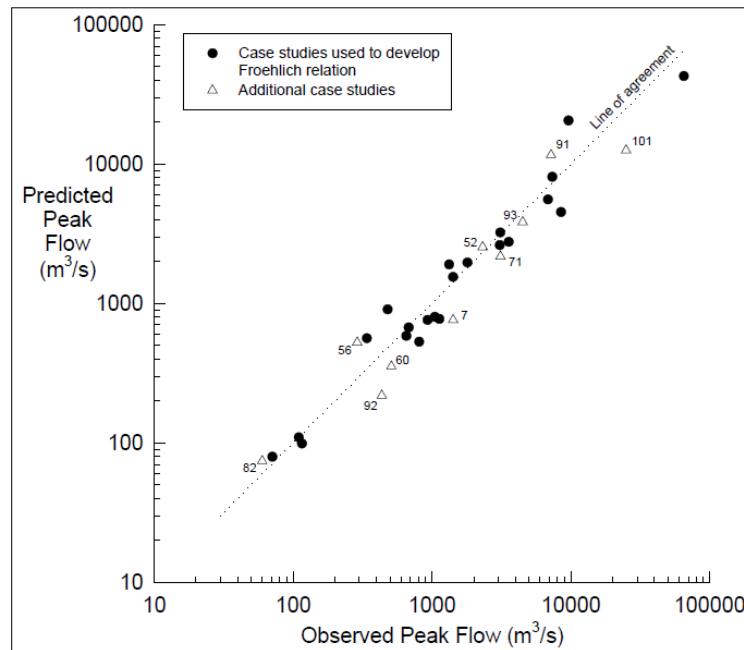
A_w = Altura da água acima da elevação na base do rompimento (m)

117. Para as finalidades da abordagem simplificada, pode-se admitir que o rompimento ocorre na crista da barragem, com o reservatório cheio até a crista da barragem e sem fluxo adicional afluente ao reservatório. O volume total do reservatório na crista da barragem seria V_w e a altura da barragem A_w . Wahl também usou resultados da equação de Froehlich

(1995) para prever o fluxo de saída para 32 estudos de caso, inclusive os 22 usados por Froehlich.

118. Usando essa análise, conforme a **Figura 8**, Wahl constatou que a equação Froehlich apresenta o menor erro médio de previsão e o intervalo de previsão mais estreito para a vazão de pico. Ressalta-se que a abordagem de Froehlich também considera o volume do reservatório. Apesar de a equação Froehlich apresentar o menor erro de previsão, comparada com cheias observadas em rompimentos de barragens, há uma dispersão considerável dos dados observados ao redor da linha de regressão. A **Figura 9** mostra a relação entre volume do reservatório e o pico de descarga computada por esta equação com limites de segurança de 95%, usando as equações desenvolvidas por Wahl (2004). Como as descargas de pico computadas usando a equação de Froehlich podem ser substancialmente maiores (ou menores) do que os valores efetivamente observados, é aconselhável o usuário decidir pelo lado da segurança. Os picos de vazão de rompimentos de barragem também podem ser obtidos por uma correlação com a capacidade de armazenamento desenvolvida pelo MMC, usando os resultados dos 145 rompimentos de barragens do USACE, apresentado na **Figura 7**. Devido à dispersão nesta correlação, sugere-se adotar o valor mais conservador obtido em qualquer dos dois métodos.

Figura 8 – Picos de Vazão Previstos pela Equação de Froehlich x Vazão de Picos Observados



Fonte: Wahl, T. L., Prediction of Embankment Dam Breach Parameters: A Literature Review and Needs Assessment, DSO-98-004, U.S. Department of Interior, USBR, 1998 (Figure 16, page 40).

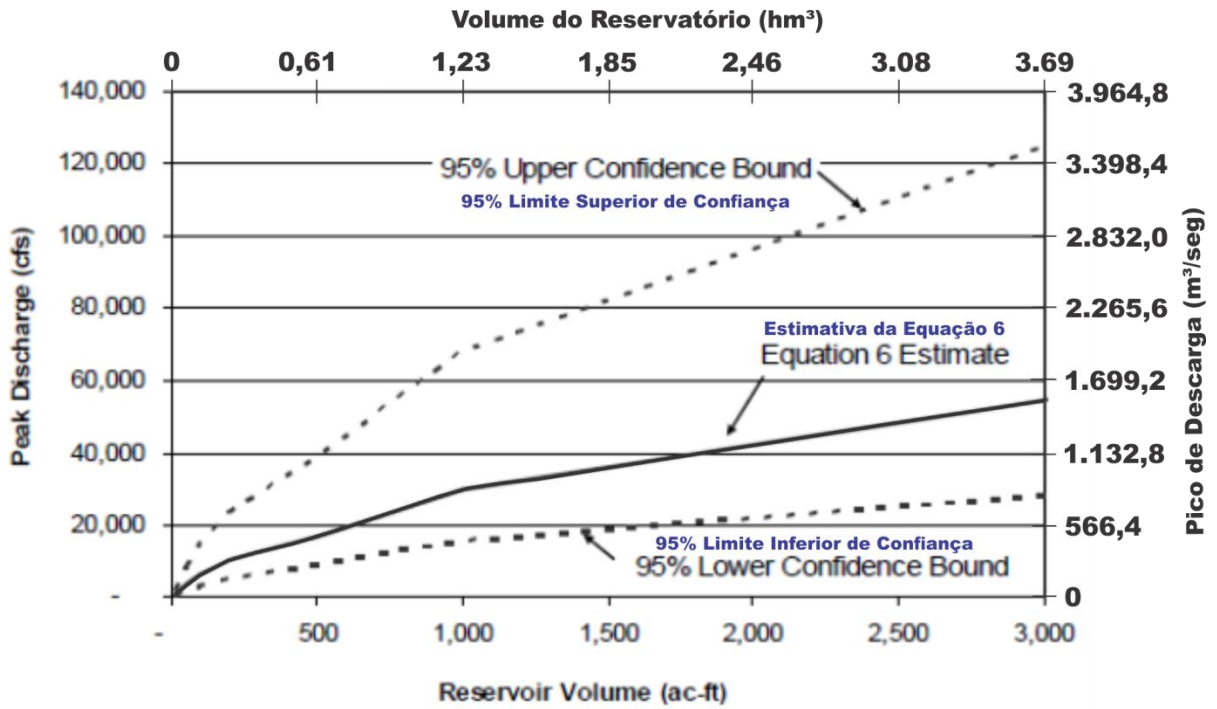
Legenda:

Observed Peak Flow: vazão observada de pico

Predicted Peak Flow: vazão de pico prevista

- Estudo de casos usados para desenvolver a equação de Froehlich
- △ Estudos de casos adicionais

Figura 9– Equação de Froehlich com limites de confiança de 95%



Fonte: Schaefer, M.G., Dam Safety Guidelines, Technical Note 1: Dam Breach Inundation Analysis and Downstream Hazard Classification, Washington State Department of Ecology, Publication No. 92-55E, July 1992 (Figure 4, page 10).

4.3.3 Passo 3 - Atenuação do Pico da Descarga no Rompimento da Barragem

119. Na medida em que a cheia do rompimento avança para jusante, há uma diminuição do seu pico. Como visto, este efeito é governado por fatores como a declividade do leito do canal, a área da seção transversal e a geometria do canal e das planícies vizinhas, a rugosidade do canal principal e das planícies, a disponibilidade para armazenamento de água da cheia em áreas fora do canal e a forma do hidrograma da cheia. Estes fatores podem ser agrupados, conforme apresentado na **Tabela 28**, para indicar a quantidade relativa que pode ser esperada.

Tabela 28 – Características de Atenuação da Propagação da Cheia

Atenuação Pequena	Atenuação Grande	Comentários
Reservatório de grande volume	Reservatório de pequeno volume	Comparação relativa entre o volume armazenado pelo reservatório e a capacidade de armazenamento do canal e da planície de inundação a jusante
Canal de confinamento estreito com declividade íngreme	Planície larga e/ou áreas de armazenamento fora do canal, e canal com declividade suave	Em geral, uma declividade maior do que 1% é considerada íngreme.
Pouca resistência de fricção no canal e na planície vizinha	Grande resistência de fricção no canal e na planície vizinha	Presença de matagal, árvores, culturas agrícolas nas áreas da planície vizinha

Fonte: Schaefer, M.G., Dam Safety Guidelines, Technical Note 1: Dam Breach Inundation Analysis and Downstream Hazard Classification, Washington State Department of Ecology, Publication No. 92-55E, July 1992 (Table 5, page 13)

120. As ferramentas computacionais que possam levar em conta as características físicas do canal e a hidrodinâmica da onda de cheia são os melhores estimadores para a propagação de inundações por rompimento de barragem. Para a metodologia simplificada, a estimativa da atenuação do pico da descarga do rompimento, com o movimento a jusante da onda de cheia, pode se basear na família de curvas desenvolvida em 2007 pelo Departamento de Ecologia da Universidade do Estado de Washington. As curvas apresentadas na **Figura 10** retratam a relação da razão da descarga a jusante para a descarga de pico do rompimento versus a distância a jusante da barragem, para vários volumes de armazenamento no reservatório, variando de 12.300 m³. até 6.165.000 m³. Se o volume represado na crista da barragem for maior do que 6.165.000 m³, então se pode usar a seguinte equação desenvolvida pelo Bureau of Reclamation (USBR) em 1986 (em unidades do sistema inglês):

$$Q_x = Q_p (10)^{-0,02x}$$

onde: Q_x = vazão máxima (cfs) correspondendo à distância x

Q_p = vazão máxima na seção do rompimento (cfs)

x = Distância à barragem (miles)

121. Em unidades do Sistema Internacional, tem-se a seguinte equação:

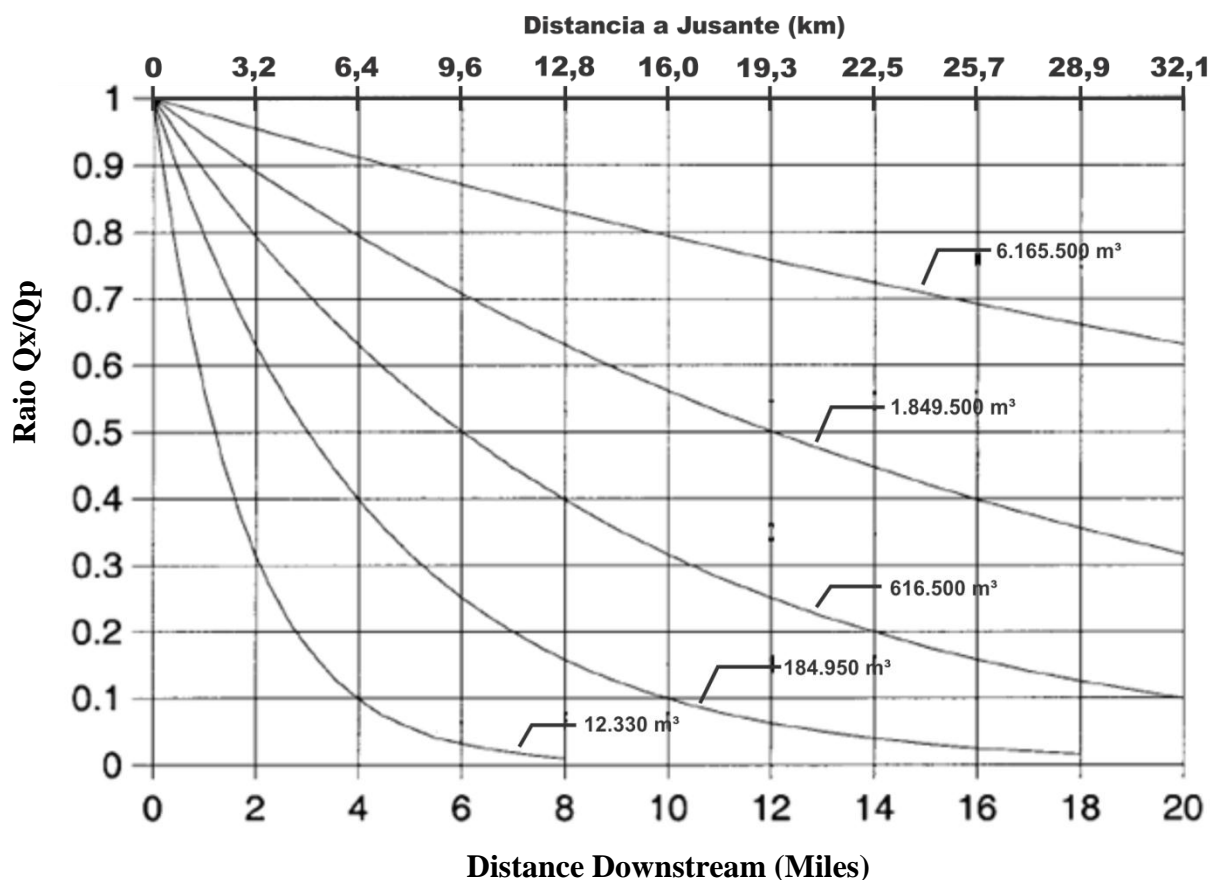
$$Q_x = Q_p (10)^{-0,01243x}$$

onde: Q_x = vazão máxima (m³/s) correspondendo à distância x

Q_p = vazão máxima na seção do rompimento (m³/s)

x = Distância à barragem (km)

Figura 10– Atenuação do Pico de Fluxo pela Distância a Jusante



Fonte: U.S. Department of Homeland Security, Dams Sector, Estimating Loss of Life for Dam Failure Scenarios, September 2011 (Figure 1, page 27).

4.3.4 Passo 4 – Área Inundada a Jusante

122. É preciso obter os melhores dados topográficos disponíveis para a área avaliada. No Brasil, os mapas topográficos digitais de maior escala têm a resolução de 90 m x 90 m e consistem no MDE proveniente da Missão Topográfica Radar Shuttle (*Shuttle Radar Topography Mission - SRTM*). Considerando o volume máximo da barragem avaliada, seleciona-se a distância a ser percorrida pela onda de cheia a jusante, de acordo com o apresentado na

Tabela 27. A partir dos contatos das ombreiras, e usando as curvas de nível no mapa topográfico, é possível obter as variações de largura do canal ao longo do vale e delinear a largura da área inundada até a distância estimada a jusante. O comprimento da crista da barragem entre as ombreiras pode ser o ponto de partida para a largura da área de fluxo no canal. A largura do canal a qualquer distância determinada da barragem é considerada como a distância entre curvas de nível iguais nas margens opostas do rio. Mais uma vez, se houver casas, comércio ou estradas próximos ao leito do rio, no final da distância recomendada a jusante, pode ser preciso estender a área inundada para incluir as estruturas e/ou infraestrutura adicionais.

123. A área inundada resultante é a superfície que seria atingida pela cheia do rompimento da barragem. Esta área também pode identificar as zonas de fluxo em alta velocidade e retratar a inundação para seções transversais representativas do canal. Esta informação é produzida rotineiramente por muitos modelos computacionais de propagação de cheias, e os mapas de inundação podem ser elaborados conhecendo-se algumas seções transversais e a altura da cheia em cada seção, em conjunto com mapas topográficos adequados. No caso da abordagem simplificada, as velocidades de fluxo, áreas transversais e profundidades da cheia serão obtidas empiricamente, conforme descrito adiante.

4.3.5 Passo 5 – Inundação a Jusante

124. Com a metodologia simplificada é possível fazer uma aproximação razoável da inundação para: qualquer ponto a jusante da barragem usando a vazão de pico calculada no Passo 2; o pico atenuado nesse mesmo local obtido no Passo 3; a largura do canal obtida no Passo 4; e as velocidades representativas de fluxo obtido na **Tabela 29**, como função das características do canal e da declividade do leito.

Tabela 29 – Velocidades Representativas para Estimar a Inundação Causada pelo Rompimento de uma Barragem

TIPO 1 LEITO PRINCIPAL - SEIXOS PLANÍCIE – PRADARIAS, PASTAGENS				TIPO 2 LEITO PRINCIPAL - SEIXOS, PEDRAS PLANÍCIE – IRREGULAR, MATAGAL, ARBUSTOS ESPARSOS				TIPO 3 LEITO PRINCIPAL - SEIXOS, PEDRAS, ROCHAS PLANÍCIE – FLORESTA			
DECLIVI- DADE DO LEITO (pés/milha)	DECLIVI- DADE DO LEITO (m/km)	VELOCI- DADE (pés/seg)	VELOCI- DADE (m/seg)	DECLIVI- DADE DO LEITO (pés/milha)	DECLIVI- DADE DO LEITO (m/km)	VELOCI- DADE (pés/seg)	VELOCI- DADE (m/seg)	DECLIVI- DADE DO LEITO (pés/milh a)	DECLIVI- DADE DO LEITO (m/km)	VELOCI- DADE (pés/seg)	VELOCI- DADE (m/seg)
5	0,95	2,4	0,73	5	0,95	1,7	0,52	5	0,95	1,4	0,43
10	1,89	3,4	1,04	10	1,89	2,4	0,73	10	1,89	1,9	0,58
15	2,84	4,1	1,25	15	2,84	3	0,91	15	2,84	2,4	0,73
20	3,79	4,8	1,46	20	3,79	3,5	1,07	20	3,79	2,7	0,82
30	5,68	5,8	1,77	30	5,68	4,2	1,28	30	5,68	3,3	1,01
40	7,58	6,7	2,04	40	7,58	4,9	1,49	40	7,58	3,8	1,16
60	11,37	8,2	2,50	60	11,37	6	1,83	60	11,37	4,7	1,43
80	15,15	9,5	2,90	80	15,15	6,9	2,10	80	15,15	5,4	1,65
100	18,94	10,6	3,23	100	18,94	7,7	2,35	100	18,94	6,1	1,86
200	37,89	12	3,66	200	37,89	10,9	3,32	200	37,89	8,6	2,62
300	56,83	12	3,66	300	56,83	12	3,66	300	56,83	10,5	3,20
400 ou mais	75,77	12	3,66	400 ou mais	75,77	12	3,66	400 ou mais	75,77	12	3,66

Fonte: Schaefer, M.G., Dam Safety Guidelines, Technical Note 1: Dam Breach Inundation Analysis and Downstream Hazard Classification, Washington State Department of Ecology, Publication No. 92-55E, July 1992 (Table 7, page 17).

125. Para cada trecho, distância a jusante da barragem e a velocidade do fluxo obtida na **Tabela 29**, com a vazão de pico atenuada obtém-se a área transversal no local determinado, usando a seguinte equação:

$$A_x = Q_x/V = L_x P_x$$

onde:

A_x = Área da seção transversal do canal e da planície necessária para passar a cheia (pés² ou m²)

Q_x = Vazão de Pico da cheia no local x (pés³/s ou m³/s)

V = Velocidade media representativa (pés/seg ou m/s)

L_x = Largura média do canal e planície no local x (pés ou m)

P_x = Profundidade média dentro do canal no local x

126. Obtém-se, em seguida, a profundidade da cheia para cada local, ao dividir área média transversal do fluxo pela largura do canal (largura do canal baseado nas dimensões estimadas do canal conforme o Passo 4) e a cada distância considerada a jusante da barragem. Usando os resultados desta abordagem simplificada, ou um modelo computacional, os efeitos potenciais do acúmulo de detritos e do transporte de sedimentos também podem ser considerados, aplicando o discernimento da engenharia. O mapa de inundação deve representar uma estimativa conservadora das consequências de um rompimento de barragem.
127. Esta metodologia simplificada pode ser usada para estimar a área a jusante impactada pela cheia advinda do rompimento ou mau funcionamento de uma barragem, e também para calcular os valores de profundidade da inundação e velocidade do fluxo, necessários para identificar o dano potencial a jusante, conforme diretrizes para a classificação de barragens, descritas no próximo item.

5. DIRETRIZES PARA A CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS

128. O objetivo destas diretrizes é oferecer um procedimento de fácil execução para avaliar cada categoria e parâmetro estabelecidos pelos critérios do CNRH e classificar barragens destinadas a acumular águas reguladas pela ANA e outros órgãos fiscalizadores de acordo com a CRI e o DPA. O art. 2º, inciso VI da Resolução nº 143 do CNRH define área afetada como *área a jusante ou a montante, potencialmente comprometida por eventual ruptura da barragem, cuja metodologia de definição de seus limites deverá ser determinada pelo órgão fiscalizador*. O art. 4º, §1º da mesma Resolução também estipula que o órgão fiscalizador pode complementar os critérios atuais de classificação do CNRH com outros, tecnicamente justificados.
129. Em função da avaliação técnica e qualitativa realizada ao longo deste relatório, foram sugeridas e apresentadas algumas modificações para vários parâmetros e níveis/ponderações dos critérios do CNRH. Além disso, devido à falta de dados topográficos de alta resolução no Brasil, necessários para fazer análises de rompimentos de barragens, recomenda-se uma metodologia simplificada para delinear a área inundada resultante do eventual rompimento de uma barragem, oferecer parâmetros para identificar os danos potenciais a jusante e fazer a opção final quanto à classificação do dano potencial associado. A metodologia simplificada deve ser usada em conformidade com a Seção 4.3 deste relatório e a identificação das potenciais consequências a jusante deve ser estimada de acordo com a Seção 5.2.6. Os impactos a montante da barragem, em decorrência do fechamento emergencial do reservatório para reduzir danos a jusante, fogem ao escopo deste relatório.

5.1. Categoria de Risco (CRI)

130. Obtém-se a CRI somando os valores ponderados totais dos critérios dos parâmetros CT, EC e PS, como apresentado na **Tabela 5**. Dependendo da CRI, uma categoria de risco é atribuída de acordo com a **Tabela 6**. Os critérios para os parâmetros em cada um dos três quadros da CRI, conforme estabelecidas pelo CNRH, foram avaliados e modificações foram sugeridas, conforme Seção 3.1. Os novos quadros a serem aplicados a essas diretrizes de classificação de barragens são apresentados nas **Tabelas 16, 17 e 18**.

5.1.1. Características Técnicas (CT)

131. Esses parâmetros são obtidos no projeto básico de uma barragem. Os critérios do CNRH estabeleceram seis características técnicas: altura, comprimento, tipo da barragem quanto ao material de construção, tipo de fundação, idade da barragem e vazão de projeto. É fácil obter a informação para a maioria desses parâmetros na documentação do próprio projeto, se bem que o discernimento da engenharia é sempre necessário para considerar a ponderação final. Em casos onde não há documentação, a informação solicitada deve ser obtida por investigações no terreno, com levantamentos topográficos e perfurações. Uma vez estimados os níveis e ponderações dos critérios para diferentes parâmetros, o valor das CT é obtido pela soma de todos os parâmetros, conforme apresentado na **Tabela 16**. A seguir são descritos os parâmetros dos critérios para as CT:

- a. Segundo a Lei de Segurança de Barragens, a **altura** se mede do ponto mais baixo da fundação à da crista. No entanto, a altura pode ser calculada como a distância entre a crista e a elevação mais baixa do leito do rio próximo ao pé da barragem, quando não há dados para determinar a profundidade da fundação.
- b. O comprimento da barragem é a distância entre as ombreiras, a não ser que a barragem tenha vários componentes (por exemplo, um vertedouro com comportas e um aterro). Neste caso, o comprimento deve ser a soma de todos os componentes, desde que as estruturas sejam contínuas, atravessando a planície. Porém, a combinação do comprimento e a **razão comprimento/altura** com relação ao tipo de estrutura (com base no material de construção) também deve ser considerada. Por isso, deve ser aplicado o discernimento da engenharia às barragens compostas, para selecionar o nível/ponderação final para este parâmetro. Quando a barragem consiste de uma composição de estruturas de diferentes tipos, o nível/ponderação deve ser a combinação mais crítica ou desfavorável.
- c. Já o **tipo** de barragem, em termos de material de construção, é fácil de identificar. Se, porém, a barragem tiver uma composição de estruturas de tipos diferentes, o tipo selecionado deve ser a combinação mais crítica ou desfavorável. Observe-se que o tipo de estrutura selecionado para a avaliação deve ter também seu respectivo parâmetro de altura.
- d. Os materiais subterrâneos debaixo da planície inundada e das ombreiras ao longo do eixo da barragem, que compõem a **fundação**, podem ser obtidos dos dados geotécnicos normalmente guardados nos documentos de projeto ou no “como construído.” Na ausência destes dados, a única opção é conduzir um levantamento geotécnico. Já que muitos locais têm uma geologia diversa e o material subterrâneo não é o mesmo em qualquer ponto determinado, o material da fundação selecionado para avaliação deve ser o mais crítico encontrado ao longo do eixo da barragem. A seleção final do nível/ponderação também deve se basear no comportamento estrutural com relação ao tipo de barragem e as propriedades mecânicas/hidráulicas da fundação, aproveitando o discernimento da engenharia.
- e. A **idade** da barragem geralmente é o total de anos desde o primeiro enchimento da barragem ou desde quando começou a operar. Para fins de avaliação da categoria de risco, porém, a idade da barragem é a partir da data da conclusão da construção.
- f. A operação segura de uma barragem depende de sua **vazão de projeto**, que pode ser definida como CMP, vazão de projeto padrão ou cheia de uma periodicidade específica (ou intervalo de recorrência). Este parâmetro é um requisito que antecede o projeto de qualquer barragem, porque a altura e os componentes da barragem dependem da cheia de projeto. Para avaliar esse parâmetro, deve ser feita uma análise, se a informação não estiver disponível.

5.1.2. Estado de Conservação (EC)

132. Os parâmetros do EC são essencialmente descrições das deficiências mais comuns que podem existir nas barragens. Algumas das deficiências, dependendo das condições, podem levar a modos de falha potenciais. Os modos de falha potenciais e as deficiências só podem ser analisadas e avaliadas por uma combinação de inspeção visual, monitoramento e interpretação da instrumentação, revisão da documentação (projeto como construído, fotos históricas, registros da construção, inspeções prévias, etc.) e análises da engenharia. Os critérios do CNRH estabeleceram seis condições que podem induzir os modos de falha potenciais: confiabilidade das estruturas extravasoras, confiabilidade das estruturas de adução, percolação, deformações e recalques, deterioração dos taludes e eclusas. Após estimar os níveis e ponderações destes critérios, o valor do EC se obtém pela soma dos parâmetros, conforme apresentado na **Tabela 17**.
133. Nos casos onde a documentação não está disponível para identificar e avaliar as deficiências potenciais, deve-se fazer pelo menos uma inspeção visual da barragem. Alguns dos dispositivos de instrumentação necessários para avaliar as deficiências de uma barragem (se e onde for o caso) incluem, entre outros: piezômetros para medir os níveis da água, a pressão intersticial e os gradientes hidráulicos; inclinômetros para medir as deformações laterais e os movimentos horizontais; soleiras para medir a infiltração; pontos de levantamento topográfico para medir deslocamentos verticais e horizontais; réguas ou marcadores para medir fissuras; e medidores de pressão para medir as subpressões.
134. Outras análises relativas a parâmetros de engenharia, como a estabilidade da estrutura, estabilidade dos taludes, infiltrações, recalques e capacidade de carga também podem ser necessárias para avaliar os parâmetros do EC. Como este critério é considerado o mais relevante para determinar a CRI, é importante ressaltar que atribuir um valor de EC = 10 em qualquer dos parâmetros da matriz automaticamente provoca uma ação imediata ou intervenção na barragem avaliada³. Considerando quantas incertezas podem existir sobre alguns ou todos esses parâmetros, será necessário o exercício de muito discernimento por parte da engenharia. Por isso, um profissional experiente em segurança de barragens deve avaliar este critério. A avaliação desses parâmetros pode servir como previa para uma avaliação de risco mais rigorosa.

5.1.3. Plano de Segurança de Barragem (PS)

135. O plano de segurança da barragem deve conter todos os documentos de segurança de barragem pertinentes a um projeto específico, como a informação sobre projeto/construção e relatórios de inspeção. Como esses documentos são a fonte básica de informações sobre qualquer projeto, os outros dois quadros da CRI dependem em grande medida desse

³ Para $EC \geq 10$ em qualquer coluna dos critérios do Estado de Conservação (EC) implica automaticamente uma Categoria de Risco Muito Alta, e medidas imediatas devem ser adotadas pelo empreendedor da barragem (tabela 12).

critério. Por isso, os critérios usados para avaliar o conteúdo e qualidade do plano de segurança de uma barragem são extremamente importantes para avaliar a CRI. Os critérios do CNRH estabeleceram cinco parâmetros para planos de segurança de barragens: existência de documentação de projeto; estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem; procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento; regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem e relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação. Uma vez estimados os níveis e ponderações desse critério, o valor do PS é obtido pela soma de todos os parâmetros, conforme a **Tabela 3**. A seguir descrevemos os parâmetros dos critérios do plano de segurança de barragem:

- a. Toda a **documentação existente** sobre o projeto deve ser pesquisada e revista. Os níveis e ponderações serão atribuídos de acordo com os pesos e qualidade dessa documentação. Os documentos podem variar desde desenhos completos de projeto (existência de projeto executivo) e/ou do projeto como construído (neste caso a ponderação é mínima) até a ausência de documentação ou apenas desenhos conceituais. Nos casos onde não há uma boa documentação, será preciso fazer um levantamento ou outras pesquisas pertinentes até obter dados suficientes para fazer análises importantes de engenharia das estruturas.
- b. O empreendedor da barragem deve ter algum tipo de **estrutura organizacional** (mesmo que simples) ou ao menos manter um técnico profissional ou um grupo de funcionários treinados, responsáveis pelo manejo da segurança do projeto. Este parâmetro se mede em três níveis: o projeto possui uma organização, possui apenas um técnico ou não possui técnico algum.
- c. Deve haver **procedimentos de inspeções de segurança e de monitoramento**/interpretação da instrumentação (quando for o caso) no projeto, de acordo com a regulamentação. Os quatro níveis para este parâmetro são claramente expressos e fáceis de avaliar. Primeiro, se verifica a existência dos métodos e procedimentos, para depois avaliar se estão sendo adequadamente executados.
- d. Há apenas dois níveis, fáceis de verificar, para a **regra operacional do controle das descargas de água**: ou existe ou não existe. Se a estrutura extravasora for uma estrutura livre (sem comportas a serem controladas), então este parâmetro não tem ponderação alguma.
- e. A existência de **relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação** e a periodicidade de sua emissão são medidas por três níveis: emissão regular, emissão sem periodicidade ou nunca emite relatórios.

5.2. Dano Potencial Associado (DPA)

136. Este quadro foi estabelecido para classificar as barragens de acordo com as consequências potenciais resultantes de um rompimento ou mau funcionamento de uma barragem, e a capacidade total ou de armazenamento do reservatório. Os danos são divididos em três

grupos, cada um representando um parâmetro do quadro: potencial para a perda de vidas humanas; impacto ambiental e impacto socioeconômico. Cada parâmetro, inclusive o volume, recebe um valor ponderado em função das características descritas na **Tabela 19**. As ponderações são atribuídas de acordo com a metodologia simplificada, descrita na Seção 4.3 deste relatório e usadas para delinear a área inundada e identificar os danos potenciais a jusante. Nos próximos parágrafos são descritos os três grupos de danos potenciais e as relações com o nível de perigo de inundação recomendadas pelo USBR para estimar a PeR. As ponderações individuais para determinar o valor do DPA são somadas e o resultado será usado para classificar a barragem avaliada em uma das três categorias de dano potencial associado, apresentadas na **Tabela 7**.

137. As diretrizes para a classificação do dano potencial associado de grandes barragens podem parecer prescindíveis, pois a maioria das grandes barragens é obviamente de dano potencial alto. Mesmo assim, todas as barragens devem receber o mesmo nível de análise quando for preciso, mas estas diretrizes serão mais úteis para as barragens menores. A classificação do dano potencial das pequenas barragens normalmente apresenta muitas incertezas e por isso exige uma análise mais detalhada, discernimento da engenharia e uma sensibilidade pelos impactos da inundação por rompimento ou mau funcionamento. Por mais remota a localização da barragem e/ou diminuta a probabilidade de pessoas serem atingidas por seu rompimento ou mau funcionamento, sempre se pode imaginar uma situação que cause a perda de vidas. Por isso, as diretrizes podem ser muito úteis nestas situações, para evitar um conservadorismo desnecessário e para garantir, na medida do possível, a consistência da classificação do dano potencial.
138. No caso de múltiplas barragens no mesmo curso d'água, se o rompimento de uma barragem a montante pode contribuir para o de outra a jusante, a classificação da barragem a montante deve ser igual ou maior do que o da barragem a jusante. Caso cada barragem no curso d'água rompa independente, a vazão de pico é estimada para cada barragem. Calcula-se então o pico final de descarga pelo rompimento de barragem a jusante de cada uma, como a soma dos picos de descarga de todas as barragens a montante. Para a propagação da onda de cheia proveniente do rompimento das barragens ao longo desse curso d'água com uma série de rompimentos de barragem em cascata, depois de calcular o pico da descarga para cada barragem conforme a descrição acima, podem ser usadas as curvas de atenuação do pico da cheia (ou a fórmula do USBR), onde o volume do reservatório corresponde ao volume total de todos os reservatórios a montante.
139. O custo da barragem e de todas as estruturas e instalações associadas e as perdas do projeto não são contabilizados na classificação dos danos potenciais a jusante. Por outro lado, também ficam fora da classificação desses danos potenciais a jusante as consequências para pessoas ou propriedades a montante causadas pelo repentino esvaziamento do reservatório devido a um rompimento da barragem. Somente se consideram os efeitos diretos de uma cheia causada pelo rompimento ou mau funcionamento de uma barragem sobre as pessoas, propriedades, infraestrutura e áreas ambientalmente sensíveis localizados a jusante da barragem. A seguir, descrevem-se com mais detalhes os parâmetros do quadro do dano potencial associado.

5.2.1. Volume

140. O volume total do reservatório considerado na avaliação de uma barragem deve ser a capacidade máxima de armazenamento da barragem, já que a classificação do dano potencial deve ser baseada na máxima probabilidade dos eventos esperados.

5.2.2. Perda de Vidas Humanas

141. O **potencial para a perda de vidas humanas** ou população em Risco (PeR) é o primeiro fator para determinar a classificação de danos potenciais a jusante. A PeR corresponde basicamente ao número de pessoas que teriam que ser evacuadas de áreas a jusante no caso de um rompimento de barragem. A definição da PeR é o número de pessoas que podem estar presentes em áreas a jusante da barragem e que poderiam estar em perigo no caso de um rompimento de barragem, abrangendo pessoas em domicílios permanentes, lugares de trabalho e áreas de uso temporário.
142. Para estimar a PeR a jusante de uma determinada barragem, a prática comum nos Estados Unidos é presumir três (3) pessoas por estrutura unifamiliar habitada. Segundo o censo de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o número médio de membros de uma família por domicílio no Brasil é 3,3. Assim, pode se usar um valor de 3,5 por estrutura unifamiliar habitada, para estimar a PeR. Informações específicas sobre a provável ocupação da área devem ser coletadas em lugares de trabalho, como unidades de tratamento de água ou esgoto, instalações fabris, fazendas, viveiros de peixe, etc.; e em instalações de uso temporário como estradas principais na beira do rio, estradas que atravessam o canal e sobre a crista da barragem, balneários, acampamentos e áreas de recreação. Em todos os casos, o julgamento deve ser conservador para estimar as áreas inundadas e a PeR.
143. É importante registrar que a classificação do dano potencial trabalha apenas com a PeR, e não estima a perda de vidas humanas (PdV). A estimativa da PdV é o número provável de óbitos causados por um evento de cheia pelo rompimento de uma barragem. A PdV representa uma previsão baseada no tempo de alerta que se teria para evacuar a área afetada em casos de inundações extremas e, também, no uso de dados históricos entre tempo de alerta e a perda de vidas. Determinar a estimativa da perda de vidas implica muitas incertezas e exige um bom discernimento pelo analista. Por esses motivos recomenda-se enfaticamente uma abordagem conservadora para o cálculo da PeR.

5.2.3. Impactos ambientais

144. Os **impactos ambientais** considerados são aqueles que envolvem apenas as situações em que a área atingida a jusante da barragem por causa de um rompimento ou mau funcionamento de uma barragem seja uma área de interesse ambiental ou protegida em legislação específica, ou se encontrar totalmente descaracterizada de suas condições naturais. Atribuir o nível desse parâmetro deve ser um processo rápido, se a informação for bem documentada, já que foram estabelecidos apenas dois níveis: ou a área afetada da

barragem apresenta interesse ambiental relevante, ou não. Mesmo assim, não é fácil avaliar os impactos ambientais, pois ficam mais suscetíveis a avaliações subjetivas ou qualitativas.

5.2.4. Impactos socioeconômicos

145. O **impacto socioeconômico** inclui danos a instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços de lazer e turismo, e os danos econômicos associados, tanto permanentes quanto temporários. A intenção, considerando os danos potenciais à propriedade e perdas econômicas, é identificar a magnitude relativa das perdas em termos de uma ampla escala de valores. Não se trata de avaliar o valor de mercado justo e real ou as perdas monetárias propriamente. Por levar o prefixo “socio-,” também se pode incluir a perturbação de serviços vitais ou do acesso a esses serviços durante ou logo após um evento catastrófico, inclusive por ameaças indiretas à vida. Outro exemplo seria a perda ou danos às próprias instalações de saúde. Há três níveis e impactos apresentados no quadro: inexistente, baixo ou alto.
146. A classificação do dano potencial devido ao impacto socioeconômico se baseia no discernimento do avaliado, mas esse dano geralmente não precisa ser avaliado, pois raramente ocorre.. Isso porque, quando há perdas econômicas, normalmente a PeR será um fator e a classificação do dano potencial a jusante será baseada apenas nela. Por isso, quando uma barragem for classificada como de dano baixo ou significativo pela PeR, só então é que se avalia o impacto socioeconômico, para determinar se se justifica uma classificação maior de todo o dano potencial associado.

5.2.5. Área Inundada a Jusante

147. A área inundada a jusante poderá ser delimitada usando a metodologia simplificada descrita na Seção 4.3 deste relatório. Como o próprio termo sugere, o método é um processo simplificado proposto porque hoje não é possível modelar o rompimento de uma barragem, por uma série de razões. Assim, a metodologia simplificada se baseia em correlações e parâmetros empíricos presentes na literatura sobre a segurança de barragens, e não representa precisamente as condições reais de um determinado local ou projeto. Por isso, é preciso contar com muito discernimento em todas as fases do processo, para se chegar a uma classificação satisfatória do dano potencial associado.

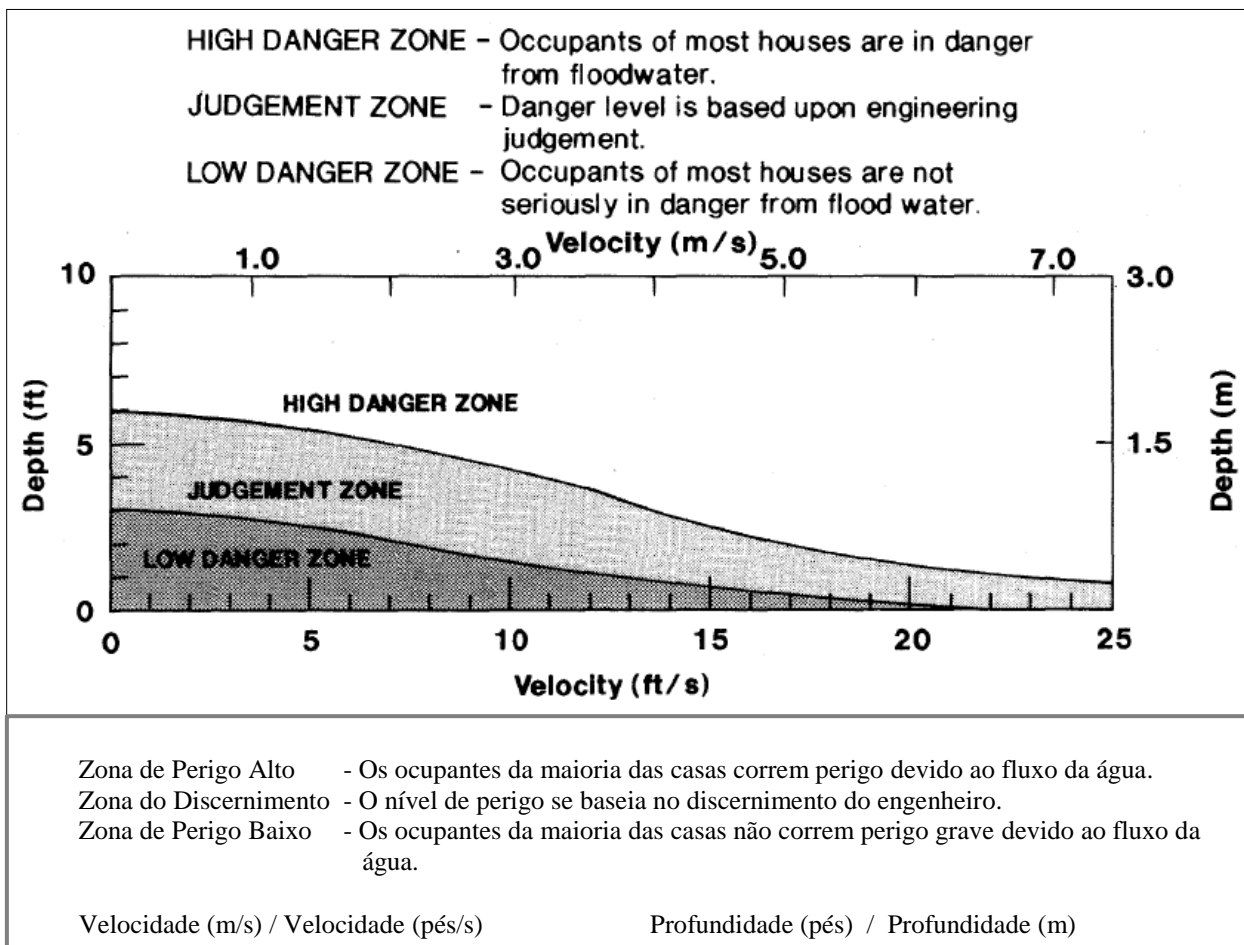
5.2.6. Identificação de Danos Potenciais a Jusante

148. Muitas vezes é evidente a classificação do dano potencial a jusante, pois claramente se percebe que haverá PeR (população em risco). No entanto, outras vezes essa classificação não é tão fácil de fazer por falta de informações. Por essa razão, para complementar a metodologia simplificada recomenda-se usar as relações de nível de perigo de inundação propostas pelo USBR em suas diretrizes de classificação para a identificação dos danos potenciais a jusante, emitidas em 1988.

149. O produto final da metodologia simplificada é a estimativa das profundidades da cheia e das velocidades do fluxo em várias distâncias a jusante da barragem. A metodologia simplificada também pode ser usada para estimar a PeR para os vários danos potenciais.
150. As correlações do USBR incluem curvas de profundidade versus velocidade, indicativas de fluxos de cheia perigosos para vários danos potenciais possíveis. Apesar da dificuldade de quantificar os resultados dessas curvas em um ambiente de pesquisa, as correlações são bastante úteis para estimar a PeR para fins da classificação do dano potencial a jusante. Além disso, elas trazem coerência e objetividade à classificação. Os níveis de perigo da cheia se dividem em três zonas:
- a. **Zona de Perigo Baixo.** Se um possível dano potencial associado estiver relacionado a uma combinação entre profundidade e velocidade dentro desta zona, então se presume que a PeR associada a um dano potencial associado a jusante seja zero.
 - b. **Zona de Perigo Alto.** Se um possível dano potencial associado estiver relacionado a uma combinação entre profundidade e velocidade dentro desta zona, então se presume que haverá PeR em todos os possíveis danos potenciais associados a jusante.
 - c. **Zona de julgamento.** As zonas de perigo baixo e de perigo alto representam os dois extremos da certeza quanto à ocorrência de nenhuma ou de alguma PeR, respectivamente. Entre os dois extremos, há uma zona de incerteza com relação à avaliação da PeR. Pela singularidade de cada cheia, é impossível responder por todas as variáveis que podem resultar em uma PeR, se a magnitude da cheia (profundidade e velocidade) cair nesta zona. Por isso, o avaliador deve usar do discernimento da engenharia para determinar a PeR nesta zona.
151. Os limites entre as zonas não são precisas, assim como a previsão da PeR. Se o avaliador tiver sólidas razões para acreditar que haverá PeR nas condições da zona de perigo baixo, ou que não haverá PeR nas condições da zona de perigo alto, então sua lógica pode prevalecer sobre os resultados gráficos. Ele deve, porém, documentar suas razões no relatório de classificação do dano potencial associado.
152. Na classificação de grandes barragens onde pode ocorrer uma inundação catastrófica, o uso de curvas de nível do perigo de inundação é redundante pela obviedade do perigo de inundação.
153. Por outro lado, em situações nas quais a classificação do dano potencial associado de uma barragem depende apenas de um evento isolado de cheia, onde podem estar em perigo os ocupantes de uma casa ou de um veículo, ou uma pessoa sem a proteção de uma casa, é preciso empregar as curvas. Nestas condições, o avaliador deverá prever uma profundidade e uma velocidade razoáveis para o local e precisa decidir quanto ao efeito da cheia, para poder avaliar a PeR.

154. Se as profundidades e velocidades não puderem ser previstas com segurança, será preciso então adotar uma abordagem conservadora e presumir que haverá risco causado pelo rompimento de uma barragem e assim, considerar que haverá dano potencial a jusante.
155. A classificação do dano potencial associado raramente se baseia apenas nas perdas econômicas, portanto normalmente não é preciso julgar essas perdas. Isso porque na maioria das situações em que há perda econômica, ocorre também PeR. Uma situação de PeR igual a zero com perdas econômicas excessivas raramente produzirá uma classificação de dano potencial associado médio ou alto com base apenas no impacto socioeconômico. Por isso, é melhor atribuir à barragem uma classificação de dano potencial associado baseada na PeR antes de considerar o impacto socioeconômico. Se a PeR levar a uma classificação de dano potencial associado alto, então não é necessário estimar o impacto socioeconômico, porque não terá impacto na classificação do dano potencial associado. Se a classificação do dano potencial associado, porém, for menor do que alto, deve-se avaliar o impacto socioeconômico, para determinar se a classificação do dano potencial associado deve aumentar.
156. A PeR deve ser avaliada de acordo com quatro possíveis danos potenciais associados, usando as curvas do nível de perigo de inundação correspondentes: (a) habitações permanentes, edifícios comerciais e públicos e áreas de trabalho; (b) casas móveis; (c) rodovias; e (d) vias de pedestres (adultos e crianças). Os acampamentos e áreas de recreação designados são avaliados junto com as curvas do nível de perigo de inundação das vias de pedestres. Para uma comunidade típica onde todos os possíveis danos potenciais associados podem existir, a estimativa da PeR pode exigir o uso de algumas ou de todas as relações.
157. As habitações permanentes são casas com alicerces e serviços públicos. Áreas de trabalho incluem instalações onde funcionários realizam trabalhos diários e incluem fazendas, extração de petróleo/gás, pedreiras e piscicultura. A PeR abrange todos os ocupantes das estruturas permanentes localizadas na área inundada e plotadas acima da zona de perigo baixo, como apresentado na **Figura 11**. Não é possível avaliar a PeR, no entanto, se o resultado cair dentro da zona de julgamento, a não ser com uma justificativa. A PeR sempre se associa a pessoas que ocupam casas plotadas dentro da zona de perigo alto, a não ser em casos muito especiais onde houver uma forte justificativa. Se for impossível prever a profundidade e velocidade com razoável confiança, então a PeR deve incluir todos os ocupantes de residências dentro dos limites de inundação, sem referência à profundidade ou velocidade, e a classificação do dano potencial associado a jusante será atribuída em função desta PeR.

Figura 11 – Relação Profundidade/Velocidade para o Nível de Perigo de Inundação para Casas Construídas Sobre Fundações

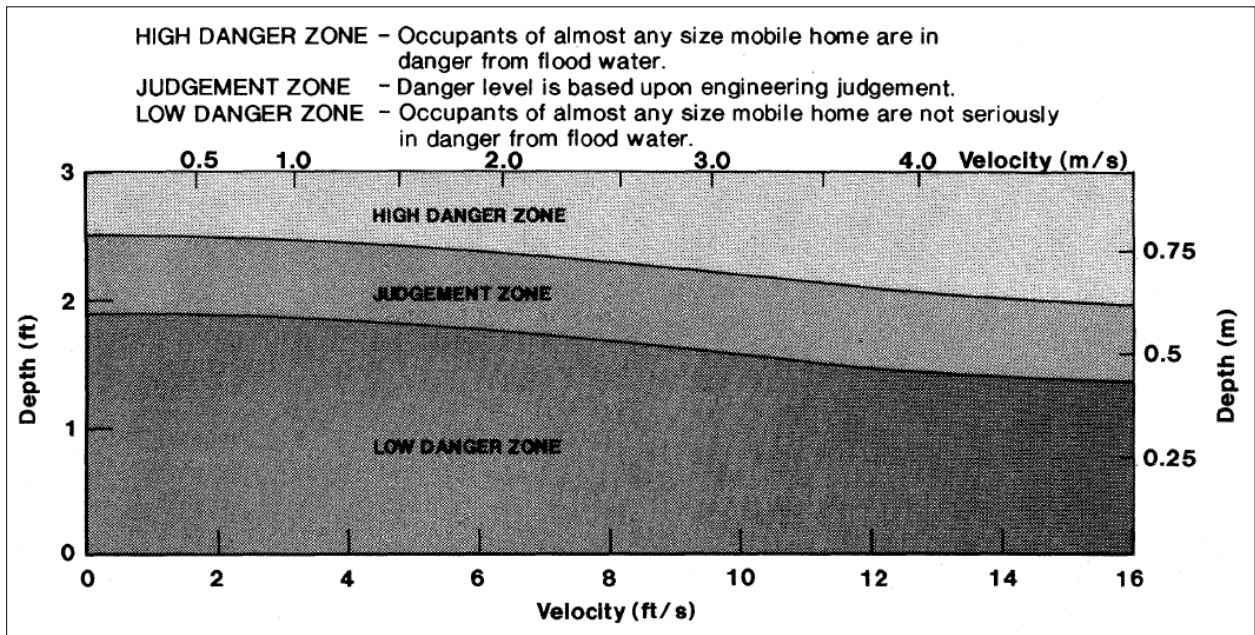


Fonte: USBR, Downstream Hazard Classification Guidelines, ACER Technical Memorandum No. 11, U.S. Department of Interior, USBR, December, 1988

158. Os parques de casas móveis tipicamente são instalados em planícies inundáveis, pelas condições de zoneamento em muitas áreas, e criam assim uma situação muito perigosa para seus ocupantes. A PeR inclui todos os ocupantes de casas móveis localizadas na área inundada plotada acima da zona de perigo baixo, independentemente da profundidade, como apresentado na **Figura 12**. A não ser que haja uma justificativa, no entanto, não se pode avaliar uma PeR se ela for plotada dentro da zona de julgamento. A PeR sempre se

associa a pessoas que ocupam casas móveis que caem dentro de zonas de perigo alto, a não ser em casos muito especiais onde houver uma forte justificativa. Se a profundidade e velocidade da cheia não forem previsíveis com um grau razoável de segurança, a PeR deve incluir todos os ocupantes de casas móveis dentro dos limites da inundação sem referência à profundidade ou velocidade, e a classificação do dano potencial associado a jusante será atribuída em função desse número de ocupantes.

Figura 12 – Relação Profundidade/Velocidade para o Nível de Perigo de Inundação para Casas Móveis



Zona de Perigo Alto - Os ocupantes de casas móveis de qualquer tamanho correm perigo devido ao fluxo da água cheia.
Zona do Discernimento - O nível de perigo se baseia no discernimento do engenheiro.
Zona de Perigo Baixo - Os ocupantes de casas móveis de qualquer tamanho não correm perigo grave devido ao fluxo da água.

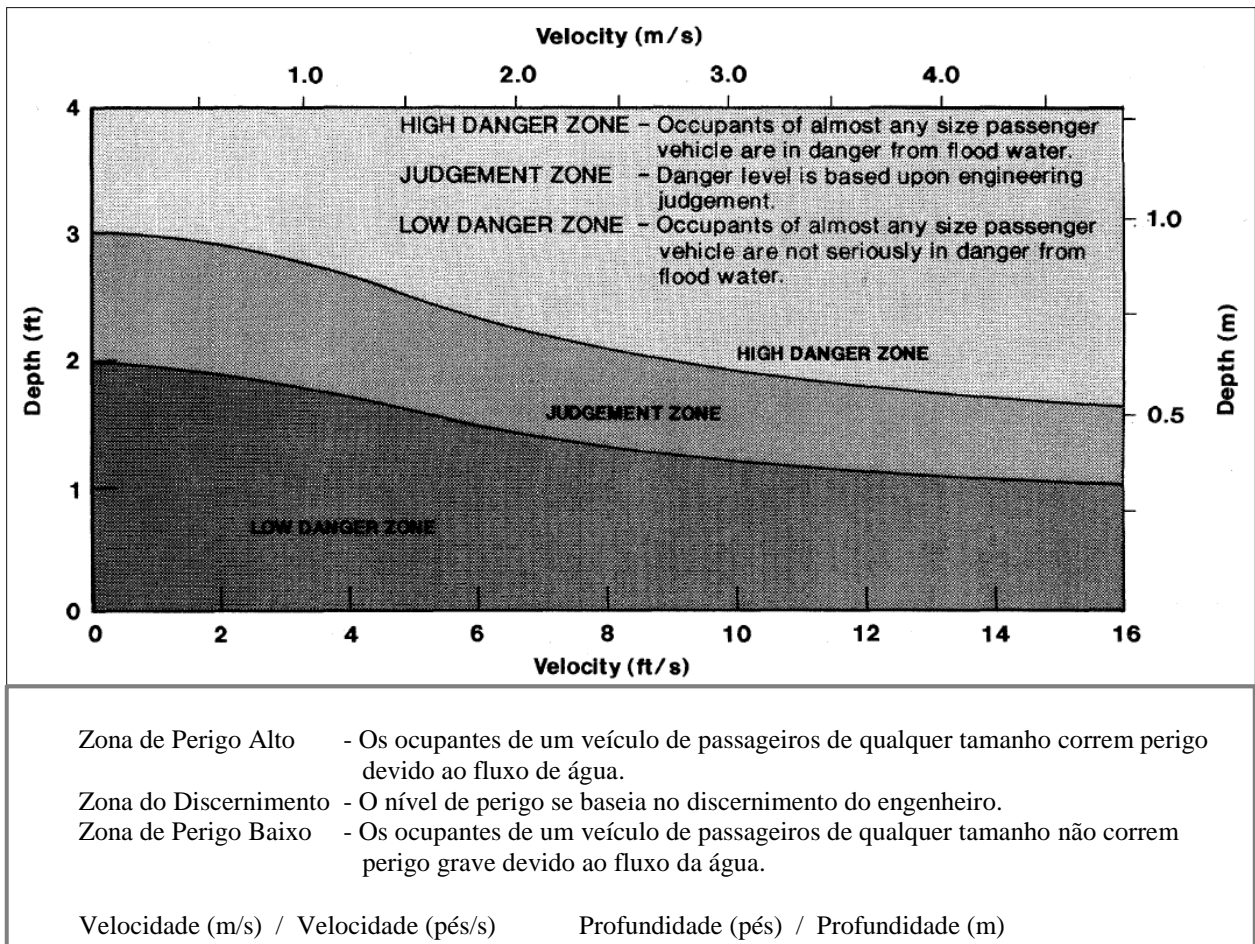
Velocidade (m/s) / Velocidade (pés/s) Profundidade (pés) / Profundidade (m)

Fonte: USBR, Downstream Hazard Classification Guidelines, ACER Technical Memorandum No. 11, U.S. Department of Interior, USBR, December, 1988

159. O potencial para a perda de vidas em uma rodovia pode acontecer por causa de um rompimento de barragem, inclusive se (a) um veículo for levado a jusante pela cheia, (b) ocorrer perda do controle e um acidente com veículo impactado pela cheia, e (c) ocorrer um acidente com veículo causado por danos à rodovia depois da passagem da cheia. O

último caso não cabe na classificação de dano potencial associado, porque apenas os impactos diretos da onda de cheia são considerados na estimativa da PeR. Apenas as rodovias pavimentadas cabem na estimativa de PeR, mas as não pavimentadas podem ser avaliadas se houver justificativa. A PeR inclui todos os ocupantes de veículos localizados dentro da área inundada e que plotagem indique um ponto acima da zona de perigo baixo, como apresentado na **Figura 13**. A não ser que haja uma justificativa, no entanto, não se pode avaliar a PeR se o ponto cair dentro da zona de julgamento. A PeR sempre se associa a pessoas que ocupam veículos cuja plotagem caia dentro da zona de perigo alto, a não ser em casos muito especiais onde houver uma forte justificativa. Se a profundidade e velocidade da cheia não forem previsíveis com um grau razoável de segurança, a PeR deve incluir todos os ocupantes de veículos dentro dos limites da inundação sem referência à profundidade ou velocidade, e a classificação do dano potencial associado a jusante será atribuída em função desse número de ocupantes.

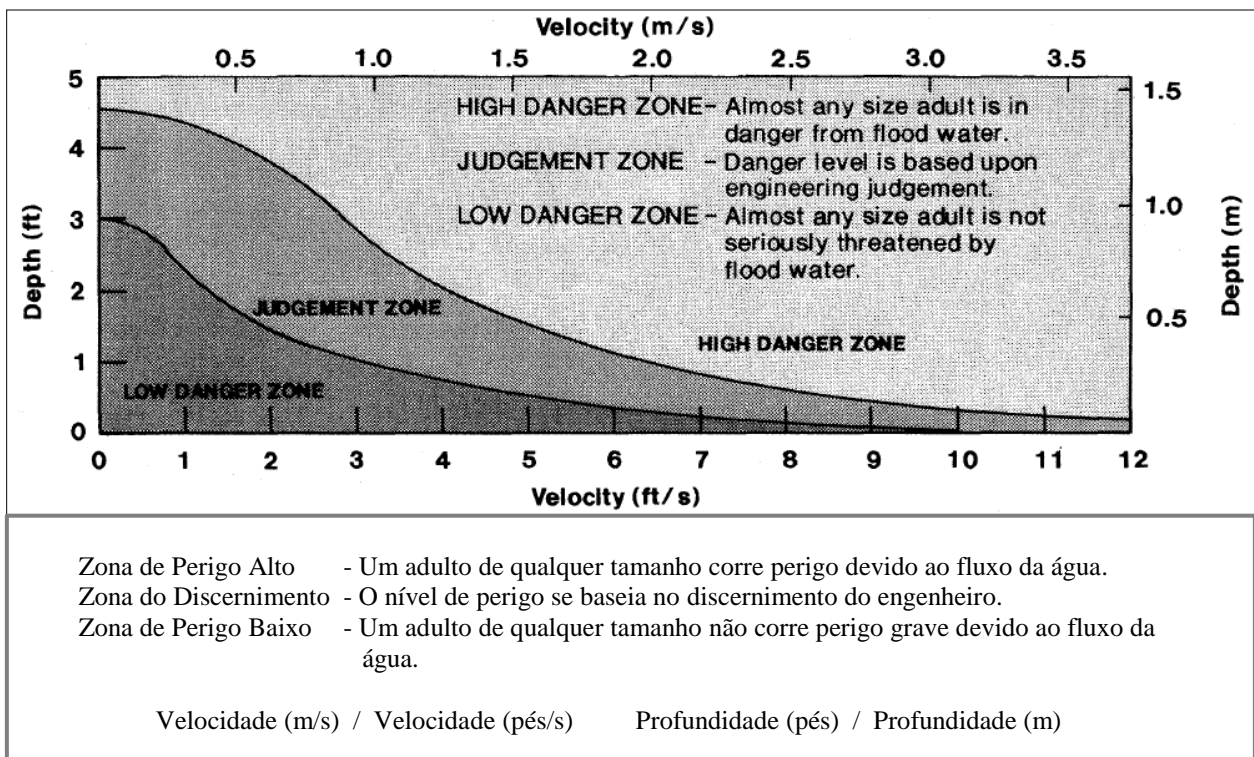
Figura 13 – Relação Profundidade/Velocidade para o Nível de Perigo de Inundação para Veículos de Passageiros



Fonte: USBR, Downstream Hazard Classification Guidelines, ACER Technical Memorandum No. 11, U.S. Department of Interior, USBR, December, 1988

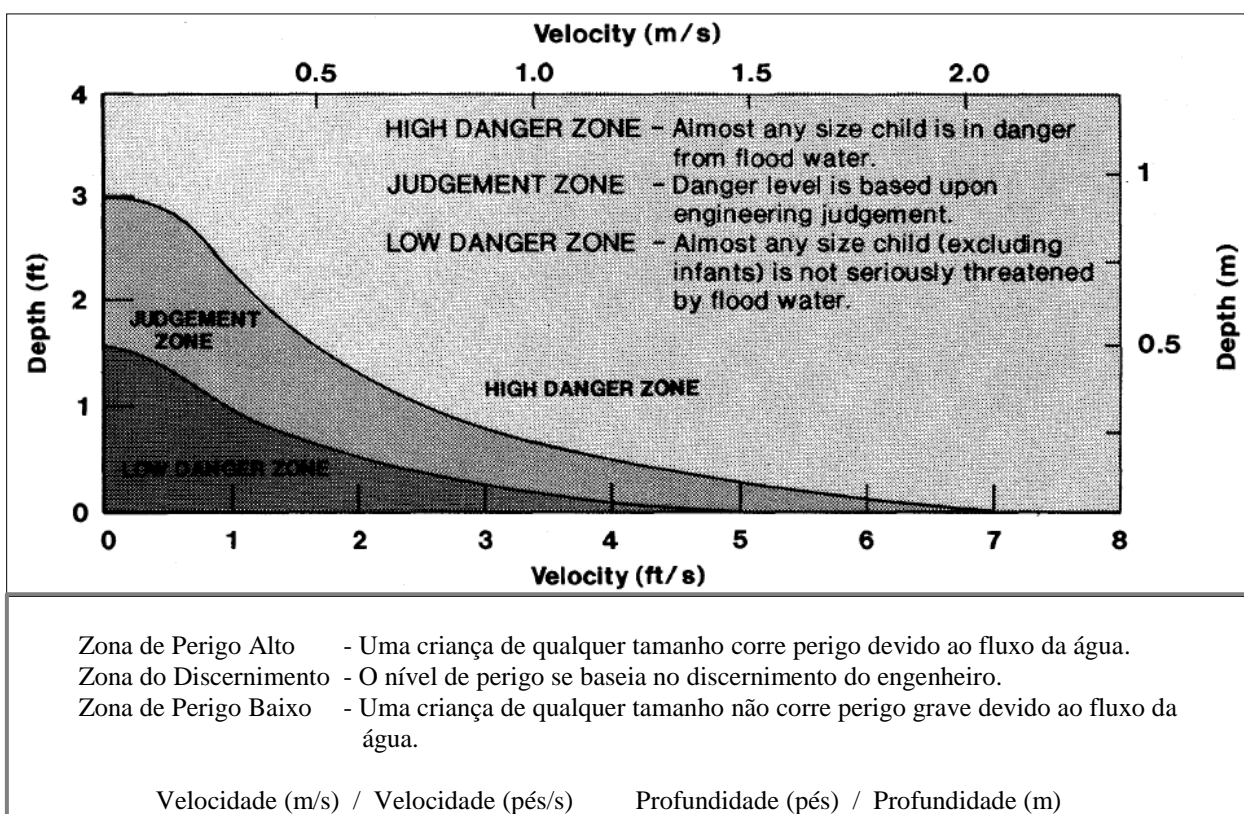
160. Vias de pedestres abrangem calçadas, cicloviás e trilhas para caminhadas. Em situações onde as vias de pedestres podem ser isoladas e/ou podem influenciar a classificação do dano potencial associado, a PeR pode ser estimada usando as **Figuras 14 e 15** (para adultos e crianças, respectivamente). A opção de usar uma figura ou a outra será uma decisão do avaliador, com base em seu conhecimento e compreensão da população. Em casos de populações mistas (adultos e crianças), porém, deve-se usar a **Figura 15**, por ser mais conservadora. Não se dá um tratamento separado para os bebês, pois se presume que estarão seguros sob a guarda de adultos. A PeR inclui todos os pedestres localizados dentro da área inundada cujo ponto plotado cair acima da zona de perigo baixo. A não ser que haja uma justificativa, no entanto, não se pode avaliar PeR se o ponto cair dentro da zona de julgamento. A PeR sempre se associa a pedestres cuja plotagem caia dentro da zona de perigo alto, a não ser em casos especiais onde houver uma forte justificativa. Se a profundidade e velocidade da cheia não forem previsíveis com um grau razoável de segurança, a PeR deve incluir todas as pessoas dentro dos limites da inundação sem referência à profundidade ou velocidade, e a classificação do dano potencial associado a jusante será atribuída em função desse número.

Figura 14 – Relação Profundidade/Velocidade para o Nível de Perigo de Inundação para Pedestres Adultos



Fonte: USBR, Downstream Hazard Classification Guidelines, ACER Technical Memorandum No. 11, U.S. Department of Interior, USBR, December, 1988

Figura 15 – Relação Profundidade/Velocidade para o Nível de Perigo de Inundação para Pedestres Crianças



Fonte: USBR, Downstream Hazard Classification Guidelines, ACER Technical Memorandum No. 11, U.S. Department of Interior, USBR, December, 1988

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

161. O universo atual das barragens a serem classificadas pela ANA é de 131 barragens, para a maioria das quais se conhece as seguintes informações: (a) dados pertinentes à classificação, (b) desenhos esquemáticos, (c) mapa de localização e acesso, (d) registros das visitas de campo e (e) fotos.
162. A classificação das barragens fiscalizadas pela ANA torna-se um desafio, na medida em que alguns dos dados relevantes necessários para a classificação, de acordo com os critérios do CNRH, não estão prontamente disponíveis. Alguns dos dados críticos ausentes, mas necessários para a classificação das barragens, incluem características técnicas gerais como idade, vazão de projeto e tipo de fundação; detalhes sobre o estado de conservação das barragens e documentação pertinente ao plano de segurança da barragem.
163. Serão, portanto, necessários maiores esforços para reunir essas informações adicionais, a fim de classificar as barragens fiscalizadas pela ANA com rigor. Parte desses esforços será contatar os empreendedores das barragens e fazer reuniões com os funcionários que fizeram as visitas de campo.
164. Caso isso não ocorra em tempo, a primeira classificação das barragens fiscalizadas pela ANA terá que realizar muitas suposições que implicarão em classificações mais conservadoras.
165. As diretrizes apresentadas neste relatório para a adoção de uma metodologia simplificada para a classificação de barragens são destinadas a realizar uma abordagem conceitual sobre o assunto, de acordo com a Classificação de Risco e com o Dano Potencial Associado. Essa abordagem será ampliada pelo DSIET no processo de aplicação da metodologia às barragens reguladas pela ANA e será detalhada no próximo produto específico sobre a classificação de barragens. Portanto, no caso de outras entidades fiscalizadoras de barragens recorrerem à mesma metodologia simplificada utilizada pela ANA, essas entidades devem utilizar o produto específico citado acima.

REFERÊNCIAS

As seguintes referências foram pesquisadas e revisadas, e parte de seu conteúdo usado na preparação deste relatório.

Agência Nacional de Águas (ANA), Ministério do Meio Ambiente, Brasil, **Resolução No. 742**, 17 de outubro de 2011.

Agência Nacional de Águas (ANA), Ministério do Meio Ambiente, Brasil, **Resolução No. 91**, 2 de abril de 2012.

Banco Mundial no Brasil, **Serviços Analíticos e Consultivos em Segurança de Barragens para a Agência Nacional de Águas (ANA), Produto 1: Plano de Trabalho**, setembro de 2012.

Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), Ministério do Meio Ambiente, Brasil, **Resolução nº. 143**, 10 de julho de 2012.

Davis, A. P., e Gotzmer, J. W., **Guideline for Assigning Hazard Potential Classification to Dams**, 1998.

Froehlich, D. C., **Peak Outflow from Breached Embankment Dam**, *ASCE Journal of Water Resources, Planning, and Management*, Vol. 121 No. 1, pp. 90-97, 1995.

Fusaro, T. C., **Metodologia de Classificação de Barragens Baseada no Risco**, Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig), 12 p., SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS (SNGB), 2003.

Graham, W. J., **A Procedure for Estimating Loss of Life Caused by Dam Failure**, DSO-99-06, U.S. Department of Interior, USBR, setembro 1999.

International Commission on Large Dams (ICOLD), **Dam Failures Statistical Analysis**, *Bulletin 99*, 1995.

Kuperman, S.C. et al., **Análise de Risco e Metodologia de Tomada de Decisões para Barragens: Evolução do Sistema Empregado pela Sabesp**, SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS (SNGB), 2001.

Lemieux, M., e Robinson, A., **Evacuation vs. Inundation Maps: Which One Should Your Emergency Action Plan Contain?**, State of Montana Dam Safety Program, ASDSO, 2008.

Menescal, R. de A. et al., **Uma Metodologia para a Avaliação do Potencial de Risco em Barragens do Semi-Arido**, SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS (SNGB), 2001.

Middlebrooks, T.A., **Earth Dam Practice in the United States**, ASCE Centennial Transactions Paper 2620, 1952, pp. 697-722.

Ministerio de Medio Ambiente, **Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas, España, Clasificación de Presas en Función de Riesgo Potencial: Guía Técnica**, novembro 1996.

Schaefer, M.G., **Dam Safety Guidelines, Technical Note 1: Dam Breach Inundation Analysis and Downstream Hazard Classification**, Washington State Department of Ecology, Publication No. 92-55E, julho 1992.

State of Queensland, Australia, Department of Environment and Resource Management, Office of the Water Supply Regulator, **Guidelines for Failure Impact Assessment of Water Dams**, junho 2010.

NASA (2000). Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>> Acesso em: 25/04/2013.

USBR, **Downstream Hazard Classification Guidelines, ACER Technical Memorandum No. 11, U.S. Department of Interior**, USBR, dezembro, 1988.

U.S. Department of Homeland Security, Dams Sector, **Estimating Loss of Life for Dam Failure Scenarios**, setembro 2011.

Wahl, T. L., **Prediction of Embankment Dam Breach Parameters: A Literature Review and Needs Assessment, DSO-98-004**, U.S. Department of Interior, USBR, 1998.

Wahl, T. L., **Uncertainty of Predictions of Embankment Dam Breach Parameters**, ASCE Journal of Hydraulic Engineering, pp. 389-397, maio 2004.

Washington State Department of Ecology, **Dam Safety Guidelines, Technical Note 2: Selection of Design/Performance Goals for Critical Project Elements**, Publication No. 92-55F, julho 1992.