

PRIORIZAÇÃO DE AÇÕES DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

Glauco Gonçalves DIAS
Engenheiro Civil MSc. – Enemax Engenharia e Consultoria Ltda.

Deborah Cardoso da CRUZ
Engenheira Civil MSc. – Enemax Engenharia e Consultoria Ltda.

Mariana Francisca FERREIRA Silva
Engenheira Civil – Enemax Engenharia e Consultoria Ltda.

Victor Romeu Fernandes de OLIVEIRA
Engenheiro Civil Especialista – Enemax Engenharia e Consultoria Ltda.

Teresa Cristina FUSARO
Engenheira Civil MSc. – Fusaro Engenharia e Consultoria Ltda

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar criticamente as metodologias existentes para a priorização das ações de segurança de barragens levantadas quando da execução das inspeções rotineiras, inspeções de segurança regulares e especiais e revisão periódica de segurança de barragens. Apresenta uma sugestão de metodologia de priorização de ações levando em conta sua gravidade, urgência e tendência, de utilização mais prática e que auxilia o empreendedor na programação das ações necessárias para o controle dos riscos associados a barragens.

ABSTRACT

The present article aims to preset a review on the current methodologies for prioritizing dam safety actions, identified during routine, regular and special dam safety inspections, and periodic dam safety reviews. It proposes a methodology considering severity, urgency and tendency, which is more practical to be applied and assist the dam owner on scheduling the necessary actions to control the risks associated with dams.

1. INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Segurança de Barragens brasileira define que as ações indicadas nos relatórios de inspeção de segurança regular e especial e nas revisões periódicas de segurança de barragens tenham seus prazos de execução estabelecidos.

No entanto, a tarefa de priorização das recomendações apontadas pelas atividades de monitoramento de barragens não é nada simples, dadas as incertezas que podem estar associadas a determinada anomalia identificada e o eventual grau de complexidade das ações propostas.

A qualidade das ações recomendadas a partir das atividades de monitoramento (Inspeções rotineiras, regulares ou especiais, instrumentação ou revisão periódica de segurança) para redução do risco imposto por barragens depende da disponibilidade de documentação e de estudos de engenharia anteriores relevantes, histórico de desempenho e das incertezas presentes nas avaliações. Dependem também de profissionais capacitados, para evitar que sejam indicadas ações que possam ir contra as intenções de projeto e, até mesmo, reduzir a segurança da estrutura em análise.

Estas ações podem ter diferentes níveis de complexidade e podem ser categorizadas como:

- Estudos e Análises de Engenharia – visam reduzir as incertezas e aumentar a confiança nas avaliações da segurança das estruturas; ou orientam a definição de soluções de engenharia para projetos de reabilitação;
- Projetos de Reabilitação (Manutenção preventiva ou corretiva) – visam reduzir a probabilidade de falha ou danos significativos, especialmente quando existem estudos de engenharia anteriores que caracterizam bem o problema e reduzem as incertezas;
- Atividades Críticas de O&M (Manutenção preditiva) – atividades específicas de O&M para monitorar e/ou entender melhor o problema em questão e o risco potencial;
- Manutenções preventivas e corretivas simples ou mesmo rotineiras;
- Estratégias Não Estruturais de Gestão de Riscos– visam reduzir o risco reduzindo as consequências potenciais.

Apesar da importância da priorização das ações de segurança de barragens, não existem padrões para tal classificação. Isto leva as empresas a estabelecerem suas próprias métricas de classificação, com o objetivo de auxiliar no planejamento técnico-financeiro das atividades de manutenção com vistas a assegurar a integridade das estruturas e a redução do risco imposto por barragens.

O presente trabalho busca contribuir para as discussões acerca da priorização de manutenções preventivas e corretivas de estruturas civis de barragens e propor uma metodologia de categorização das ações de fácil aplicação e que permita o adequado planejamento da manutenção, facilitando a apresentação para os níveis gerenciais superiores e defesa orçamentária.

2. PRIORIZAÇÃO DE AÇÕES NO BRASIL

No Brasil, têm sido adotados diversos meios para a classificação e priorização de ações de segurança de barragens, apresentados brevemente nos itens a seguir.

2.1 Priorização de ações empregando Sistema de Índices

Esta metodologia permite a categorização de ações considerando seu grau de prioridade, por meio da definição de perguntas técnicas associadas a uma escala detalhada de pontuação pré-definida. Apresenta similaridade com os métodos de índices utilizados para a classificação de barragens, tal como as matrizes de classificação de barragens do CNRH, uma vez que são escolhidas questões a serem avaliadas e definidos critérios de pontuação para cada uma delas.

Uma aplicação no Brasil foi apresentada por Sola e Ferreira [1], utilizando as perguntas a seguir, sendo que o somatório dos pontos de cada resposta irá definir os graus de prioridade e período para a execução dos reparos ou intervenções.

1. Onde ocorre a manifestação patológica: em uma Estrutura ou um Instrumento?
2. A manifestação patológica traz risco à estrutura?
3. Qual a magnitude do risco?
4. Qual a urgência para resolução?
5. Qual a velocidade de evolução da manifestação patológica?
6. É necessário instalar instrumentação para monitorar a manifestação patológica?
7. Os comportamentos dos instrumentos instalados na região estão alterados?
8. Qual o status do instrumento com comportamento alterado?
9. Qual o status dos demais instrumentos correlacionados?

GP	Período para Intervenção	Descrição	Somatório
0	Imediato	Estrutura: Manifestação patológica que requer manutenção imediata ou aspectos emergenciais que necessitam de intervenção. Instrumento: Manutenção ou instalação imprescindível de instrumento (s). São medidas que devem ser tomadas para permitir a avaliação da segurança da estrutura, diagnosticar ou sanar um eventual problema.	0-4
1	Até 1 ano	Estrutura: Manifestação patológica que requer manutenção com alta prioridade ou aspectos estruturais cuja persistência ou evolução pode comprometer a segurança das estruturas. Ou aspectos relacionados à limpeza, iluminação e presença de insetos, que são itens de grande importância e, portanto, devem ser executados com prioridade, pois podem afetar as pessoas que transitam no local e a rotina de inspeções. Instrumento: Manutenção ou instalação importante de instrumento(s) que devem ser tomadas para permitir a avaliação da segurança da estrutura, diagnosticar ou sanar um eventual problema.	5-9
2	Até 2 anos	Manifestação patológica com médio grau de prioridade que requer manutenção de médio prazo. São medidas que devem ser tomadas para permitir a avaliação da segurança da estrutura, diagnosticar ou sanar um eventual problema.	10-12
3	Até 3 anos	Manifestação patológica estética ou com baixo grau de prioridade, que requer manutenção a longo prazo.	13-16

TABELA 1 – Graus de Prioridade x Períodos de intervenção propostos por [1].

Este método tem como desvantagem ter como base um conjunto relativamente extenso de perguntas pré-estabelecidas, devendo ser dada a “nota” para cada pergunta com base em escala também pré-definida. Haveria a necessidade de calibração da pontuação por meio da análise de um conjunto grande de barragens para verificar a adequação da escala proposta. Ainda nesta proposta específica, a existência ou não de instrumentação interfere de forma significativa na priorização.

2.2 Priorização de ações empregando tabelas de priorização

Tabelas de priorização de ações foram uma das opções aplicadas durante as primeiras Revisões Periódicas de Segurança de Barragens realizadas no Brasil em atendimento à Lei 12.334/2010. Estas tabelas se mostraram uma ferramenta bastante direta e de fácil aplicação para esta finalidade, como exemplificado na TABELA 2.

NÍVEL DE CRITICIDADE	DESCRIÇÃO	PRAZO PARA EXECUÇÃO DA RECOMENDAÇÃO
0	Recomendações relacionadas a aspectos que comprometem em curto prazo a estabilidade das estruturas.	Até 6 meses (imediato)
0-A	Recomendações relacionadas a ações de instrumentação (instalação de instrumentos, intensificação de leituras e outros aspectos relacionados a instrumentação) ou estudos específicos que devem ser realizados com maior urgência.	Até 1 ano
1	Recomendações relacionadas a aspectos que não comprometem em curto prazo a estabilidade das estruturas; entretanto, cuja evolução pode vir a comprometer.	6 meses a 3 anos (para programação)
2	Recomendações relacionadas a aspectos que comprometem a médio prazo a estabilidade das estruturas.	3 a 6 anos (para programação)
3	Recomendações relacionadas a aspectos estéticos (não comprometem a estabilidade das estruturas) ou de manutenção periódica / rotineira	Periódico / Rotineiro

TABELA 2 – Exemplo de tabela para priorização de ações empregada em Revisão Periódica de Segurança [2].

Estas tabelas, da forma com que foram concebidas na maior parte das vezes, são de emprego fácil e direto, mas têm como desvantagem a subjetividade na avaliação.

2.3 Priorização de ações empregando o Método GUT

O Método GUT (Gravidade, Urgência e Tendência), importado dos sistemas de gestão de qualidade, tem sido empregado por alguns empreendedores no Brasil fazendo adaptações para barragens. Neste método, para cada problema é atribuída uma pontuação de 1 a 5 para cada um dos três parâmetros. As três pontuações de cada problema são multiplicadas pelas outras ($G \times U \times T$) e ao problema com a maior pontuação GUT é dada a primeira prioridade.

Nota	Gravidade	Urgência	Tendência
1	Sem gravidade	Pode esperar	Não irá mudar
2	Pouco Grave	Pouco urgente	Irà piorar a longo prazo
3	Grave	O mais rápido possível	Irà piorar
4	Muito Grave	É urgente	Irà piorar a curto prazo
5	Extremamente grave	Precisa de ação imediata	Irà piorar rapidamente

FIGURA 1 - Exemplo de Matriz GUT de Sistemas de Qualidade Total.

Para barragens, muitas vezes se emprega apenas G e U, uma vez que a urgência normalmente está diretamente relacionada com a tendência e mesmo com a gravidade. Por exemplo, se “pode esperar” é porque é “sem gravidade” ou “não irá mudar”. Assim, pontuar a tendência e a urgência pode, eventualmente, levar a desvios na classificação.

O maior desafio é a definição dos vários níveis de GRAVIDADE, TENDÊNCIA e URGÊNCIA, de forma que a classificação possa auxiliar nas tomadas de decisão quanto à priorização de ações. Não existe uma padronização da escala de gravidade para barragens, e os autores apresentam na TABELA 3 uma sugestão de métrica para definição da gravidade de uma anomalia ou risco potencial diagnosticado em uma barragem.

Da mesma forma, não existe uma métrica para a priorização de ações de segurança de barragens empregando matrizes GUT, e uma possibilidade de Matriz Gravidade x Tendência é apresentada na FIGURA 6.

Este método tem como vantagem a relativa simplicidade. No entanto, depende da definição clara dos diversos níveis de Gravidade, Tendência e Urgência, e há subjetividade na classificação. Além disso, questões simples e que podem ser resolvidas facilmente tendem a ter a sua priorização postergada.

Nota	Gravidade	Descrição
1	Sem gravidade	Anomalia ou aspecto de conservação não associados a uma deficiência na segurança da barragem.
2	Pouco grave	Anomalia em fase incipiente ou estável, indicativo indireto de uma questão associada à segurança da barragem e/ou cuja evolução não afeta diretamente a segurança das estruturas. OU Desconhecimento de aspecto da estrutura improvável de mudar com investigações ou estudos adicionais.
3	Grave / Moderada	Anomalia em fase incipiente ou estável, mas cuja evolução a médio/longo prazo pode vir a desencadear um modo de falha OU Anomalia que impede o monitoramento adequado das estruturas OU Desconhecimento de aspecto relevante ligado à segurança das estruturas, cujas investigações ou estudos adicionais podem vir a aumentar o risco conhecido.
4	Muito grave	MODO DE FALHA POTENCIAL: Anomalia que indica uma possibilidade física de desenvolvimento de um modo de falha, com tendência de evolução no curto prazo, e que exige medidas de redução de risco. Questão relevante para a segurança da barragem (problema incipiente ou já ocorreu anteriormente) e que necessita de estudos mais aprofundados e/ou ação
5	Extremamente grave	MODO DE FALHA EM PROGRESSO: Evidência física direta de anomalia em evolução que pode afetar a segurança da barragem sob condições normais de operação, com iminente consequência externa.

TABELA 3 – Sugestão de métrica para definição da Gravidade e Tendência.

Extremamente grave	5	10	15	20	25
Muito grave	4	8	12	16	20
Grave	3	6	9	12	15
Pouco grave	2	4	6	8	10
Sem gravidade	1	2	3	4	5
	Pode esperar	Pouco urgente	O mais rápido possível	É urgente	Precisa de ação imediata

FIGURA 2 – Exemplo de Matriz G x U para a priorização de ações.

Além disso, quando há interesse na priorização de um portfólio de barragens (como na Cemig GT e Aliança Energia, por exemplo), as escalas de pontuação geralmente são alteradas, reduzindo os pontos das ações que não comprometem a segurança da barragem e aumentando drasticamente os demais. Isso permite somar a pontuação de cada barramento e ranqueá-los de acordo com a sua vulnerabilidade.

2.4 Priorização de ações empregando metodologias de análise de riscos

Uma alternativa possível para a classificação e priorização de ações é a utilização dos resultados de métodos qualitativos ou semiquantitativos de análise de riscos, tais como FMEA/FMECA, podendo ser empregadas Matrizes de Criticidade (por vezes denominadas Matrizes de Risco) ou o RPN (*Risk Priority Number*).

De acordo com IEC 60812:2018 [3], as escalas a serem adotadas para a classificação dos riscos devem ter definições claras e precisas, e devem ser relevantes no contexto da análise. No caso da probabilidade, os valores podem ser expressos quantitativamente (probabilidades ou frequências) ou qualitativamente. No caso de categorias qualitativas de probabilidade, as descrições podem fazer uso de dados empíricos, julgamento de engenharia ou outros recursos.

Como pode ser visto, também não existe uma padronização das escalas de classificação, havendo a necessidade de moldá-las ao tema sob análise e à governança da empresa. Como exemplo, podem ser citadas as escalas desenvolvidas por [4] para quantificação da probabilidade (TABELA 4), tempo disponível para resposta (TABELA 5), consequências e confiabilidade.

Descritor (*)	Definição da Probabilidade	Índice de Probabilidade
Muito Alta ($\geq 10^{-2}$ AFL)	Há evidência direta ou evidência indireta substancial que sugerem que um modo de falha iniciou ou é muito provável que ocorra.	5
Alta (10^{-4} a $<10^{-2}$ AFL)	As condições fundamentais ou defeito existem; evidências indiretas sugerem que é plausível; e evidências-chave são avaliadas mais como "mais provável" do que "menos provável".	4,2
Média (10^{-5} a $<10^{-4}$ AFL)	As condições fundamentais ou defeito existem; evidências indiretas sugerem que é plausível; e evidências-chave são avaliadas mais como "menos provável" do que como "mais provável".	3
Baixa ($<10^{-6}$ a $<10^{-5}$ AFL)	A possibilidade não pode ser descartada, uma condição fundamental ou defeito foram postulados. Evidências indicam que seja muito improvável.	1,5
Remota ($<10^{-6}$ AFL)	Vários eventos devem ocorrer simultaneamente ou em série para causar a ruptura e, além disso, têm probabilidade negligenciável, levando a uma probabilidade de falha negligenciável.	1
Impossível	O modo de falha pode ser descartado por não existir possibilidade física de ocorrência, ou informações eliminam a preocupação existente, ou o carregamento requerido e resposta da estrutura são considerados tão remotos a ponto de serem não-críveis ou não-razoáveis de serem postulados.	0

(*) AFL = *Annual Failure Likelihood* (Probabilidade Anual de Falha)
Quando a probabilidade de falha não é conhecida, os descritores são empregados.

TABELA 4 - Exemplo de tabela de descritores para quantificação de riscos ou gravidade, adaptado de Donnelly et al. [4].

Índice de Rapidez	Tempo de Resposta	Duração	Exemplo de etapa do desenvolvimento de modo de falha	Possível monitorar e detectar antes da ocorrência?	Opções de resposta
3	Classe A Sem tempo de resposta	Minutos (segundos a horas)	Liquefação por sismo	Não	Resposta Limitada
		Horas (minutos a dias)	Galgamento	Não	
2,3	Classe B Tempo curto de resposta	Dias (horas a semanas)	Inundação	Sim	Resposta Reativa
		Semanas (dias a meses)	Saturação do talude	Sim	
1	Classe C Tempo longo de resposta	Meses (semanas a anos)	Erosão regressiva	Sim	Resposta Proativa
		Anos (meses a décadas)	Migração de finos	Sim	
		Décadas (anos a séculos)	Corrosão	Sim	

TABELA 5 - Exemplo de tabela de descritores para quantificação da urgência das ações, adaptado de [4].

Se utilizada a Matriz de Criticidade (Probabilidade x Consequência), os modos de falha/causas são plotados diretamente na matriz, que permite sua priorização. Cabe destacar que, como citado anteriormente, não existe um padrão para as escalas das matrizes, que devem ser descritas detalhadamente e estar de acordo com as orientações e governança de cada empresa.

		PROBABILIDADE				
		IMPROVÁVEL	BAIXA	MODERADA	ALTA	ESPERADO
CONSEQUÊNCIA	EXTREMA	B14.1, B15.2, B16.3	A42.2, A51, A81.5, B14.1, B14.2, B15.2, B16.2, B81.2, B81.3	A81.2, B92.3, B93.2, B93.3	A36, B13.1, B86.1	AÇÕES DE CURTO PRAZO / IMEDIATAS
	ALTA		A101.3	A12.3, A63.3, B11.2, B11.3, B11.4	B11.1	
	MODERADA	B87	B15, B92.1, B92.2, B93.1	A63.3, B12.1, B18	A63.4, B12.2, B52.2	B81.3, B81.4, B94.1, B94.2
	BAIXA		A13, A22.2, A61.5, A92.3, A92.5, B88	A101.4	A53.2, A53.3, A61.4, A61.6, A71.1, A71.2, A81.4, A81.5, A92.3	A14.1, A54, A63.1, A63.2, A81.3, A92.1, A92.4, A92.6, B31, B32, B33, B73.1, B71.2, B81.2
	NEGLIGENCIÁVEL		A41.2, A41.4, A51.7, A52.4, A63.1, A63.3, A63.4, A101.4, B28.1, B29.1, B29.3, B31.2, B31.3, B31.4, B31.5, B31.6, B33.4, B33.5, B33.6, B34.1, B37.1, B41.1, B41.2, B41.3, B41.4	A81.1, A81.2, A92.1, A91.5, A91.6, A92.5, A91.7, A92.4, A91.1, B31.1, B32.1, B33.1, B36.1	A12.2, A41.3, A41.3, A53.1, A53.1, B31.3, B32.2, B33.2, B33.2, B34.2, B33.1, B33.2, B36.2, B37.2	

		PROBABILIDADE				
		IMPROVÁVEL	BAIXA	MODERADA	ALTA	ESPERADA
CONSEQUÊNCIA	EXTREMA (R)	BT-ABT-001 BT-PER-001 BT-ETP-001 BT-PER-002 BT-ALD-001 BT-REC-001 BT-ABT-002 EX-ETP-002				
	ALTA					
	MODERADA		EX-ERS-003 EX-ERS-005	EX-OUT-001 RE-OUT-002	EX-ERS-004	
	BAIXA	BT-PER-003	BT-ERS-001 BT-ERS-002 BT-AUS-001	RE-OUT-003 VA-ERS-006		VA-ERS-007
	DESPREZÍVEL			EX-DGT-001 BT-ABT-0010		

FIGURA 3 – Exemplos de Matrizes de Criticidade, elaboradas de acordo com sistema de governança da empresa e empregando tabelas de definição da probabilidade e consequência específicas [5] [6].

No caso de emprego do FMECA, com o cálculo do *Risk Priority Number* (RPN = Ocorrência x Severidade x Detecção), os riscos e ações podem ser elencados conforme o seu score ou pode ser empregada uma escala para sua priorização, por exemplo como proposto por Espósito e Palmier [6].

RPN ≤ 50: Aceitável	Acompanhar/ Monitorar
50 < RPN ≤ 120: Tolerável	Ação de longo prazo (3 a 10 anos)
RPN > 120: Inaceitável	Ação de curto/médio prazo (1 a 2 anos)

TABELA 6 – Escala de prioridade para o número RPN, adaptado de [7].

As metodologias citadas têm como vantagem o emprego de uma visão de risco no estabelecimento das prioridades. No entanto, demandam um nível adequado de conhecimento dos métodos e as análises FMEA/FMECA exigem tempo e esforço de uma equipe de profissionais, com longas sessões de discussão.

2.5 Priorização de ações pela Agência Nacional de Águas - ANA

A Resolução ANA nº 121 [8] Art.11 estabelece como conteúdo mínimo do relatório da Inspeção de Segurança Regular (ISR), a classificação de cada uma das anomalias detectadas segundo o Nível de Perigo da Anomalia (NPA). Na sequência, determina o Art.12 que deva também constar no relatório de ISR o Nível de Perigo Global da Barragem (NPGB), que, por definição, é dado à barragem em função do comprometimento de sua segurança decorrente do efeito conjugado das anomalias.

Ambas as classificações (NPA e NPGB) são graduadas em Normal, Atenção, Alerta e Emergência.

Uma vantagem na proposta da ANA é o fato de a metodologia estabelecer uma ligação direta entre a segurança da barragem com o conjunto das anomalias. Por análise, a segurança da estrutura fica atrelada às observações de maior perigo (maior NPA), criando assim um destaque para as anomalias mais relevantes.

Por outro lado, a proposta não permite que se estabeleça, de maneira direta, uma priorização das anomalias quando o NPGB é estabelecido por meio do efeito conjugado de várias anomalias, por exemplo, quando todas estão em NPA normal.

Das normativas atualmente vigentes no Brasil, a Resolução ANA nº 121/2022 é a única que cria algum aspecto de hierarquização das anomalias observadas em campo. Contudo, assim como nas demais, há alguma dificuldade na definição clara de cada Nível de Perigo e não há menção sobre as tratativas de não-conformidades de Critérios de Projeto, especialmente os apurados nas Revisões Periódicas de Segurança de Barragens.

3. PRIORIZAÇÃO DE AÇÕES NO MUNDO

Em vários países, a priorização de ações é feita com base em análises de risco, sejam elas qualitativas ou quantitativas. Como exemplo de matriz para classificação qualitativa de riscos, podemos citar FEMA [9], que apresenta uma matriz a ser empregada na triagem de riscos (*screening level*) e para selecionar aqueles que deverão ser avaliados mais detalhadamente por meio de métodos quantitativos.

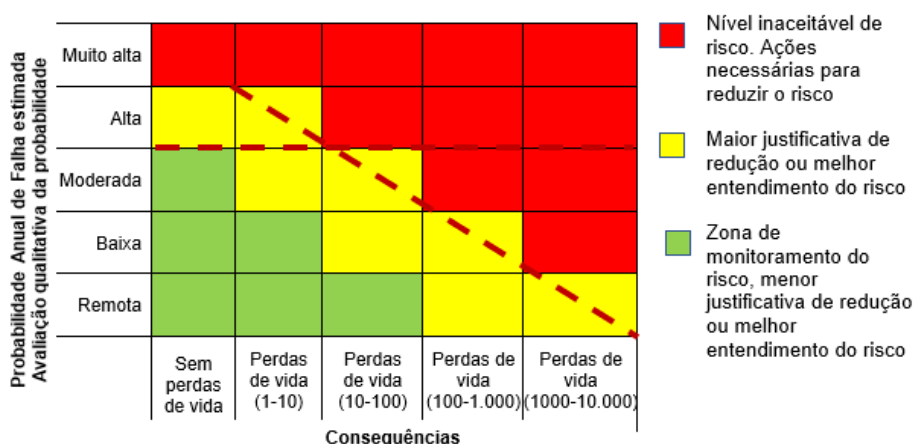


FIGURA 4 – Exemplo de Matriz de Criticidade, adaptada de [9].

Métodos de análise de riscos quantitativas (QRA) também têm sido largamente empregados na priorização de ações de segurança de barragens, em especial na Austrália, Estados Unidos e Canadá. Para tal, a probabilidade de ruptura associada a cada modo de falha é calculada e plotada em um gráfico de risco societal F-N. A Curva F-N é um gráfico de distribuição cumulativa, sendo F a frequência de eventos que

causam pelo menos N fatalidades, em escalas logarítmicas. As curvas F-N são desenvolvidas com base em dados históricos, resultados da análise quantitativa de risco (QRA) e critérios para julgar a tolerabilidade do risco.

Cabe observar que diferentes agências propõem diferentes critérios de aceitabilidade do risco, como exemplificado na FIGURA 5. Neste caso, as ações associadas a riscos acima da linha de tolerabilidade devem ser priorizadas.

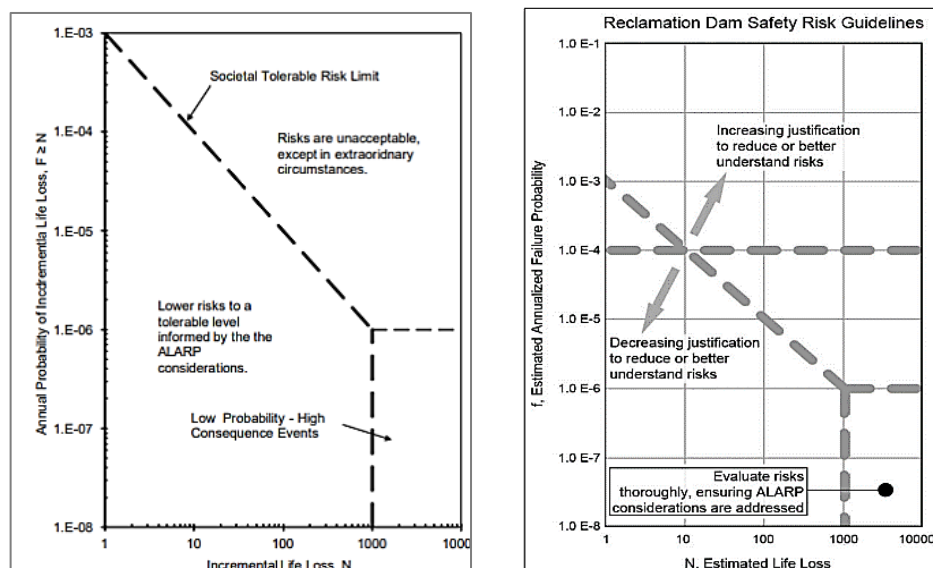


FIGURA 5 – (a) USACE *Societal Guidelines for Incremental Risk* (2014) (b) *Reclamation's Dam Safety Public Protection Guidelines* (2011) [10].

Os métodos citados têm como vantagem permitir o estabelecimento de prioridades com base em uma visão detalhada e quantitativa dos riscos. No entanto, a complexidade dos estudos necessários é muito maior, pois envolve conhecimentos de análise de riscos avançados e conceitos de tolerabilidade de riscos (como ALARP- *As Low As Reasonably Practicable*) pouco difundidos no Brasil e que ainda não são aceitos na maioria dos países.

Uma possibilidade mais simples e mais direta é a aplicação de tabelas de priorização nos moldes do FERC, FEMA, USACE e USBR, que têm como objetivo estabelecer diretrizes sistemáticas para abordar problemas e deficiências de segurança de barragens.

Estas agências reconhecem que os métodos de cálculo de risco não fornecem resultados precisos e que as decisões são geralmente mais complexas do que podem ser retratadas usando apenas os resultados numéricos de uma análise de risco [11]. A intenção é que a classificação de uma barragem seja dinâmica, mudando à medida que as características do projeto mudam ou à medida que informações mais refinadas se tornam disponíveis.

A estrutura e a composição das tabelas FERC Dam Safety Risk Classification (DSRC), USACE Dam Safety Action Classification (DSAC), Bureau of Reclamation Dam Safety

Priority Rating (DSPR) são praticamente iguais, todas resultantes da necessidade de reconhecer formalmente diferentes níveis e urgências de ações, proporcionais aos diferentes status de segurança [12] [13]. Cinco classes são fornecidas para uma classificação inicial das ações de segurança e priorização de barragens que necessitam de intervenção.

Para uniformização da classificação, nos Estados Unidos o risco de barragens também pode ser categorizado qualitativamente pela Joint Federal Risk Category (JFRC), uma abordagem desenvolvida por várias agências federais de barragens para uso no gerenciamento de risco de portfólio (FEMA [13]), conforme apresentado na TABELA 7.

Urgência de ação	Características e considerações	Ações potenciais/possíveis
I – URGÊNCIA MUITO ALTA	QUASE RUPTURA CRÍTICA: Há evidência direta de que a ruptura está em progresso, e a falha da barragem é quase certa em operação normal se ações não forem tomadas rapidamente. OU RISCO EXTREMAMENTE ALTO: A combinação das consequências à vida ou econômicas com a probabilidade de ruptura é muito alta e com alto grau de confiança.	- Tomar ações imediatas para evitar a ruptura. Comunicar os achados para as partes potencialmente afetadas. - Implementar ações temporárias (interim) de redução de risco. - Conduzir monitoramento e avaliação intensivos. Executar investigações e ações expeditas para suportar a redução do risk no longo prazo. - Iniciar gerenciamento intensivo e relatórios de situação.
II- ALTA URGÊNCIA	RISCO ALTO COM ALTO GRAU DE CONFIANÇA, OU RISCO MUITO ALTO COM GRAU DE CONFIANÇA BAIXO A MODERADO: A probabilidade de ruptura neste caso, antes de tomar alguma ação, é muito alta para postergar a ação.	- Implementar ações temporárias de redução de risco. - Assegurar que o Plano de Ação Emergencial esteja atualizado e funcionalmente testado. - Dar alta prioridade para monitoramento e avaliação intensivos. Executar investigações e ações expeditas para suportar a redução do risk no longo prazo. - Confirmação expedita da classificação.
III – URGÊNCIA MODERADA	RISCO MODERADO A ALTO: Grau de confiança nas estimativas de risco é geralmente pelo menos moderada, mas pode incluir empreendimentos com baixo grau de confiança se há uma possibilidade razoável que a estimativa do risco seja confirmada ou é possível que aumente com estudos adicionais.	- Implementar ações temporárias de redução de risco. - Assegurar que o Plano de Ação Emergencial esteja atualizado e funcionalmente testado. - Executar monitoramento e avaliação intensivos. Priorizar investigações e ações expeditas para suportar a redução do risco no longo prazo. - Priorizar confirmação da classificação conforme apropriado.
IV- URGÊNCIA BAIXA A MODERADA	RISCO BAIXO A MODERADO: Os riscos são baixos a moderados, com grau de confiança pelo menos médio, ou os riscos são baixos com baixo grau de confiança, e é possível que os riscos aumentem com estudos adicionais.	- Assegurar que as rotinas de gerenciamento de riscos estão funcionando. - Determinar se ação pode esperar até a próxima revisão periódica. Antes da próxima revisão periódica, tomar ações temporárias (interim) apropriadas ou programar outras ações conforme apropriado. - Dar prioridade normal para as investigações para validar classificação, mas não planejar ações de redução de risco neste momento.
V- SEM URGÊNCIA	BAIXO RISCO: os riscos são baixos e improváveis de alterar com investigações ou estudos adicionais.	Manter as atividades de gerenciamento da segurança de barragens, operação e manutenção normais.

TABELA 7 – *Joint Federal Risk Categories* empregadas para priorização de ações, adaptado de [10].

4. PROPOSTA DE MÉTODOS DE PRIORIZAÇÃO DE AÇÕES

A regulamentação de segurança de barragens brasileira em vigor (Lei nº 12.334/2010, alterada pela Lei nº 14.066/2020), determina que o órgão fiscalizador deverá estabelecer prazo para que o empreendedor cumpra as ações previstas nos relatórios de inspeções de segurança regulares e especiais e revisão periódica de segurança de barragens. Contudo, os agentes federais (ANA, ANM e ANEEL) atribuem essa função ao responsável técnico pela elaboração dos relatórios, mas não apresentam metodologia de priorização que poderia auxiliar na tomada de decisão.

Apenas a ANEEL, na resolução normativa nº 1.064/2023, define que as recomendações deverão ser atendidas nos prazos indicados nos relatórios de inspeção de segurança regular (ISR) e especial (ISE) e da revisão periódica de segurança (RPS) de acordo com a gravidade, urgência e tendência; e nas RPSs devem ainda ser classificadas de acordo à sua importância baixa, média ou alta.

Considerando então a necessidade de priorização das ações de segurança de barragens e as possibilidades descritas anteriormente, buscou-se a elaboração de uma metodologia para priorização destas ações, desenvolvida de forma a:

- Estar consistente com as regulamentações existentes no Brasil;
- Ser simples, rápida e de fácil implementação;
- Ser aplicável a qualquer tipo de barragem;
- Reduzir parte da subjetividade, ser transparente e defensável.

Uma possibilidade seria o emprego de matrizes Gravidade x Tendência, sendo a Urgência definida por estes dois fatores (se uma anomalia é grave e tem tendência a progredir rapidamente, então a urgência de ação seria alta). Neste método, para cada problema é atribuída uma pontuação de 1 a 5 para os parâmetros G e T e os valores finais são obtidos pela multiplicação $G \times T$.



GRAVIDADE	Extremamente grave	5	10	15	20	25
	Muito grave	4	8	12	16	20
	Grave	3	6	9	12	15
	Pouco grave	2	4	6	8	10
	sem gravidade	1	2	3	4	5
		Sem tendência de piorar	Irã piorar em décadas	Irã piorar em anos	Irã piorar em meses	Irã evoluir rapidamente (poucos dias, horas)
		TENDÊNCIA				

FIGURA 6 - Exemplo de emprego de Matriz Gravidade x Tendência para a priorização de ações de segurança de barragens, a Urgência sendo definida por estes fatores.

A matriz traz como vantagem permitir a visualização gráfica das anomalias, assim como feito quando do emprego das Matrizes de Criticidade do FMEA.

GRAVIDADE	Extremamente grave		A4			
	Muito grave				A16	
	Grave	A12				
	Pouco grave		A2, A9, A10	A15	A3	
	sem gravidade	A1, A5, A6, A7, A8, A9, A11				
		Sem tendência de piorar	Irá piorar em décadas	Irá piorar em anos	Irá piorar em meses	Irá evoluir rapidamente (poucos dias, horas)
		TENDÊNCIA				

FIGURA 7 – Visualização da classificação das anomalias A1 a A16 na matriz GxT.

No entanto, haveria a necessidade de descrever a escala de Gravidade e de cores adequadamente, bem como testar o método em um portfólio bem variado de barragens, para assegurar que representasse adequadamente a realidade e os riscos associados aos problemas usualmente identificados. Além disso, essa metodologia poderá trazer dificuldades na avaliação de questões não associadas a anomalias identificadas em campo, tais como o atendimento a critérios de projeto (vertedouro subdimensionado ou borda livre inadequada, por exemplo).

Como alternativa, é proposta uma tabela indicativa de classificação de ações, na mesma linha das adotadas pelas agências americanas, e apresentada na TABELA 8.

A “Gravidade” indica o impacto que a anomalia pode gerar caso não seja solucionada, ou seja, tenta indicar o quão próximo a barragem estaria da materialização de um modo de falha devido a uma anomalia específica.

Para “Tendência” foi considerado o tempo de evolução da anomalia assim como o tempo disponível/opções de resposta, tendo como base as definições feitas em Donnelly et al. [3].

A “Urgência” é em parte ditada pela combinação da Gravidade e da Tendência e sinaliza o tempo em que devem ser adotadas medidas como as indicadas na coluna “Ação”.

A escala de “Priorização”, objetivo do presente estudo, foi fixada considerando os descritores anteriores (Gravidade, Tendência e Urgência) e partindo do nível 0 (mais crítico) até o nível 4 (menos crítico), com a ordenação da prioridade dentro de cada nível indo de A (maior prioridade) a D.

Importante observar que esta seria uma proposta para priorização de ações e não para definição de categorias de nível de segurança da barragem ou do nível global de perigo (ANA). Isto porque trata cada problema identificado isoladamente e sem considerar a possibilidade de várias anomalias mais simples poderem compor um quadro de atenção para determinada estrutura.

Gravidade	Tendência	Urgência	Priorização	Ações possíveis
Falha em curso.	Tendência de evolução em horas/dias.	Ação imediata	0	Acionamento do PAE Alerta/ Evacuação
Anomalia indica a iminência física de desenvolvimento de um modo de falha.	Tendência de evolução em dias/semanas.	Curtíssimo prazo / Ação imediata	1	Iniciar estado de prontidão do PAE + Executar ações imediatas de mitigação do risco + Intervenção
Anomalia que indica uma possibilidade física de desenvolvimento de um modo de falha, que exige medidas de controle e mitigação de risco.	Tendência de evolução em meses ou anos.	Curto prazo	2A	Recuperação
Não atendimento a Critérios de Projeto, com alto grau de confiança e que não deve mudar com estudos adicionais.	Sem tendência de piorar OU depende da ocorrência de evento/sequência de eventos de probabilidade muito baixa.	Início dos estudos no Curto / Médio prazo	2B	Regra operativa + Projeto + Intervenção
Não atendimento a Critérios de Projeto, com alto grau de incerteza e passível de alteração com estudos adicionais.		Início dos estudos no Curto prazo	2C	Estudos complementares
Anomalia que impede ou reduz a eficiência do monitoramento das estruturas (aspectos da instrumentação, acesso) OU deficiência na manutenção rotineira.	Tendência de evolução em meses ou anos.	Rotina / Manutenção corretiva no curto prazo	3A	Manutenção Recuperação Investigação
Anomalia em desenvolvimento com necessidade de programação de manutenção.	Sem tendência de piorar OU tendência de evolução em décadas/anos OU depende da ocorrência de evento/sequência de eventos de probabilidade muito baixa.	Médio prazo	3B	Recuperação Investigação
Desconhecimento de aspecto da estrutura que demande investigações ou estudos adicionais.		Médio prazo	3C	Investigação Estudo
Anomalia em fase incipiente e que não demanda programação de manutenção no momento.		Rotina / longo prazo	3D	Monitoramento
Deficiência em aspecto documental e/ou legal.	-	Curto prazo	4A	-
Anomalia e/ou aspecto de conservação não associados a deficiência da segurança da barragem.	Tendência de evolução em dias/ meses	Rotina / Curto / Médio prazo	4B	-
	Tendência de evolução em anos/décadas	Monitoramento / Longo prazo	4C	-

TABELA 8 – Proposta de Tabela Indicativa para Priorização de Ações de Segurança de Barragens.

Cabe destacar que deficiências/irregularidades relacionadas a aspectos de conservação, documental ou legal, ou não associadas diretamente a anomalias no

barramento (4A, 4B, 4C e 4D), foram consideradas separadamente, para permitir evidenciar as ações relacionadas à segurança de barragens.

Também podem ressaltadas as ações que possivelmente terão que ser executadas no longo prazo, mas cujo prazo para manutenção depende da velocidade de evolução da anomalia, muitas vezes difícil de ser avaliada e dependente de múltiplos fatores (por exemplo, o avanço de uma erosão na calha do vertedouro depende da frequência e vazões de vertimento). Nestes casos, considera-se mais adequado manter a anomalia sob monitoramento, avaliando sua evolução para definir a melhor época para a execução dos reparos, conforme técnicas de Manutenção Preditiva e Manutenção Baseada em Condições.

Para calibração dos níveis e descrições propostos, a tabela foi testada num portfólio de 7 barragens de tamanhos, tipos e complexidades variadas. Durante a fase de testes, foram feitos ajustes até que todas as anomalias descritas se enquadrassem adequadamente na escala de priorização proposta.

A princípio, foram consideradas como ações de curtíssimo prazo aquelas que devem ser iniciadas o mais breve possível e as de curto prazo como aquelas que podem ser programadas para início no próximo ciclo orçamentário (ano seguinte) ou em até 3 anos, dependendo da situação. As ações de médio prazo seriam aquelas a serem iniciadas em até 5 anos e as de longo prazo a serem realizadas em períodos superiores a estes, entendendo que não haveria necessidade de estabelecer datas de execução para as ações de longo prazo, pois em geral dependem de como se dará a evolução da anomalia.

Como nas agências citadas, a urgência das ações seria apenas orientativa, pois, muitas vezes há interesse de agrupar serviços para facilitar a contratação ou não é possível a contratação de serviços muito especializados ou de grande complexidade em um curto período de tempo, como será discutido a seguir neste artigo. Além disso, cabe lembrar que a urgência das ações pode sofrer alterações com o tempo, a depender da ocorrência ou não de carregamentos ou eventos excepcionais (níveis d'água do reservatório, eventos de precipitação, operação do vertedouro, secas prolongadas, por exemplo) que venham a aumentar ou reduzir a velocidade de evolução de determinada anomalia.

5. PROGRAMAÇÃO DE AÇÕES DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

Num primeiro momento, associar uma metodologia de priorização a uma proposta de prazos para a execução de ações pode parecer vantajoso, uma vez que poderia reduzir a subjetividade na tomada de decisão e a possibilidade de o prazo não estar condizente com a gravidade da ação.

Contudo, propor uma metodologia que padroniza os prazos de acordo com a gravidade, tendência e urgência é um desafio, visto a diversidade das ações possíveis: estudos de engenharia, obras de adequação estrutural ou de reabilitação

(manutenção preventiva ou corretiva), atividades críticas de O&M (manutenção preditiva), manutenções preventivas e corretivas simples ou rotineiras, ou mesmo estratégias não estruturais de gestão de riscos. Isto torna difícil cercar as especificidades para se executar muitas das ações recomendadas.

O nível de complexidade de execução de uma ação é um ponto importante na definição de prazos, uma vez que a criticidade de uma ação pode estar associada a diferentes níveis de complexidade para execução.

Por exemplo, a necessidade de ampliar a capacidade de descarga de um vertedouro pode ser entendida como uma questão crítica para a segurança. No entanto, a complexidade para execução é alta, pois requer estudos, investigação, projeto, contratação e execução da obra, e poderá até ser iniciada, mas certamente não será finalizada no curto prazo. Por outro lado, algumas ações de menor criticidade, tais como melhoria na instrumentação ou pequenas manutenções corretivas, podem ser facilmente executadas e muitas vezes com recursos locais, o que não justificaria estarem associada a um prazo longo.

Para o empreendedor que possui mais de uma barragem, as definições de prazos das ações decorrem de uma avaliação do portfólio, da capacidade da equipe técnica de gerenciar e conduzir múltiplas ações simultaneamente, devendo ser reconhecida a limitação dos recursos disponíveis. Estas condições dificultam a elaboração de uma metodologia que padronize os prazos e sua aplicação pelos responsáveis pelas inspeções de segurança regulares e revisões periódicas de segurança de barragens. Incluir os prazos de execução das ações nos relatórios, sem fazer uma análise de portfólio, pode acarretar prazos inexecutáveis para o empreendedor.

No entanto, como citado anteriormente, os agentes federais (ANA, ANM e ANEEL) atribuem a função de estabelecer prazo para que o empreendedor execute as ações indicadas nos relatórios de inspeções de segurança e revisões periódicas de segurança ao responsável técnico pela elaboração dos relatórios. Caso o responsável seja um consultor externo, estabelecer os prazos para as recomendações pode ser ainda mais desafiador, uma vez que não está responsável pelo planejamento orçamentário e, em certos casos, não atua em outras barragens do empreendedor, de forma que os prazos estabelecidos possam vir a ser inexecutáveis ao se analisar o portfólio.

Dessa forma, entende-se que ao se estabelecer uma metodologia de priorização de ações com prazos para execução, deve-se ponderar os prazos considerando o nível de complexidade de execução e o número de barragens no portfólio do empreendedor, mas de forma que a relevância da ação para a garantia da segurança da estrutura seja preponderante na tomada de decisão.

Os seguintes pontos podem ser considerados em uma filosofia geral de priorização de ações de segurança de barragens:

- Executar ou iniciar a execução primeiro das atividades mais críticas ou de maior risco;

- Atenção para tomadas de decisão sem estudos/projetos adequados devido ao curto prazo fixado para a execução das ações;
- Ações de alta criticidade e alta complexidade devem ser programadas e iniciadas no curto prazo, mesmo que sua conclusão final demande um prazo mais longo;
- A priorização de ações de alta complexidade, que envolvam investigações, projetos e subsequentes obras de modificação estrutural, podem ter um impacto significativo na velocidade e eficiência da redução de risco para o portfólio geral de barragens. Portanto, pode haver momentos em que ações de menor criticidade sejam priorizadas, quando demonstrado que essa ação será mais eficaz e rápida na redução do risco geral do portfólio;
- Ações que provavelmente serão necessárias num prazo muito longo podem ser mantidas “em monitoramento” até que sua evolução indique a necessidade de programação dos reparos.

6. CONCLUSÕES

A segurança de barragens deve estar no caminho crítico de todas as decisões tomadas pelo empreendedor no que concerne a determinado aproveitamento hídrico. Daí a importância da priorização das ações, de forma a aumentar o foco em segurança de barragens, permitir a execução das ações com qualidade e efetividade (sem inúmeras ações ao mesmo tempo e atingindo os objetivos pretendidos) e colaborar para o planejamento financeiro da manutenção.

Cabe destacar que o engenheiro responsável pela inspeção e pela definição das ações necessárias para minimizar os riscos impostos por uma determinada estrutura deve estabelecer a gravidade das anomalias identificadas e a urgência na qual elas devem ser estudadas, reavaliadas ou sanadas. Entretanto, entende-se que apenas o empreendedor consegue elaborar um cronograma de execução, tendo em vista que deverá levar em consideração as dificuldades na especificação técnica dos serviços, as formas e trâmites internos de contratação, tempo da obra, disponibilidade orçamentária e a priorização das atividades considerando o seu portfólio de barragens.

7. PALAVRAS-CHAVE

Segurança de barragens, Manutenção, Plano de ação, Priorização de ações.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] SOLA, K.G.L., FERREIRA, A.L.M. (2022) – “Proposta de Metodologia para Determinação das Prioridades da Manutenção de Barragens de Usinas Hidrelétricas

e Estruturas Associadas”, Revista Brasileira de Engenharia de Barragens do CBDB, 12ª Edição.

[2] BOTELHO, M. M. [correspondência]. Destinatário: Teresa Cristina Fusaro. Belo Horizonte, 30 maio 2023. Email.

[3] IEC (2018). “60812 Edition 3.0 2018-08. Failure Modes and Effects Analysis (FMEA and FMECA)”. Items B2, B3 e B4.

[4] DONNELLY, C. R., ACHARYA, M., IQBAL, J., RUTHERFORD, J. (2022). “Alberta Environment and Parks PFMEA Tool for Risk-informed Dam Safety Prioritization”. CDA Bulletin Vol 33, nº2.

[5] ROBERTSON, A.M., SHAW, S. (2003) - “Risk Management for Major Geotechnical Structures on Mines”. CAMI Conference. Disponível em: <<https://bcmlard.ca/images/uploads/B.17c.pdf>>. Acesso em 21/05/2023.

[6] ANA (2013) – “Produto 3 - Classificação de Barragens: Melhores Práticas Nacionais e Internacionais”. Disponível em: <https://www.snisb.gov.br/Entenda_Mais/publicacoes/ArquivosPNSB_Docs_Estruturantes/produto-03-2013-classificacao-de-barragens-melhores-praticas-nacionais-e-internacionais.pdf>. Acesso em 21/05/2023.

[7] ESPÓSITO, T. PALMIER, L.P. (2013) – “Application of Risk Analysis Methods on Tailings Dams”. Revista Soils and Rocks. Vol 36, N. 1, January-April 2013.

[8] Agência Nacional de Águas (2022) – “Resolução 121, de 09 de maio de 2022”. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/_viewpdf/web/?file=https://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2022/0121-2022_Ato_Normativo_09052022_20220513090215.pdf>. Acesso em 18/05/2023.

[9] FEMA (2022) – “Model State Dam Safety Program Manual”. Chapter 3. Disponível em: <https://damsafety-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/files/FEMA%20316_Model%20State%20Dam%20Safety%20Program_2022.pdf>. Acesso em 21/05/2023.

[10] BUREAU OF RECLAMATION (2019) – “Risk Management Best Practices” Chapter 9. Disponível em: <https://www.usbr.gov/damsafety/risk/BestPractices/Chapters/A9-GovernanceAndGuidance.pdf>. Acesso em 16/06/2023.

[11] FERC (2016) – “Risk-Informed Decision-Making Guidelines”. Chapter 4, Page 4-43. Disponível em: <<https://www.ferc.gov/sites/default/files/2020-04/chapter-4.pdf>>. Acesso em 21/05/2023.

[12] USACE (2014) – “Safety of Dams-Policy and Procedures”. ER 1110-2-1156, Page 3-14. Disponível em: <<https://www.publications.usace.army.mil/Portals>

/76/Users/182/86/2486/ER_1110-2-1156.pdf?ver=2020-01-29-103920-173>. Acesso em 19/02/2023.

[13] FEMA (2015) – “Federal Guidelines for Dam Safety Risk Management”. Disponível em: <https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-08/fema_dam-safety_risk-management_P-1025.pdf>. Acesso em 21/05/2023.

	Glauco Gonçalves DIAS Engenheiro de Produção-Civil pelo CEFET/MG e Mestre em Engenharia Civil pelo CEFET/MG, com mais de 20 anos de experiência na área de segurança e manutenção de barragens. Atualmente, Sócio e Diretor Técnico da Enemax Engenharia e Consultoria Ltda, coordena trabalhos relacionados à Política Nacional de Barragens.
	Deborah Cardoso da CRUZ Engenheira de Produção-Civil pelo CEFET/MG (2017) e Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela UNB (2019) atua na Enemax desde 2019 na área de hidrotecnia e segurança de barragens. Tem experiência na realização de Revisão Periódica de Segurança, Inspeção de Segurança Regular, Estudos Hidrológicos/Hidráulicos e de rompimento de barragens.
	Mariana Francisca Ferreira SILVA Engenheira Civil pela UFMG (2020) e atua na Enemax tanto na área de Hidrotecnia e Recursos Hídricos, como no time de Segurança de Barragens. Tem experiência na realização de Revisão Periódica de Segurança (RPS), Inspeção de Segurança Regular (ISR), Análises de Instrumentação, Estudos hidrológicos e hidráulicos.



Victor Romeu Fernandes de OLIVEIRA

Engenheiro Civil e Especialista em Engenharia e Tecnologia de Barragens pela PUC-MG. Atua na Enemax Engenharia e Consultoria como Sócio e Coordenador, responsável por Inspeções de Segurança Regular (ISR), Revisões Periódicas de Segurança (RPS), Análises da Instrumentação, Projetos de Recuperação e treinamentos relacionados ao tema.



Teresa Cristina FUSARO

Engenheira Civil pela UFMG e Mestre em Geotecnia de Barragens pela UFOP, com mais de 35 anos de experiência na área de segurança e manutenção de barragens. Atuou na Cemig como engenheira (1986 a 2003) e como gerente de Segurança de Barragens e Manutenção Civil (2004 a 2013). Sócia da Fusaro Eng^a e Consultoria, atualmente atua como consultora nas áreas de inspeção, instrumentação e análises de riscos de barragens.