

ANEXO I

Quadro para classificação das Barragens de Acumulação de Água

1 – Identificação do Empreendimento

Nome da Barragem: _____
 Nome do Empreendedor: _____
 Data: _____

2 – Categoria de Risco (CRI)

Pontuação	Pontos
Quadro 1 – Características Técnicas (CT)	
Quadro 2 – Estado de Conservação (EC)	
Quadro 3 – Plano de Segurança de Barragens (PS)	
Pontuação Total (CRI) = CT + EC + PS	

Classificação CRI	Faixa de Pontos do CRI
Alto <input type="checkbox"/>	CRI ≥ 60 ou EC(*) ≥ 8
Médio <input type="checkbox"/>	35 < CRI < 60
Baixo <input type="checkbox"/>	CRI ≤ 35

(*) Pontuação ≥ 8 em qualquer coluna de EC implica automaticamente CATEGORIA DE RISCO ALTA e necessidade de providências imediatas pelo responsável da barragem.

3 – Dano Potencial Associado (DPA)

Pontuação	Pontos
Quadro 4 – Dano Potencial Associado (DPA)	

Classificação DPA	Faixa de Pontos do DPA
Alto <input type="checkbox"/>	DPA ≥ 16
Médio <input type="checkbox"/>	10 < DPA < 16
Baixo <input type="checkbox"/>	DPA ≤ 10

4 – Resultado Final da Avaliação

Resultado Final da Avaliação	Classificação		
	Alto	Médio	Baixo
Categoria de Risco (CRI)			
Dano Potencial Associado (DPA)			

5 – Matriz da Categoria de Risco e Dano Potencial Associado (Anexo II)

Classe A B C D

Assinatura do Empreendedor
 RG.: _____ / CPF: _____

ANEXO I – Quadro 1

Pontuação das Características Técnicas (CT) para classificação da Categoria de Risco (CRI)

Características Técnicas	Discriminação	Pontos	Pontuação do CT
Altura (H)	H ≤ 15 m	0	<input type="checkbox"/>
	15 m < H < 30 m	1	
	30 m ≤ H ≤ 60 m	2	
	H > 60 m	3	
Comprimento (L)	L ≤ 200 m	2	<input type="checkbox"/>
	L > 200 m	3	
Tipo de Barragem quanto ao material de construção	Concreto convencional	1	<input type="checkbox"/>
	Alvenaria de pedra/concreto ciclópico/concreto rolado - CCR	2	
	Terra homogênea/enrocamento/terra enrocamento	3	
Tipo de fundação	Rocha sã	1	<input type="checkbox"/>
	Rocha alterada dura com tratamento	2	
	Rocha alterada sem tratamento/rocha alterada fraturada com tratamento	3	
	Rocha alterada mole/saprolito/solo compacto	4	
Idade da Barragem (I) em anos	Solo residual/aluvião	5	<input type="checkbox"/>
	30 ≤ I ≤ 50	1	
	10 ≤ I < 30	2	
	5 ≤ I < 10	3	
Vazão de cheia de projeto	I < 5 ou I > 50 ou sem informação	4	<input type="checkbox"/>
	CMP (Cheia máxima provável) ou decamilenar	3	
	Milenar	5	
	TR = 500 anos	8	
Vazão de cheia de projeto	TR < 500 anos ou desconhecido / estudo não confiável	10	<input type="checkbox"/>
PONTUAÇÃO TOTAL - CT			

ANEXO I – Quadro 2

Pontuação do Estado de Conservação (EC) para classificação da Categoria de Risco (CRI)

Estado de conservação (EC)	Condição	Pontos	Pontuação do EC
Confiabilidade das estruturas extravasoras	Estruturas civis e hidroeletrônicas em pleno funcionamento / canais de aproximação ou de restituição ou vertedouro (tipo soleira livre) desobstruídos	0	<input type="checkbox"/>
	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 riscos a estrutura vertente	4	
	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos 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 hidroeletrônicos 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	
Confiabilidade das estruturas de adução	Estruturas civis e dispositivos hidroeletrônicos em condições adequadas de manutenção e funcionamento	0	<input type="checkbox"/>
	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação	4	
	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas	6	
Percolação	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem	0	<input type="checkbox"/>
	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras estabilizadas e/ou monitoradas	3	

Deformações e recalques	Inexistente	0	<input type="checkbox"/>
	Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo	1	
	Existência de trincas e abatimentos de impacto considerável gerando necessidade de estudos adicionais ou monitoramento	5	
	Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos expressivos, com potencial de comprometimento da segurança	8	
Deterioração dos taludes / paramentos	Inexistente	0	<input type="checkbox"/>
	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de arbustos de pequena extensão e impacto nulo	1	
	Erosões superficiais, ferragem exposta, crescimento de vegetação generalizada, gerando necessidade de monitoramento ou atuação corretiva	5	
	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança	7	
Eclusa	Não possui eclusa	0	<input type="checkbox"/>
	Estruturas civis e hidroeletrônicas bem mantidas e funcionando	1	
	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos com problemas identificados e com medidas corretivas em implantação	2	
	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos com problemas identificados e sem medidas corretivas	4	
PONTUAÇÃO total - EC			

ANEXO I – Quadro 3

Pontuação do Plano de Segurança da Barragem (PS) para classificação da Categoria de Risco (CRI)

Plano de Segurança da Barragem (PS)	Discriminação	Pontos	Pontuação PS
Existência de documentação de projeto	Projeto executivo e "como construído"	0	<input type="checkbox"/>
	Projeto executivo ou "como construído"	2	
	Projeto básico	4	
	Anteprojeto ou projeto conceitual	6	
	Inexiste documentação de projeto	8	
Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem	Possui estrutura organizacional com técnico responsável pela segurança da barragem	0	<input type="checkbox"/>
	Possui técnico responsável pela segurança da barragem	4	
	Não possui estrutura organizacional e responsável técnico pela segurança da barragem	8	
Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento	Possui e aplica procedimentos de inspeção e monitoramento	0	<input type="checkbox"/>
	Possui e aplica apenas procedimentos de inspeção	3	
	Possui e não aplica procedimentos de inspeção e monitoramento	5	
	Não possui e não aplica procedimentos para monitoramento e inspeções	6	
Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem	Sim ou vertedouro tipo soleira livre	0	<input type="checkbox"/>
	Não	6	
Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação	Emite regularmente os relatórios	0	<input type="checkbox"/>
	Emite os relatórios sem periodicidade	3	
	Não emite os relatórios	5	
PONTUAÇÃO total do PS			

ANEXO I – Quadro 4
Pontuação para classificação do **Dano Potencial Associado (DPA)**

Dano Potencial Associado (DPA)	Situação	Pontos	Pontuação DPA
Volume total do reservatório (VT)	Pequeno ($VT \leq 5 \text{ hm}^3$)	1	□
	Médio ($5 \text{ hm}^3 < VT \leq 75 \text{ hm}^3$)	2	
	Grande ($75 \text{ hm}^3 < VT \leq 200 \text{ hm}^3$)	3	
	Muito grande ($VT > 200 \text{ hm}^3$)	5	
Potencial de perdas de vidas humanas	Inexistente (Não existem pessoas permanentes / residentes ou temporários / transitando na área afetada a jusante da barragem)	0	□
	Pouco frequente (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local)	4	
	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	
	Existente (Existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas)	12	
Impacto ambiental	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	□
	Muito significativo (Área afetada da barragem apresenta interesse ambiental relevante ou protegida em legislação específica)	5	
Impacto sócio-econômico	Inexistente (Não existe quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem)	0	□
	Baixo (Existe pequena concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviço de navegação)	4	
	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	
Pontuação total do DPA			

ANEXO II

Matriz de Categoria de Risco e Dano Potencial Associado

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

ANEXO III

Conteúdo mínimo de Plano de Segurança de Barragem

Volume I - Informações gerais

1. Informações gerais

1.1. Identificação do Empreendedor

1.2. Histórico do Empreendimento e sua finalidade

1.3. Caracterização do Empreendimento

1.4. Ficha Técnica do Empreendimento

1.5. Indicação da área do entorno das instalações e seus respectivos acessos a serem resguardados de quaisquer usos ou ocupações permanentes

1.6. Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe técnica de segurança da barragem

1.7. Declaração da classificação da barragem quanto à categoria de risco e dano potencial (Anexo I e seus quadros)

2. Documentação Técnica e Legal

2.1. Projetos existentes

2.2. "Como construído" (As Built)

2.3. Licenças Ambientais, outorgas e demais Autorizações Legais

Volume II - Planos e Procedimentos

1. Para Barragens com vertedores operados com comportas

1.1. Plano de operação das comportas

1.1.1. Regra operacional

1.1.2. Procedimentos para atendimento às regras operacionais definidas pelo empreendedor ou por entidade responsável

1.2. Planejamento das manutenções

1.3. Plano de monitoramento e instrumentação

1.4. Planejamento das inspeções de segurança da barragem

1.5. Cronograma de testes de equipamentos hidráulicos, elétricos e mecânicos

1.6. Registros de operação, manutenção, monitoramento e instrumentação

1.7. Fichas e relatórios de Inspeção de Segurança de Barragens, acompanhado de relatório fotográfico.

2. Para Barragens com vertedores de superfície de Soleira Livre (sem comportas)

2.1. Planejamento das manutenções

2.2. Plano de monitoramento e instrumentação

2.3. Planejamento das inspeções de segurança de barragem

2.4. Fichas e Relatórios de Inspeções de Segurança de Barragem, acompanhado de relatório fotográfico.

Volume III - Plano de Ação de Emergência - PAE

1. Identificação e análise das possíveis situações de emergência

2. Procedimentos para identificação e notificação de mau funcionamento ou de condições potenciais de ruptura da barragem

3. Procedimentos preventivos e corretivos a serem adotados em situações de emergência, com indicação do responsável pela ação

4. Estratégia e meio de divulgação e alerta para as comunidades potencialmente afetadas em situação de emergência

Volume IV

Tomo 1 - Revisão Periódica de Segurança da Barragem

1. Resultado de inspeção detalhada e adequada do local da barragem e de suas estruturas associadas, acompanhado de relatórios fotográfico e filmagem descrevendo a situação da barragem.

2. Reavaliação da segurança hidrológica do Barramento

3. Reavaliação do PAE, quando for o caso

4. Revisão dos relatórios das revisões periódicas de segurança de barragens anteriores

5. Relatório final do Estudo, acompanhado do relatório fotográfico da situação atual do barramento e de vídeo descrevendo as correções e manutenção realizada.

Tomo 2 - Resumo Executivo

1. Identificação da barragem e empreendedor;

2. Identificação do autor do trabalho;

3. Período de realização do trabalho;

4. Listagem dos estudos realizados;

5. Conclusões;

6. Recomendações;

7. Plano de ação de melhoria e cronograma de implantação das ações indicadas no trabalho.

ANEXO IV
Formulário Técnico da Barragem

1. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR			
Nome do empreendimento:			
Empreendedor:		CPF / CNPJ:	
Nº Processo DAEE:	Nº Portaria DAEE:	Data da Portaria:	
Figura Jurídica:			
<input type="checkbox"/> Pessoa Física <input type="checkbox"/> Empresa Privada <input type="checkbox"/> Empresa Pública <input type="checkbox"/> Sociedade de economia <input type="checkbox"/> Autarquia <input type="checkbox"/> Administração direta <input type="checkbox"/> Outros: _____			
Endereço:		Bairro:	Município:
CEP:	Telefone:	E-mail:	
Quantidade total de barragens de propriedade do empreendedor (no mesmo empreendimento):			

2. RESPONSÁVEL LEGAL:		
Nome:	RG:	CPF:
Cargo:		
Telefone:	E-Mail:	

3. IDENTIFICAÇÃO DA BARRAGEM			
Nome do barramento ou aproveitamento objeto do Relatório:			
Coordenadas UTM	MC: _____ °	Município:	
_____ km N		Distrito:	UF:
_____ km E			
Nome do curso d'água:	Área de drenagem (km²):	UGRHI:	
Ano de conclusão da obra:			
Construtor:			
Projetista:			

4. DOCUMENTAÇÃO DE PROJETO, CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO			
Tem Relatório de Estudos Hidrológicos?	<input type="checkbox"/>	Sim	<input type="checkbox"/>
Tem Relatório de Projeto do dimensionamento hidráulico?	<input type="checkbox"/>	Sim	<input type="checkbox"/>
Tem Relatório de Projeto Estrutural?	<input type="checkbox"/>	Sim	<input type="checkbox"/>
Tem Relatório de Como Construído (<i>as built</i>)?	<input type="checkbox"/>	Sim	<input type="checkbox"/>
Tem curva cota x área x volume?	<input type="checkbox"/>	Sim	<input type="checkbox"/>
Tem manuais de instrução dos equipamentos hidromecânicos?	<input type="checkbox"/>	Sim	<input type="checkbox"/>
Tem manuais de procedimentos de operação?	<input type="checkbox"/>	Sim	<input type="checkbox"/>
Tem manuais de procedimentos de manutenção?	<input type="checkbox"/>	Sim	<input type="checkbox"/>
Há regra de operação do reservatório estabelecida?	<input type="checkbox"/>	Sim	<input type="checkbox"/>
Há procedimento escrito de teste das comportas do vertedouro?	<input type="checkbox"/>	Sim	<input type="checkbox"/>
Há procedimento escrito de teste das comportas da tomada d'água?	<input type="checkbox"/>	Sim	<input type="checkbox"/>

5. FINALIDADE DA BARRAGEM			
<input type="checkbox"/>	Regularização de vazões	<input type="checkbox"/>	Aquicultura
<input type="checkbox"/>	Elevação de nível	<input type="checkbox"/>	Dessedentação animal
<input type="checkbox"/>	Controle de cheias	<input type="checkbox"/>	Lazer / Paisagismo
<input type="checkbox"/>	Navegação	<input type="checkbox"/>	Outros: _____

6. DADOS TÉCNICOS DA BARRAGEM	
Altura máxima do maciço principal (m):	Largura do coroamento (m):
Extensão do coroamento da barragem principal (m):	Cota do coroamento da barragem principal (m):
Capacidade do reservatório (hm³):	Maior extensão do reservatório formado (km):

Tipo da Barragem principal:			
<input type="checkbox"/>	Concreto convencional	<input type="checkbox"/>	Terra/gabião
<input type="checkbox"/>	Concreto Ciclópico	<input type="checkbox"/>	Enrocamento
<input type="checkbox"/>	Concreto Compactado a Rolo	<input type="checkbox"/>	Terra/Enrocamento
<input type="checkbox"/>	Gravidade Vertedoura	<input type="checkbox"/>	Terra Homogênea
<input type="checkbox"/>	Alvenaria	<input type="checkbox"/>	Terra Zoneada
<input type="checkbox"/>	Gabião	<input type="checkbox"/>	Outro: _____

Condições de fundação:			
<input type="checkbox"/>	Rocha Sã	<input type="checkbox"/>	Solo Argiloso
<input type="checkbox"/>	Rocha Alterada	<input type="checkbox"/>	Solo Argiloso Tratado
<input type="checkbox"/>	Solo Residual	<input type="checkbox"/>	Solo Permeável
<input type="checkbox"/>	Outro: _____	<input type="checkbox"/>	Aluvião

Estrutura extravasora principal:		
Vertedor de superfície:	Número de comportas:	
<input type="checkbox"/> Escoamento livre	<input type="checkbox"/> Escoamento controlado por comportas:	
Tipo de Acionamento das comportas:	<input type="checkbox"/> Manual	<input type="checkbox"/> Automático
Largura total do vertedor – (m):		
Vazão de projeto do vertedor – (m³/s):		
Tempo de retorno da vazão de projeto do vertedor – (anos):		
Cota do nível d'água máximo maximum – (m):	Cota da soleira do vertedor – (m):	

Estruturas extravasoras complementares		
Tem vertedor auxiliar?	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Tipo de vertedor auxiliar:		
Há descarregador de fundo?	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Descarregador de fundo – tipo:		
Descarregador de fundo – diâmetro:		
Descarregador de fundo com acionamento automático?	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Descarregador de fundo com possibilidade de acionamento manual?	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Vazão de projeto do vertedor complementar – (m³/s):		
Tempo de retorno da vazão de projeto do vertedor complementar – (anos):		

Tomada d'água:		
Tipo:	Dimensões (m):	
Tomada d'água com acionamento automático das comportas?	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Tomada d'água com possibilidade de acionamento manual das comportas?	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não

Sistema de drenagem:	
<input type="checkbox"/>	Filtração moderna
<input type="checkbox"/>	Drenos horizontais e verticais
<input type="checkbox"/>	Aterro homogêneo resistente ao <i>piping</i>
<input type="checkbox"/>	Poços de alívio
<input type="checkbox"/>	Drenos de pé
<input type="checkbox"/>	Sem controle de drenagem interna
<input type="checkbox"/>	Outro, descrever:

7. GESTÃO DA SEGURANÇA DA BARRAGEM		
Tem Equipe Técnica de Segurança de Barragens constituída:	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Responsável Técnico – Nome/CREA nº		

Qualificação profissional da Equipe Técnica de Segurança de Barragens (Escolaridade/Formação de cada integrante):	
Nome do integrante:	Escolaridade/Formação:

Instrumentação:		
<input type="checkbox"/>	Piezômetros	<input type="checkbox"/> Medidor de Junta
<input type="checkbox"/>	Inclinômetros	<input type="checkbox"/> Extensômetro de Fundação
<input type="checkbox"/>	Medidor de vazão	<input type="checkbox"/> Outros, descrever:

Frequência de leitura da instrumentação:		
<input type="checkbox"/>	Diária	<input type="checkbox"/> Mensal
<input type="checkbox"/>	Semanal	<input type="checkbox"/> Automática com transmissão
<input type="checkbox"/>	Outros:	<input type="checkbox"/> Sem leitura

Manutenção:		
Material para manutenção disponível:	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Serviços de manutenção:	<input type="checkbox"/> Próprio	<input type="checkbox"/> Terceirizado
	<input type="checkbox"/> Não dispõe	
Tipo de manutenção realizada:	<input type="checkbox"/> Preventiva	<input type="checkbox"/> Corretiva
	<input type="checkbox"/> Preditiva	<input type="checkbox"/> Não realiza manutenção

Inspeções:		
Frequência de inspeções regulares:	<input type="checkbox"/> Trimestral	<input type="checkbox"/> Semestral
	<input type="checkbox"/> Anual	<input type="checkbox"/> Bianual
	<input type="checkbox"/> Outros:	
Data da última inspeção especial: _____	<input type="checkbox"/> Nunca realizada	

Revisão Periódica de Segurança:	
Data da revisão mais recente: _____	<input type="checkbox"/> Nunca realizada

Plano de Ação de Emergência:		
Tem plano de ação de emergência (PAE) ou de contingência (data da última atualização)?	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
	Data: ____/____/____	
Se sim, indicar nome e telefone da primeira pessoa, externa ao empreendedor, a ser informada em caso de emergência:		
Nome:		
Instituição:		
Telefone:		

8. DANOS POTENCIAIS			
Distância a jusante de unidades habitacionais e equipamentos urbanos e comunitários (km):			
Tipos de edificações, equipamentos urbanos e estruturas em até 25 km a jusante da barragem:			
<input type="checkbox"/>	Habitagens	<input type="checkbox"/>	Áreas agrícolas
<input type="checkbox"/>	Escolas	<input type="checkbox"/>	Edifícios públicos
<input type="checkbox"/>	Hospitais	<input type="checkbox"/>	Vias locais
<input type="checkbox"/>	Indústrias	<input type="checkbox"/>	Rodovias federais/estaduais
<input type="checkbox"/>	Outro barramento. Nome:	<input type="checkbox"/>	Ponte
Outras informações relevantes:			

9. INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES		
Tem vigia:	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Tem operador (24 horas):	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Tem equipe fixa de operação da barragem ou equipe volante:	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Possui escritório no local da barragem:	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Possui edificação de apoio no local da barragem (área construída):	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Tem monitoramento de níveis d'água – Tipo: _____	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Há histórico de acidente anterior?	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
Quando?		
Ano da última reforma/reconstrução:		

Declaro serem verídicas as informações prestadas, sobre as quais assumo total responsabilidade.

_____, _____ de _____ de _____.
Local

Nome do responsável pelo preenchimento deste formulário:

RG. nº _____ CPF. nº _____

Assinatura

ANEXO V

Critérios de enquadramento de barragens quanto ao potencial associado

1- Introdução

Esta Nota Técnica apresenta os elementos técnicos do estudo da onda de rompimento de barragem com a finalidade de dar embasamento para a regulamentação da aplicação da Lei Federal 12.334/10 no Estado de São Paulo a empreendimentos que são responsabilidade de fiscalização pelo DAEE Pelo enquadramento da Lei 12.334/2010 as barragens que deverão compor o Sistema Nacional de Informações sobre Seguranças de Barragens (SNISB) deverão seguir entre outros critérios a categoria de " barragens de pequeno porte (com altura inferior a 15 m ou volume inferior a 3.000.000 m³) que possam, em caso de ruptura, apresentar um "dano potencial associado", médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou perda de vidas humanas. Para dar maior objetividade deste enquadramento foi desenvolvido este estudo simplificado sobre ruptura de barragens.

O rompimento de barragem pode produzir onda com perfil inicial abrupto, com intensa componente vertical de aceleração e com alto poder destrutivo; tudo depende da evolução do rompimento, que pode ser abrupto ou com evolução gradual; a condição mais temerosa é a associada ao rompimento instantâneo e que será o foco desta Nota Técnica - NT. A quase totalidade das barragens de pequeno porte em território paulista são constituídas de maciços de terra que em caso de ruptura ocorreria com evolução de brecha, portanto de forma gradual. Adotou-se como critério o caso de ruptura abrupta, situação esta bastante conservadora, o que garante maior segurança em termos de enquadramento do empreendimento.

Apresenta-se, portanto, a base conceitual para este estudo, seguida de uma aplicação prática para diferentes possibilidades de perfis de terreno e um critério final para orientar a escolha dos requisitos básicos para o enquadramento de barragens de pequeno porte.

2- Metodologia

O critério para a categoria de "dano potencial" será desenvolvido de acordo com o método seguindo o modelo matemático abaixo desenvolvido.

A profundidade (y) produzida pelo rompimento instantâneo de uma barragem, que aqui será tratada como uma variável dependente dependerá da distância (x), medida da posição da barragem para montante e do tempo (t), contado do instante do rompimento. Neste contexto, e são variáveis independentes, portanto deve-se elaborar um modelo matemático que permita a determinação da função incógnita . Um modelo para a determinação de pode ser elaborado a partir das equações de Saint-Venant; que são:

2.1- Conservação de Massa:

$$v \frac{\partial y}{\partial x} + y \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad \dots(1)$$

2.2- Quantidade de movimento:

$$\frac{\partial y}{\partial x} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} = g(S_0 - S_f) \quad \dots(2)$$

onde:

g = aceleração gravitacional;

S_0 = declividade longitudinal do rio ou canal;

S_f = declividade da linha de carga total.

As equações (1) e (2) são então transformadas em equações características e, para tanto, são adotadas as seguintes hipóteses:

- O canal a jusante da barragem é retangular de largura constante "B".
- A declividade longitudinal do leito do canal, " S_0 ", é constante e pequena.
- A celeridade de onda gravitacional é dada por: $c = \sqrt{g \cdot y}$.

2.3- Equações características

As equações características são obtidas a partir das equações (1) e (2) onde a profundidade "y" é eliminada com o uso da relação $c = \sqrt{g \cdot y}$, produzindo o seguinte par de equações:

$$(v + c) \frac{\partial(v+2c)}{\partial x} + \frac{\partial(v+2c)}{\partial t} = \frac{D_1(v+2c)}{D_1 t} = g(S_0 - S_f) \quad \dots(3)$$

$$(v - c) \frac{\partial(v-2c)}{\partial x} + \frac{\partial(v-2c)}{\partial t} = \frac{D_2(v-2c)}{D_2 t} = g(S_0 - S_f) \quad \dots(4)$$

As derivadas totais $\frac{D_1(\)}{D_1 t}$ e $\frac{D_2(\)}{D_2 t}$ representam, respectivamente, taxas de variação para

observadores que se desloquem com velocidade $(v + c)$ e $(v - c)$.

Se " S_0 " e " S_f " são constantes a equação (4) garante que

$$v(t) - 2c(t) = v_0 - 2c_0 \quad \dots (5)$$

com

v_0 = velocidade para $t = 0$;

$c_0 = \sqrt{g \cdot y_0}$ = celeridade para $t = 0$.

Para um observador que se desloque para montante com a velocidade de convecção vale a equação:

$$\frac{dx}{dt} = v(t) + c(t) \quad \dots(6)$$

As expressões $(v + 2c)$ e $(v - 2c)$ são conhecidas como invariantes de Riemann.

Para a obtenção do modelo matemático para estimativa de $y(x,t)$, faz-se a eliminação de $v(t)$ entre a equação (5) e (6), obtendo-se

$$\frac{dx}{dt} = 3c(t) + v_0 - 2c_0 \quad \dots (7)$$

Como o caminho característico passa pela origem ($x = 0, t = 0$) e é linear, pode-se escrever a equação (7) como:

$$\frac{x}{t} = 3c + v_0 - 2c_0 \quad \dots(8)$$

$$\text{Lembrando-se que: } c = \sqrt{g \cdot y} \text{ e } c_0 = \sqrt{g \cdot y_0} \quad \dots(9)$$

A equação (9) pode ser transformada em:

$$\frac{x}{t} = 3 \cdot \sqrt{g \cdot y} + v_0 - 2\sqrt{g \cdot y_0}$$

Que ainda pode ser escrita em termos adimensionais:

$$\frac{x}{t\sqrt{g \cdot y}} = 3 \cdot \sqrt{\frac{y}{y_0}} + \frac{v_0}{\sqrt{g \cdot y_0}} - 2$$

e que fica explicitada para " $\frac{y}{y_0}$ ",

$$\frac{y}{y_0} = \left[\frac{1}{3} \left(\frac{x}{t\sqrt{g \cdot y_0}} + 2 - \frac{v_0}{\sqrt{g \cdot y_0}} \right) \right]^2 \quad \dots(10)$$

Fazendo-se a velocidade inicial nula ($v_0 = 0$) e mudando-se a orientação positiva do eixo "x" para jusante, obtém-se o modelo matemático para a determinação de $y(x, t)$ na forma

$$\frac{y}{y_0} = \left[\frac{1}{3} \left(2 - \frac{x}{t\sqrt{g \cdot y_0}} \right) \right]^2 \quad \dots(11)$$

2.4- Análise

No instante do rompimento da barragem ($t = 0$) e na posição da barragem ($x = 0$), o adimensional $\frac{x}{t\sqrt{g \cdot y}}$ apresenta uma indeterminação, pois $\frac{x}{t} = \frac{0}{0}$.

Como $\frac{x}{t}$ é uma aproximação para $\frac{dx}{dt}_{t=0}$, a indeterminação fica superada pois $\frac{dx}{dt}_{t=0} = v_0 = 0$.

Assim, na posição da barragem ($x = 0$), tem-se $\frac{x}{t\sqrt{g \cdot y_0}} = 0$, que substituído na equação (11), fornece:

$$\frac{y_b}{y_0} = \frac{4}{9} \approx 0,444 \quad \dots(12)$$

Indicando que na posição da barragem a correspondente profundidade (y_b) permanece constante com valor:

$$y_b = \frac{4}{9} y_0 \quad \dots(13)$$

O máximo valor assumido pelo adimensional $\frac{x}{t\sqrt{g \cdot y_0}}$ é 2, quando então tem-se $\frac{y}{y_0} = 0$.

O mínimo valor assumido pelo adimensional $\frac{x}{t\sqrt{g \cdot y_0}}$ deve ser (-1) o que corresponde a $\frac{y}{y_0} = 1$. A representação gráfica da equação (11) está na Figura 1:

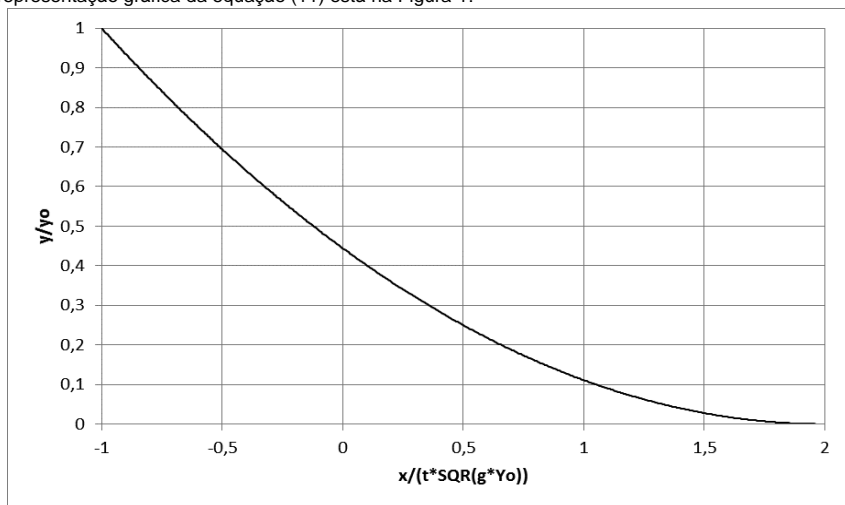


Figura 1- Gráfico de $\frac{y}{y_0}$ em função de $\frac{x}{t\sqrt{g \cdot y_0}}$ para rompimento instantâneo de uma barragem

O modelo matemático dado pela equação (11) e representado pela Figura (1), pode ser aplicado sem restrição quando o canal a jusante apresenta alguma lâmina de água. Caso contrário, canal seco a jusante, a equação (11) pode ser aplicada apenas para:

$$\frac{x}{t\sqrt{g \cdot y_0}} \leq 0,75. \quad \dots(14)$$

3- Aplicações a diferentes perfis de terreno

Para estabelecer critérios objetivos e práticos para o enquadramento de pequenas barragens (volume inferior a 3.000.000 m³ ou altura inferior a 15,0 m) dentro do critério em que possam ser consideradas com potencial de risco, considerou-se um modelo simplificado de relevo, conforme a figura 2, com valores representativos do universo a ser fiscalizado.

4- Aplicações a diferentes perfis de terreno

Para estabelecer critérios objetivos e práticos para o enquadramento de pequenas barragens (volume inferior a 3.000.000 m³ ou altura inferior a 15,0 m) dentro do critério em que possam ser consideradas com potencial de risco, considerou-se um modelo simplificado de relevo, conforme a figura 2, com valores representativos do universo a ser fiscalizado.

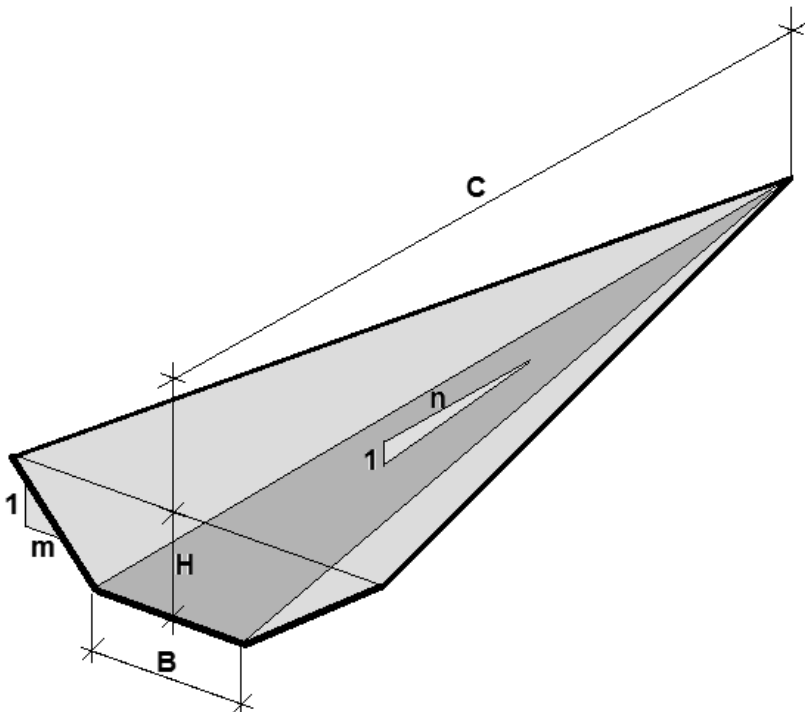


Figura 2 - Esquema de relevo do modelo de barramento
H - altura do barramento no seu eixo
B - largura na base do barramento
C - comprimento do reservatório
talude lateral: 1: m (1 vertical: m horizontal)
declividade do talvegue: So = 1: n (1 vertical: n horizontal)
Dentro das tipologias adotou-se alguns parâmetros que vai desde vales encaixados a pequenas planícies aluviais que possam represar volumes inferiores aos 3.000.000 m³ e profundidades inferiores a 15 m.
Foram consideradas declividades de talvegue que variaram entre 0,033 m/m a 0,0015 m/m, faixa de variação de rios com uma tipologia representativa de barramentos de pequeno porte. Declividades inferiores já compreendem situações de planícies aluviais mais amplas em que volumes de reservação inferiores aos 3.000.000 m³ corresponderiam a barramentos de altura muito reduzidas e de grande largura relativa, fugindo muito à realidade dos reservatórios existentes (como ordem de grandeza inferiores a 2,0 m e larguras da ordem da centena de vezes a altura da barragem).

Ao aplicar a metodologia descrita no item anterior aos casos típicos em questão, deve-se ter em mente que os resultados são bastante conservadores quando comparados à realidade. Em primeiro lugar porque as barragens de pequeno porte que deverão ser objeto de enquadramento na Lei de Segurança de Barragens são na sua quase totalidade constituídas por maciços de terra. Em caso de rompimento o processo ocorre por evolução de brecha, de forma gradual, não constituindo uma ruptura instantânea como o representado no modelo simplificado. Um segundo aspecto a ser considerado é que o modelo considera o reservatório em ruptura com fundo horizontal de largura e extensão infinitas. A realidade é muito distante deste modelo conceitual e se aproxima mais do modelo apresentado na figura 2. Assim sendo, mesmo considerando o modelo conceitual simplificado, a condição crítica ocorre para um tempo de propagação da onda negativa em sentido de montante suficiente para atingir toda a extensão do reservatório real, conforme o modelo da figura 2. Até esse momento a profundidade no eixo da barragem, teoricamente tem um valor constante igual a 4/9 da sua altura. A partir desse momento ocorrerá o abaixamento desse ponto de pivotamento no eixo da barragem, reduzindo os efeitos da onda que se propaga a jusante.
A seguir mostram-se as tipologias aplicadas na modelação:
Reservatório Tipo 1 (vales encaixados):

Largura de base (B):	50 m
Largura máxima (para H = 15,0m):	140 m
Declividade de talvegue (So=1/n):	0,033 m/m
Taludes laterais (1/m):	0,33 m/m (1V:3H)
Alturas:	< 15,0 m

Comprimento de reservatório (para H = 15,0m):450 m
Reservatório Tipo 2 (vales intermediários):

Largura de base (B):	100 m
Largura máxima (para H = 15,0m):	300 m
Declividade de talvegue (So=1/n):	0,015 m/m
Taludes laterais (1/m):	0,15 m/m (1V:6,67H)
Alturas:	< 15,0 m

Comprimento de reservatório (para H = 15,0m):1.000 m
Reservatório Tipo 3 (vales abertos):

Largura de base (B):	200 m
Largura máxima (para H = 15,0m):	560 m
Declividade de talvegue (So=1/n):	0,0075 m/m
Taludes laterais (1/m):	0,083 m/m (1V:12H)
Alturas:	< 10,0 m *

Comprimento de reservatório (para H = 15,0m):2.000 m
Reservatório Tipo 4 (vales fechados de baixa declividade):

Largura de base (B):	50 m
Largura máxima (para H = 15,0m):	130 m
Declividade de talvegue (So=1/n):	0,0033 m/m
Taludes laterais (1/m):	0,33 m/m (1V:3H)
Alturas:	< 14,0 m *

Comprimento de reservatório (para H = 15,0m):4.200 m
Reservatório Tipo 5 (situação intermediária de baixa declividade):

Largura de base (B):	100 m
Largura máxima (para H = 15,0m):	200 m
Declividade de talvegue (So=1/n):	0,0015 m/m
Taludes laterais (1/m):	0,15 m/m (1V:6,67H)
Alturas:	< 8,0 m *

Comprimento de reservatório (para H = 15,0m):5.300 m
Reservatório Tipo 6 (vale aberto de baixa declividade):

Largura de base (B):	200 m
Largura máxima (para H = 15,0m):	340 m
Declividade de talvegue (So=1/n):	0,0015 m/m **
Taludes laterais (1/m):	0,083 m/m (1V:12H)
Alturas:	< 6,0 m *

Comprimento de reservatório (para H = 15,0m):4.000 m

Obs: * Para alturas de barragem superior a este limite o reservatório se enquadra na Lei de Segurança de Barragens por apresentar mais de 3.000.000 m³.

** O reservatório já se enquadra na Lei de Segurança de Barragens quando a declividade de talvegue for inferior a esse valor e a altura superior a 2,0 m, por apresentar mais de 3.000.000 m³

Os resultados dos cálculos para as seis tipologias são os seguintes:

TIPO	1
H	10 < H (m) < 15
A	3,5 < A (ha) < 6,0
X	X (m) < 1000
distância relativa	X/C < 2,2
h onda	h onda (m)= 0,1

Obs: Barragens com menos de 10 m de altura não se enquadram por gerar onda pouco significativa

TIPO	2
H	10 < H (m) < 15
A	15 < A (ha) < 30
X	X (m) < 2000
distância relativa	X/C < 2,0
h onda	h onda (m)= 0,1

Obs: Barragens com menos de 10 m de altura não se enquadram por gerar onda pouco significativa

TIPO	3
H	5 < H (m) < 10
A	25 < A (ha) < 50
X	X (m) < 2000
distância relativa	X/C < 1,4
h onda	h onda (m)= 0,1

Obs: Barragens com menos de 5 m de altura não se enquadram por gerar onda pouco significativa.
Barragens com mais de 10 m de altura se enquadram por ter volume superior a 3.000.000 m³.

TIPO	4
H	10 < H (m) < 14
A	28 < A (ha)
X	X (m) < 6000
distância relativa	X/C < 1,5
h onda	h onda (m)= 0,3

Obs: Barragens com menos de 10 m de altura não se enquadram por gerar onda pouco significativa.
Barragens com mais de 14 m de altura se enquadram por ter volume superior a 3.000.000 m³.

TIPO	5
H	5 < H (m) < 8
A	55 < A (ha)
X	X (m) < 7000
distância relativa	X/C < 1,5
h onda	h onda (m)= 0,2

Obs: Barragens com menos de 5 m de altura não se enquadram por gerar onda pouco significativa.
Barragens com mais de 8 m de altura se enquadram por ter volume superior a 3.000.000 m³.

TIPO	6
H	H (m) < 5
A	50 < A (ha)
X	X (m) < 5000
distância relativa	X/C < 1,5
h onda	h onda (m)= 0,1

Obs: A rigor o tipo de barragem 6, de vale muito aberto, com altura superior a 5,0 m já se enquadra na lei por ter volume superior a 3.000.000 m³ e alturas inferiores a 5,0 m resulta em ondas pouco significativas. A tabela acima é indicativa de uma situação em que a barragem tem valores entre 4,0 e 5,0 m de altura, muito próximo à situação de enquadramento.

onde: H - variação da altura da barragem passível de enquadramento (em m);

A - área do espelho d'água do reservatório (em ha);

X - distância de segurança a jusante da barragem em que a onda é insignificante;

X/C - relação entre a distância de segurança e o comprimento do reservatório (C);

honda - altura da onda a uma distância X a jusante.

Nos cálculos efetuados para todos tipos de reservatórios indicados anteriormente verificou-se que numa extensão a jusante da barragem da ordem de 1,5 a 2,0 vezes o comprimento do reservatório a onda formada é insignificante, da ordem de alguns centímetros.

A partir desses cálculos, bastante conservativos conforme já foi mencionado, pode-se dar a indicação de enquadramento de "barragens de pequeno porte (com altura inferior a 15 m ou volume inferior a 3.000.000 m³) que possam, em caso de ruptura, apresentar um "dano potencial associado" médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou perda de vidas humanas. Desta forma ficam enquadradas automaticamente na Lei Federal 12.334/10 no Estado de São Paulo, nos empreendimentos sob responsabilidade do DAEE, as barragens de pequeno porte que estejam situadas a montante de núcleos urbanos, ou de empreendimentos com potencial econômico relevante, ou de áreas de interesse ambiental relevante, a uma distância inferior a duas vezes o comprimento do reservatório formado.

Apenas a título de ilustração, essas distâncias para as tipologias descritas anteriormente podem chegar a um máximo de:

Reservatório Tipo	Distância de segurança
1	900 m
2	2.000 m
3	4.000 m
4	8.400 m
5	10.600 m
6	8.000 m

Apenas como observação final, deve-se considerar que a utilização das 6 tipologias teve como finalidade o de estabelecer critérios objetivos e abrangentes para a orientação do enquadramento de pequenos barramentos na legislação. No entanto, deve-se notar que em termos morfológicos é baixa a probabilidade de barramentos de pequeno porte que se enquadrem nos tipos 4 a 6 (baixa declividade), visto que em geral, essas condições estão associadas a vales mais abertos, portanto em condições de enquadramento pelo critério de volume.

5- Referências bibliográficas

Henderson, F.M, "Open Channel Flow", MCMILLAN Publishing CO, Inc. New York, 1996, 521 p.

Ranga Raju, K.G, "Flow through open channels", Tata McgrowHill, Publishing Company, Limited, New Deli, 1981,330p.