



TERMO DE REFERÊNCIA PARA A ENTREGA DE ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA DE BARRAGENS

Requisitos, premissas e conteúdo mínimo

APRESENTAÇÃO

Frente a complexidade técnica que envolve a parametrização e execução dos estudos e das simulações, a Fundação Estadual do Meio Ambiente (Feam) elaborou o Termo de Referência para o conteúdo mínimo que deve ser apresentado pelos empreendedores, cujos empreendimentos aos quais se aplica, estejam localizados no estado de Minas Gerais.

As especificações indicadas nesse Termo permitirão que os responsáveis pela segurança das barragens possam apresentar, de forma tecnicamente adequada, os estudos dos cenários de rupturas e os mapas com a mancha de inundação obtidos pela simulação. Ao mesmo tempo, a padronização possibilitar a avaliação de conformidade pelos analistas da Feam.

O Termo estabelece os requisitos, premissas e o conteúdo mínimo para elaboração dos estudos hipotéticos de rupturas de barragens e seus respectivos cenários de mancha de inundação, em cumprimento às determinações da Política Estadual de Segurança de Barragens (Lei nº 23.291/2019), a ser apresentado a Feam.

No âmbito dessa norma, o objetivo do Termo será instruir o Programa de Gestão de Barragens da Feam e orientar os processos de licenciamento ambiental das barragens destinadas à acumulação ou à disposição final ou temporária de rejeitos e resíduos industriais ou de mineração, e das barragens de água ou líquidos associados a processos industriais ou de mineração localizadas em Minas Gerais.

Essa metodologia suportará importantes questões para gestão das barragens no Estado como a sua classificação em relação ao seu potencial de dano ambiental, os limites da mancha de inundação, abrangência do Plano de Ação Emergencial (PAE), além das vedações quanto à implantação de novos empreendimentos.



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. OBJETIVOS	3
3. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR	4
4. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	4
5. ENDEREÇO PARA ENVIO DE CORRESPONDÊNCIA	4
6. IDENTIFICAÇÃO DOS RESPONSÁVEIS TÉCNICOS PELA ELABORAÇÃO DOS ESTUDOS DE RUPTURA	5
7. IDENTIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA BARRAGEM	5
8. REQUISITOS, PREMISSAS E CONTEÚDO MÍNIMO PARA OS ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA DE BARRAGENS	5
8.1 Síntese metodológica	7
8.2 Cenários de simulação	8
8.3 Estudos hidrológicos	8
8.3.1 Área de contribuição da barragem	8
8.3.2 Área de jusante da barragem	8
8.4 Hidrograma de ruptura	9
8.4.1 Caracterização do reservatório	9
8.4.2 Volume mobilizado	10
8.5 Propagação de hidrogramas	10
8.5.1 Descrição do trecho de propagação	10
8.5.2 Base topoaltimétrica	10
8.5.3 Ruptura em cascata	11
8.5.4 Simulação e cenários	11
8.6 Mapeamento da onda de ruptura: mancha de potencial inundação	14
9. ENTREGAS	15
9.1 Relatório técnico	15
9.2 Mapas de inundação	15
9.3 Dados digitais geoespaciais vetoriais	16

ANEXO I

ANEXO II



1. INTRODUÇÃO

Tendo em vista a evolução tecnológica, os recentes desastres com barragens no Estado e a implementação da Política Estadual de Segurança de Barragens (Lei nº 23.291/2019), há necessidade de aprimoramento da metodologia de elaboração dos estudos hipotéticos de ruptura de barragens.

Essa metodologia suportará importantes questões para gestão das barragens no Estado como a sua classificação em relação ao seu potencial de dano ambiental, os limites da mancha de inundação, abrangência do Plano de Ação Emergencial (PAE), além das vedações quanto à implantação de novos empreendimentos.

O conteúdo mínimo proposto se aplica às barragens destinadas à acumulação ou à disposição final ou temporária de rejeitos e resíduos industriais ou de mineração, e a barragens de água ou líquidos associados a processos industriais ou de mineração localizadas no Estado de Minas Gerais, que apresentem, no mínimo, uma das características a seguir:

- I – altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 10m (dez metros);
- II – capacidade total do reservatório maior ou igual a 1.000.000m³ (um milhão de metros cúbicos);
- III – reservatório com resíduos perigosos;
- IV – potencial de dano ambiental médio ou alto, conforme regulamento.

Também se aplica às estruturas geotécnicas situadas fora de cursos d'água que se destinam ao armazenamento definitivo ou temporário de rejeitos da mineração ou de resíduos da indústria, que possuam reservatório acima da cota natural ou original do terreno, possuam altura superior a 10m (dez metros) e volume de acumulação superior a 1.000.000 m³ (um milhão de metros cúbicos).

2. OBJETIVOS

Este documento tem o objetivo de definir requisitos, premissas e o conteúdo mínimo para elaboração e apresentação dos estudos hipotéticos de rupturas de barragens e seus respectivos cenários de mancha de inundação, em atendimento às determinações da Lei nº 23.291/2019.



Também objetiva instruir o Programa de Gestão de Barragens e orientar os processos de licenciamento ambiental das barragens destinadas à acumulação ou à disposição final ou temporária de rejeitos e resíduos industriais ou de mineração, e das barragens de água ou líquidos associados a processos industriais ou de mineração localizadas no Estado de Minas Gerais.

Este documento foi elaborado tendo como referência o Ofício Circular n.º 02/2019 GMC/CEDEC que, além de outras questões, propõe Termo de Referência para elaboração dos estudos de cenários de ruptura hipotética de barragens.

3. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR

Razão social ou nome:

CNPJ/CPF:

Endereço (Rua, Av., Rod., etc.):

Nº/km:

Bairro/localidade:

Município:

UF:

CEP:

Caixa Postal:

Telefone: ()

E-mail:

4. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

Razão social ou nome:

Nome Fantasia:

CNPJ/CPF:

Nome da Barragem:

Processo administrativo COPAM nº:/...../...../.....

Endereço (Rua, Av., Rod., etc.):

Nº/km:

Bairro/localidade:

Município:

UF:

CEP:

Caixa Postal:

Telefone: ()

E-mail:

5. ENDEREÇO PARA ENVIO DE CORRESPONDÊNCIA

Destinatário: (nome da pessoa que vai receber a correspondência) (vínculo com a empresa)



Endereço (Rua, Av., etc.):

Nº/km:

Complemento:

Bairro/localidade:

6. IDENTIFICAÇÃO DOS RESPONSÁVEIS TÉCNICOS PELA ELABORAÇÃO DOS ESTUDOS DE RUPTURA

Nome:

Formação:

CPF:

CREA:

Telefone:

e-mail:

7. IDENTIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA BARRAGEM

A barragem deverá ser devidamente caracterizada e identificada apresentando, no mínimo, as seguintes informações:

- a) Nome da estrutura;
- b) Localização;
 - a) Coordenada geográfica do ponto central da crista do barramento;
 - b) Finalidade do barramento;
- c) Ano: (i) de início de implantação; (ii) de início da operação; (iii) de término da operação; (iv) de descaracterização da barragem;
- d) Situação (status) de operação atual da barragem;
- e) Características do reservatório: (i) volume atual (m³); (ii) capacidade total (m³); (iii) área (m²);
- f) Elevação (m) do terreno natural no ponto baixo do barramento (m);
- g) Dimensões do barramento: (i) altura atual (m); (ii) altura final prevista no projeto (m);
- h) Alteamentos: (i) alteamentos realizados e seus respectivos métodos empregados; (ii) alteamentos previstos;
- i) Curso d'água interceptado: () Não; () Sim; () Total; () Parcialmente; Nome.

8. REQUISITOS, PREMISSAS E CONTEÚDO MÍNIMO PARA OS ESTUDOS DE RUPTURA HIPOTÉTICA DE BARRAGENS

Os estudos de rupturas de barragens devem ser elaborados por profissionais devidamente habilitados e detentores das atribuições definidas pelos respectivos conselhos de classe, sendo apresentados na forma de relatório técnico devidamente assinado e acompanhado das Anotações de Responsabilidade Técnica (ARTs) e das justificativas que fundamentaram os



parâmetros, critérios, premissas e cenários adotados, compreendendo o conteúdo mínimo proposto nesse documento, bem como toda aquela que se fizer necessária para sua compreensão e aquelas complementares que os responsáveis considerarem relevantes.

Tais estudos devem ser elaborados com base em dados técnicos específicos para o empreendimento, observando-se as recomendações de boas práticas da engenharia, normas e legislação correlata que se aplicarem, a exemplo das normas da ABNT, os guias e manuais da *Canadian Dam Association (CDA)*, *International Commission on Large Dams (ICOLD)* e *Agência Nacional das Águas (ANA)*, além de responsabilizar-se pela fidedignidade das informações prestadas.

Qualquer ausência neste documento de critério, parâmetro ou premissa necessários ao desenvolvimento do estudo deve ser suprida por aquelas preconizadas em tais referências.

Espera-se que sejam respondidas as seguintes questões através do estudo de ruptura:

- i. Qual a estimativa da inundação potencial associada à hipótese de ruptura da barragem?
- ii. Que tipo (s) de rompimento (s) considerar?
- iii. Quais as justificativas adotadas para a definição do cenário de ruptura e da mancha de inundação considerada a mais crítica?
- iv. Qual a extensão, tanto no comprimento quanto na largura do canal fluvial que será afetada por um rompimento?
- v. Qual a vazão, velocidade, altura e risco hidrodinâmico máximo da onda de inundação gerada?
- vi. Qual a distância correspondente a um tempo de chegada da onda de inundação igual a 30 min (trinta minutos)?
- vii. Quais são os limites da Zona de Autossalvamento (ZAS)?
- viii. Quais são os limites da Zona de Salvamento Secundária (ZSS)?
- ix. O que acontece após as confluências e afluentes?
- x. Qual o tipo de regime ou comportamento do escoamento do material ao longo do vale a jusante e quais os parâmetros de resistência?
- xi. Qual a dinâmica hidráulica na interseção com reservatórios alcançados pela onda de inundação e seu comportamento após essa interseção?
- xii. Qual a influência hidrodinâmica da ruptura hipotética e seus efeitos na segurança das barragens de jusante (efeito cascata)?



- xiii. Quais as representações gráficas dos resultados obtidos pelo modelo hidrodinâmico.
- xiv. Quais as limitações técnicas do estudo?

Para os estudos deverão ser utilizados modelos hidrodinâmicos suficientemente capazes de simular a ruptura hipotética da barragem, a partir da qual planejar ações de emergenciais, avaliar os danos no território a jusante, determinar a Zona de Autossalvamento (ZAS), conforme parâmetros definidos pelo conjunto de normas vigentes, e a Zona de Salvamento Secundária (ZSS) que serão inundadas pela onda provocada pela ruptura da barragem, impactando a população, os diversos equipamentos e infraestruturas e o meio ambiente.

8.1 Síntese metodológica

No relatório técnico deverá constar, em suas partes iniciais, uma síntese metodológica com o objetivo de fornecer informações de forma resumida e direta acerca do estudo e seus resultados hidrodinâmicos, de modo a possibilitar a compreensão objetiva das hipóteses consideradas, os cenários de avaliação, a metodologia aplicada, parâmetros críticos e demais elementos necessários para a avaliação do potencial de dano ambiental. Preconiza-se que o texto seja desenvolvido de forma direta (sem itens e subitens), sendo possível identificar a partir de seu conteúdo:

- Cenários considerados
- Síntese metodológica:
 - Hipótese de ruptura e modo de falha;
 - Metodologia e resultado do volume de material mobilizado;
 - Parâmetros da brecha, desenvolvimento e tempo de formação;
 - Tipo de escoamento;
 - Parâmetros do material armazenado;
 - Condições iniciais e de contorno;
 - Modelo matemático-computacional utilizado e sua dimensão;
 - Critério de parada adotado.
- Modelo digital do terreno utilizado;
- Descrição resumida do potencial de inundação.



8.2 Cenários de simulação

Para realização dos estudos será necessário definir os cenários de simulação a serem considerados. O objetivo é tornar possível a análise de danos incrementais, a qual realiza um dimensionamento entre as cheias naturais e estimadas por eventos de ruptura, com um período de retorno associado, considerando simulações com e sem ruptura da estrutura em análise. Os requisitos mínimos para definição de tais cenários serão apresentados nos próximos tópicos.

8.3 Estudos hidrológicos

Devem ser utilizados levantamentos e estudos hidrológicos consistidos, elaborados segundo metodologias, padrões e técnicas certificadas e baseados em registros hidrometeorológicos validados, para fornecer os dados, informações e premissas utilizados para a caracterização hidráulica e hidrológica da área de contribuição da barragem e dos trechos fluviais de jusante nas simulações e nos cenários hipotéticos, bem como nos resultados e interpretações posteriores.

8.3.1 Área de contribuição da barragem

As características climáticas e hidrológicas da bacia de contribuição incremental para a barragem devem ser apresentadas, bem como a base de informações utilizadas para o desenvolvimento do balanço hídrico do reservatório, essa associada ao balanço de massa dos rejeitos, resíduos ou taxa de geração de sedimentos, quando aplicável.

É esperado também que seja apresentada a descrição metodológica para a determinação dos quantis de precipitação e/ou vazão que serão utilizados para o trânsito de cheias do reservatório. As estações de referências utilizadas para as análises estatísticas com a determinação dos quantis de chuvas devem ser explicitadas no que se refere à sua representatividade espacial dos processos hidrológicos existentes na bacia de contribuição da barragem. Utilizar prioritariamente estações de referência com mais de 20 (vinte) anos de dados consistidos.

8.3.2 Área de jusante da barragem

Deve ser apresentada a base de informações utilizadas para o cálculo das vazões de base nos cursos de água principal e afluentes, até o ponto de parada da simulação hidráulica a jusante, utilizando dados de estações fluviométricas localizadas no curso d'água de interesse ou por meio de regionalização ou outros métodos de estimativas. Além disso, descrever sucintamente as



características principais e importantes da bacia hidrográfica sob o prisma hidráulico e hidrológico.

8.4 Hidrograma de ruptura

Explicitar e justificar as premissas adotadas para os seguintes fatores:

- I. Hipóteses de ruptura e modo de falha:
 - a) Piping;
 - b) Galgamento;
 - c) Liquefação do maciço;
 - d) Liquefação da fundação.
- II. Definição do volume de material mobilizado;
- III. Parâmetros e desenvolvimento da brecha;
- IV. Tempo mínimo de formação da brecha;
- V. Evolução da brecha e hidrograma de ruptura.

8.4.1 Caracterização do reservatório

Deverão ser considerados e justificados para a caracterização do reservatório, pelo menos, os seguintes dados:

- I. Batimetria atualizada do reservatório;
- II. Caracterização geotécnica do maciço da barragem e do reservatório;
 - a) Ângulo de repouso dos rejeitos, resíduos ou sedimentos;
 - b) Peso específico dos rejeitos, resíduos ou sedimentos;
 - c) Granulometria dos rejeitos, resíduos ou sedimentos;
 - d) Planialtimetria primitiva e atual do reservatório;
 - e) Classificação dos rejeitos, resíduos ou sedimentos pela NBR ABNT 10.004/2004;
 - f) Curvas cota-volume do reservatório.
- III. Identificação das superfícies preferenciais de ruptura.

Deverá constar como anexo deste relatório as fontes bibliográficas, ensaios, documentos de referência, e laudos utilizados para caracterização do reservatório e do maciço da barragem.



8.4.2 Volume mobilizado

Em se tratando de barragem de rejeitos da mineração, de resíduos da indústria e de água com alta taxa de sedimentação ou com reservatório parcialmente assoreado, estimar e justificar os parâmetros adotados quanto ao volume mobilizado do reservatório e do maciço em uma situação de ruptura, bem como apresentar croqui representativo da distribuição de volumes e elevações notáveis no reservatório, tal como volume dos sólidos depositados, volume útil, volume do trânsito de cheias e volume da brecha de ruptura.

As equações empíricas, quando aplicadas, devem observar a razoabilidade frente às condições locais para garantir a estimativa do cenário de maior probabilidade de ocorrência.

Na hipótese de modo de falha por liquefação, preferencialmente 100% do volume do maciço da barragem deve ser considerado como material mobilizável. Caso o responsável pelo estudo não adote o valor de 100%, deverá ser apresentada justificativa técnica.

Na hipótese de modo de falha por piping ou galgamento, preferencialmente 100% do volume da brecha do maciço da barragem deve ser considerado como material mobilizável. Caso o responsável pelo estudo não adote o valor de 100%, deverá ser apresentada justificativa técnica.

8.5 Propagação de hidrogramas

8.5.1 Descrição do trecho de propagação

Apresentar descrição sucinta do trecho considerado no estudo para a propagação das ondas de ruptura e do trânsito de cheias naturais, especificando seus limites (início e fim) e a distância total com a localização de seções transversais no eixo do vale a jusante. Deverá constar do diagrama topológico do trecho de propagação, pelo menos, as indicações quanto ao curso d'água de escoamento principal e seus afluentes, sedes administrativas municipais e distritais, aproveitamentos hidroelétricos (casa de força e reservatório) e outros barramentos.

8.5.2 Base topoaltimétrica

Preferencialmente deverão ser utilizados Modelos Digitais do Terreno (MDTs) com alto detalhamento (maior escala de detalhe, menor equidistância correspondente ou menor tamanho de pixel) para representação topoaltimétrica do vale jusante na simulação e no mapeamento da onda de ruptura.



Como requisito obrigatório, o MDT deve ser obtido e apresentar resolução espacial compatível com a realização de estudos hidráulicos, a complexidade morfológica do terreno e a identificação de alto detalhamento em áreas ocupadas potencialmente atingidas, prioritariamente igual ou melhor que 1m x 1m para a extensão da simulação hidráulica até o limite do critério de parada da simulação.

No caso da realização de levantamentos topoaltimétricos no território a jusante, o método utilizado deve estar em concordância com padrões e especificações normatizados.

A acurácia horizontal e vertical do MDT utilizado deve ser avaliada e reportada, devendo o resultado apresentar concordância com as diretrizes e padrões de exatidão e qualidade estabelecidos no conjunto de normas nacionais e internacionais aplicáveis, bem como atendimento adequado às finalidades do estudo.

Deverá constar claramente no relatório: MDT utilizado, data de referência do levantamento, justificativa técnica para o método de obtenção, a(s) resolução(ões) espacial(s) e acurácia final, essa indicada na forma de exatidão horizontal e vertical do produto geoespacial.

8.5.3 Ruptura em cascata

Em conformidade com a Lei n.º 23.291/20019, nas situações em que existem barragens localizadas no vale a jusante potencialmente impactadas pela onda de ruptura da barragem de montante, a hipótese de ruptura em cascata deverá ser considerada e os resultados justificados. Outras estruturas geotécnicas de contenção de rejeitos e/ou resíduos de significativo impacto hidrodinâmico na propagação da onda de inundação, quando impactadas pelo rompimento da barragem em estudo, devem ser consideradas.

8.5.4 Simulação e cenários

Para simulação do escoamento da onda de inundação proveniente da ruptura hipotética da barragem em estudo deverão ser utilizados modelos hidrodinâmicos que consigam realizar modelagem hidráulica bidimensional (2D), incluindo o fator de *bulking*, até o limite determinado pelo critério de parada da simulação.

A simulação deverá compreender, pelo menos, os seguintes itens:

- i. Definição das hipóteses de ruptura;



- ii. Desenvolvimento do modelo de evolução da brecha;
- iii. Modelagem matemático-computacional e seleção do hidrograma;
- iv. Caracterização hidrológica dos cursos de água;
- v. Construção do modelo geomorfológico do vale (MDT);
- vi. Desenvolvimento da modelagem hidráulica computacional;
- vii. Pós-processamento da modelagem computacional.

Deve-se buscar soluções para a adequada representação do fenômeno da propagação do volume de rejeitos quanto à dinâmica do escoamento, hiperconcentrado ou não, sendo necessária a apresentação e justificativa das premissas adotadas na simulação.

O modelo matemático-computacional utilizado deverá ser identificado no estudo, podendo ser licença livre ou pago, todavia, obrigatório apresentar as seguintes funcionalidades mínimas de simulação:

- simular o processo de propagação da cheia ao longo do vale a jusante da estrutura da barragem;
- simular o desenvolvimento da brecha de ruptura;
- fornecer as manchas de inundação advindos dos cenários;
- fornecer os hidrogramas efluentes;
- fornecer dados hidrodinâmicos nas seções transversais de referência ao longo do vale a jusante:
 1. tempo de chegada das frentes de inundação;
 2. profundidade;
 3. tempo de chegada da frente/pico da onda de inundação;
 4. velocidade de chegada/cheia;
 5. vazão de chegada/cheia.

Poderão ser empregados modelos ou softwares complementares para obtenção e extração de informações que serão utilizados no modelo hidrodinâmico, tais como: processo de formação das brechas, informações hidrológicas e os elementos geométricos do canal do vale a jusante. Nesse caso, requerer-se-á também a identificação desses modelos e softwares bem como apresentação do processo metodológico descrito conjuntamente ao estudo de ruptura.



Para o estudo de ruptura deverão ser utilizados cenários de simulação adotando hipóteses distintas de ruptura e/ou condições extras que possam originar ou agravar os fatores do evento envolvido. O principal objetivo da elaboração dos cenários é tornar possível a delimitação da extensão da região afetada, analisar os impactos deles decorridos, e direcionar as tomadas decisões e planejamento de ações que previstas no PAE.

Para todos os cenários apresentados deve ser apresentada a delimitação da zona de autossalvamento (ZAS) de acordo com as determinações do art.12 da Lei 23.291/2019, tendo como referência a maior extensão entre o escoamento da onda de inundação ao longo do curso do vale na extensão de 10 (dez) quilômetros ou a porção do vale a ser atingida pela onda de inundação pelo período de 30 (trinta) minutos decorridos da ruptura.

Recomenda-se optar por construir um número mínimo adequado de cenários. Para garantir uma adequada segurança associada aos diferentes tipos de barragem e reservatórios, o estudo deve contemplar os seguintes cenários:

A - Cenários obrigatórios

A1 - Cenários sem ruptura: considerando operação hidráulica extrema, que sem conduzir à ruptura pode dar origem a descargas importantes e, de igual forma, colocar em risco pessoas e bens no vale a jusante. Nesse item, devem ser considerados diferentes os cenários com variações no tempo de retorno ou condições de operação.

A2 - Cenários de ruptura propriamente dita: deve considerar (a) cenário de ruptura mais provável e (b) cenário de ruptura extremo (que pressupõe ocorrência de ruptura rápidas e totais), conforme recomendações da ICOLD.

- a) Cenário de ruptura mais provável: deve ser determinado em função das características da barragem e das causas de ruptura, elas próprias podendo ser previstas a partir do tipo de barragem, do seu estado de conservação (o tipo de deterioração que eventualmente apresente) e modo de operação.
- b) Cenário de ruptura extremo: nesse caso, o objetivo para esse tipo de situação é que a simulação deverá ser o de agravar não só os valores de todos os parâmetros da brecha, de forma a calcular a “pior” cheia induzida possível, mas também o de maximizar as afluências ao reservatório, fazendo com que esta registre os níveis mais elevados, por ocasião do início da hipotética ruptura. O tempo de ruptura deve ser igualmente



selecionado como baixo para produzir um efeito de maximizar o escoamento efluente da brecha, considerando ainda as piores condições possíveis de ocorrência de cheia a jusante, de forma a obter uma envoltória máxima para as respectivas áreas de risco. Explicitar e justificar as premissas, métodos e critérios adotados. Faz-se notar que as autoridades de Defesa Civil responsáveis poderão adotar esse cenário para a elaboração de planos de emergência mais conservadores e prudentes, norteados por uma necessidade de segurança mais abrangente;

B - Cenários representativos

No caso em que seja verificada a ocorrência de cenários mais aderentes às características da barragem, da bacia hidrográfica e das condições de simulação, o responsável técnico pelo estudo deverá apresentar cenários alternativos para representação de uma situação específica não alcançada nos cenários obrigatórios.

Na existência de barramentos de conformação do reservatório, estes deverão ser considerados nos cenários de propagação das ondas de cheia, e caso possuam fluxos divergentes dos cenários de maior probabilidade ou extremo, os resultados dessa condição deverão ser apresentados.

8.6 Mapeamento da onda de ruptura: mancha de potencial inundação

Deverão ser mapeados, pelo menos, os seguintes parâmetros de inundação:

- i. A envoltória máxima de inundação;
- ii. Tempo para a chegada da onda, considerando a sobre elevação de 60cm de inundação;
- iii. Profundidade de inundação;
- iv. Velocidade de fluxo e propagação de inundação;
- v. Risco hidrodinâmico.

O risco hidrodinâmico é definido como o produto máximo entre as velocidades e profundidades da onda. A classificação do risco hidrodinâmico auxilia na análise dos efeitos decorrentes de uma inundação e na interpretação da ameaça promovida pelo evento, devendo ser utilizado para sua representação, os critérios e padrões adotados pelo guia *“Australian Rainfall and Runoff a guide to flood estimation”*, ANEXO II.

Os limites desse parâmetro devem ser selecionados de forma a definir a vulnerabilidade de indivíduos, veículos, equipamentos públicos, edificações e outras estruturas geotécnicas em uma



determinada área submetida à inundação. A vulnerabilidade está associada à possibilidade de desestabilização e consequente arraste pela inundação ou afogamento no caso de indivíduos.

Devem ser traçados perfis para diferentes seções transversais do escoamento com um intervalo adequado, não sendo superior à 1km (um quilômetro) dentro da ZAS, preferencialmente em seções que coincidam com elementos em risco, e garantindo sempre informação mais detalhada nas zonas singulares (outras estruturas hidráulicas, por exemplo).

Devem ser apresentados Quadros-síntese de Resultados Hidrodinâmicos para cada cenário considerado no estudo de ruptura hipotética (*Dam Break*), inclusive no formato de planilha eletrônica excel, apresentando os parâmetros hidrodinâmicos das seções transversais do trecho fluvial jusante. Nestes perfis devem constar as seguintes informações, conforme quadro abaixo:

Quadro-síntese dos resultados hidrodinâmicos no estudo de *Dam Break*

Cenário							
Seção Transversal	Distância em Relação ao Eixo da Barragem	Elevação de Fundo do Curso Água da Seção	Profundidade Máxima Atingida na Seção	Velocidade Máxima Atingida na Seção	Vazão Máxima Atingida	Tempo de Chegada da Onda de Ruptura (Chegada)	Tempo de Chegada da Onda de Ruptura (Pico)
(identificação)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m ³ /s)	00H00	00H00
S1							
S2							
Sn							

9. ENTREGAS

9.1 Relatório técnico

O relatório técnico que comporta os estudos hipotéticos de ruptura de barragens, as manchas de inundação e demais documentos devem ser apresentados em meio físico e digital.

9.2 Mapas de inundação

Para cada cenário considerado, os seguintes produtos cartográficos devem ser elaborados e apresentados conjuntamente ao estudo:

- Mapa de extensão potencial de inundação;
- Mapa de tempo de chegada;
- Mapa de profundidade de inundação;



- iv. Mapa de risco hidrodinâmico;
- v. Mapa de velocidade de fluxo e propagação de inundação.

Em todos os produtos elaborados, a envoltória máxima de inundação correspondente ao cenário, simbolizada ou não, deve ser apresentada como uma superfície cobrindo o imageamento *background*. Um fator de transparência deve ser adotado para permitir visualização de elementos geográficos relevantes. Os demais requisitos obrigatórios são apresentados no ANEXO I.

Também são elementos essenciais: a delimitação da ZAS, tempo de chegada da onda, distância ao barramento e seções transversais representativas para apresentação de informações hidrodinâmicas. Devem constar bases cartográficas, de escala compatível, representando objetos de relevância para facilitar a avaliação e interpretação de impactos, tal como: hidrografia, sistemas de transporte etc.

A descrição e interpretação desses produtos deve constar no relatório, devendo apresentar conteúdo sobre a área atingida, as consequências e seus impactos.

9.3 Dados digitais geoespaciais vetoriais

As seguintes bases geoespaciais digitais vetoriais, correspondentes a todos os cenários admitidos no estudo, deverão ser apresentadas em mídia de armazenamento única:

- a delimitação georreferenciada da mancha de inundação, com a segmentação da zona de autossalvamento (ZAS) e da zona de salvamento secundária (ZSS);
- a espacialização georreferenciada de seções transversais ao longo do trecho fluvial, incluindo os resultados hidrodinâmicos obtidos no estudo;
- a espacialização georreferenciada do tempo de chegada de onda, categorizada em intervalos de 5min até 1h (valores superiores devem ser agrupados), e da profundidade de inundação;
- espacialização georreferenciada da classificação do risco hidrodinâmico máximo da inundação, referente ao produto entre as velocidades e profundidades da onda, conforme padronização indicada no ANEXO II.

O processo de produção e armazenamento dos dados digitais geoespaciais vetoriais deve atender à diretrizes preconizadas em protocolos e normas nacionais de controle de qualidade, tal como a Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG).



Governo do Estado de Minas Gerais
Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
Fundação Estadual do Meio Ambiente

Todos os dados geoespaciais deverão estar padronizados e acompanhados da documentação correspondente, em conformidade com a Resolução Conjunta Semad/Feam/IEF/Igam nº 2.684, de 03 de setembro de 2018, que estabelece a especificação técnica a ser atendida para o correto encaminhamento de dados geoespaciais digitais vetoriais ao Sisema. A nomenclatura dos arquivos deve apresentar indexação e identificação adequada do conteúdo e do cenário correspondente.



ANEXO I – REQUISITOS PARA PRODUTOS CARTOGRÁFICOS

1. Elementos cartográficos

Os elementos cartográficos são aspectos importantes no mapeamento de inundações. Eles precisam ser utilizados para garantir a transmissão das informações relevantes aos seus usuários de forma que o conteúdo seja entendido corretamente, atingindo os objetivos para os quais foram desenvolvidos.

O escopo e os detalhes das informações apresentadas devem ser apropriados ao público-alvo. Prioritariamente os produtos cartográficos devem ser simples e auto-explicativos, incluir uma legenda clara de modo que o mínimo suporte seja necessário para a correta interpretação, ao mesmo tempo apresentar informações explicativas mais detalhadas para ajudar o usuário a entender completamente o desenvolvimento e suas limitações.

Os mapas, em formato de impressão ISO A1, devem ser compostos, no mínimo, pelos seguintes elementos:

- Título: breve descrição do mapa, incluindo referência clara ao seu conteúdo e/ou finalidade;
- Encarte de localização: fornecimento de um pequeno mapa indicando sua inserção no contexto territorial local e regional;
- Data de elaboração;
- Indicação de projeção, sistema de coordenadas, elemento de referência apontando para o norte e escalas gráfica e numérica;
- Grid de coordenadas planas;
- Fonte dos dados;
- Notas explicativas;
- Legenda, apresentando:
 - ✓ parâmetros mostrados no mapa com símbolos ou esquemas de cores fáceis de interpretação;
 - ✓ classe ou rampa para valores numéricos.
- Simbologia de referência (baseado em ROCHA *et al.*, 2017¹):

¹ ROCHA, F.F.; BRASIL, L.S.S.; LOPES, C.; COELHO, L.C. Critérios técnicos para realização de estudos de ruptura de barragens de rejeitos. In: II SEMINÁRIO DE GESTÃO DE RISCOS E SEGURANÇA DE BARRAGENS DE REJEITOS, 2017, Belo Horizonte.



Legenda	
Edificações	
Comércio / Serviço	Barramento
Residencial	Reservatório
Não identificado	Limite Municipal
Sem uso / abandonada	Envolvoria de Inundação
Templo religioso	Seções Transversais
Final da simulação hidráulica	Rodovias Estaduais
Rodovias e Acessos	Rodovias Federais
Seções Transversais	Distância ao Barramento
Hidrografia	Tempo de Chegada 2 pés

- Quadro-síntese com informações hidrodinâmicas das seções transversais representativas:

Cenário 1							
Seção Transversal	Distância em Relação ao Eixo da Barragem	Elevação de Fundo do Curso Água da Seção	Profundidade Máxima Atingida na Seção	Velocidade Máxima Atingida na Seção	Vazão Máxima Atingida	Tempo de Chegada da Onda de Ruptura (Chegada)	Tempo de Chegada da Onda de Ruptura (Pico)
(identificação)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m ³ /s)	00H00	00H00
S1							
S2							
Sn							

- Notas técnicas explicativas para salientar premissas e cenários inerentes ao estudo.

2. Background

O mapeamento ou a imagem de fundo em segundo plano devem ser claros e adequadamente dimensionados para facilitar a localização e a identificação dos elementos geográficos, de modo a fornecer referências sobre as manchas de inundação.

Deve-se tomar cuidado para garantir que as cores do mapeamento em segundo plano não sejam confundíveis com as usadas no mapeamento de inundação (ou vice-versa).



ANEXO II – CRITÉRIOS PARA CLASSIFICAÇÃO DO PERIGO DE INUNDAÇÕES PARA ESTRUTURAS

Classificação	Critério de Classificação	Representação no mapa
R1	$V < 2,0 \text{ m/s}$; $H < 0,3\text{m}$; $(H \times V) \leq 0,3 \text{ m}^2/\text{s}$	Azul
R2	$V < 2,0 \text{ m/s}$; $H < 0,5\text{m}$; $(H \times V) \leq 0,6 \text{ m}^2/\text{s}$	Azul claro
R3	$V < 2,0 \text{ m/s}$; $H < 1,2\text{m}$; $(H \times V) \leq 0,6 \text{ m}^2/\text{s}$	Verde
R4	$V < 2,0 \text{ m/s}$; $H < 2,0\text{m}$; $(H \times V) \leq 1,0 \text{ m}^2/\text{s}$	Verde claro
R5	$V < 4,0 \text{ m/s}$; $H < 4,0\text{m}$; $(H \times V) \leq 4,0 \text{ m}^2/\text{s}$	Laranja
R6	$(H \times V) > 4,0 \text{ m}^2/\text{s}$	Vermelho

Adaptado de: The Australian Rainfall and Runoff: A guide to flood estimation (ARR)