

PAULO ROBERTO PAIVA COSTA

**PROPOSTA METODOLÓGICA ALTERNATIVA PARA MATRIZ
GUT - GRAVIDADE, URGÊNCIA E TENDÊNCIA, APLICADA A
SEGURANÇA DE BARRAGENS**

Trabalho de Conclusão de Curso no Formato de Artigo Científico, apresentado ao Curso de Especialização em Segurança de Barragens: Aspectos Técnicos e Legais – Turma IV; Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental; Departamento de Engenharia Ambiental - DEA; Escola Politécnica; Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista.

Orientadora: Profa. Dra. Cássia Juliana Fernandes Torres

Salvador
2024

PROPOSTA METODOLÓGICA ALTERNATIVA PARA MATRIZ GUT - GRAVIDADE, URGÊNCIA E TENDÊNCIA, APLICADA A SEGURANÇA DE BARRAGENS

Paulo Roberto Paiva Costa

Resumo

A preservação e o controle da segurança das barragens têm como base o processo de auscultação, conjunto de métodos de observação, que auxiliado e complementado com os conhecimentos do projeto, da construção e das intervenções realizadas durante o período de operação, fornece informações essenciais para a efetiva avaliação e caracterização das anomalias. Este processo, composto pela auscultação qualitativa/subjetiva, efetivada pelas inspeções visuais, e pela auscultação quantitativa/objetiva, baseada nos parâmetros fornecidos pela instrumentação, que necessita de análise e interpretação, é caracterizado pela inerente subjetividade que o torna, essencialmente, dependente do nível de conhecimento tanto do inspetor quanto do analista da instrumentação. A sistematização da auscultação associada a utilização de metodologias adequadas, como a alternativa proposta, contribui substancialmente para minimizar o seu intrínseco grau de subjetividade e, conseqüentemente, a variabilidade dos resultados obtidos. A metodologia alternativa proposta, GUT – Quatro Parâmetros, fundamentada no estabelecimento de uma correlação, o mais direta quanto possível, entre os parâmetros caracterizadores dos aspectos observados durante as Inspeções e os respectivos parâmetros descritores dos aspectos que compõem a matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência), conforme pode ser constatado, contribui efetivamente para a redução do grau de subjetividade característico do processo, bem como para o estabelecimento fundamentado da hierarquização das anomalias e consecutivamente para a priorização das recomendações a serem implementadas.

Palavras-chave: Segurança de Barragem, Auscultação, Anomalias, Matriz GUT, Surgência, Erosão interna “Piping”.

Abstract

The preservation and control of dam safety is based on the auscultation process, a set of observation methods, which, assisted and complemented with knowledge of the project, construction and interventions carried out during the period of operation, provides essential information for the effective assessment and characterization of anomalies. This process, composed of qualitative/subjective auscultation, carried out by visual inspections, and quantitative/objective auscultation, based on the parameters provided by the instrumentation, which requires analysis and interpretation, is characterized by the inherent subjectivity that makes it, essentially,

dependent on the level knowledge of both the inspector and the instrumentation analyst. The systematization of auscultation associated with the use of appropriate methodologies, such as the proposed alternative, substantially contributes to minimizing its intrinsic degree of subjectivity and, consequently, the variability of the results obtained. The proposed alternative methodology, GUT – Four Parameters, based on the establishment of a correlation, as direct as possible, between the parameters characterizing the aspects observed during the Inspections and the respective parameters describing the aspects that make up the GUT matrix (Gravity, Urgency and Tendency), as can be seen, effectively contributes to reducing the degree of subjectivity characteristic of the process, as well as to the well-founded establishment of the hierarchy of anomalies and consequently to the prioritization of recommendations to be implemented.

Keywords: Dam Safety, Auscultation, Anomalies, GUT Matrix, Uncontrolled Seepage, Pipping.

1. INTRODUÇÃO

É incontestável que as barragens, compreendendo o barramento, as estruturas associadas e o reservatório, são obras necessárias para uma adequada gestão dos recursos hídricos e que trazem inúmeros benefícios para a sociedade, desde os primórdios da humanidade. No entanto, é inegável que sua construção e operação pode introduzir um risco tecnológico ao meio, que envolve danos potenciais para as populações e os bens materiais e ambientais existentes no entorno.

Partindo destes princípios, para garantir as necessárias condições de segurança das barragens ao longo da sua vida útil, devem ser adotadas medidas de prevenção e controle dessas condições. Essas medidas, se devidamente implementadas, asseguram uma probabilidade de ocorrência de acidente reduzida ou praticamente nula, mas devem, apesar disso, ser complementadas com medidas de defesa civil para minorar as consequências de uma possível ocorrência de acidente, especialmente em casos em que se associam danos potenciais mais altos (ANA, 2016) [1].

Biedermann (1997) [3] considera que a segurança de barragens pode ser obtida levando em consideração três pilares básicos: (I) segurança estrutural - alicerçada pelo projeto e construção, e preservada pelo plano de manutenção; (II) monitoramento – implementado pelo plano de monitoramento (auscultação); e (III) gestão de emergência – implementada pelo Plano de Ações de Emergência.

Para o Comitê Brasileiro de Grandes Barragens (CBGB), segurança de uma barragem está intrinsecamente relacionada aos seus aspectos de projeto, construção, auscultação (instrumentação/inspeção), operação e manutenção. A fase de projeto de uma barragem e de suas estruturas associadas se caracteriza como de vital importância para a sua segurança futura, uma vez que um projeto bem concebido contribuirá efetivamente para garantir a segurança e o comportamento adequado da barragem e de sua fundação, ao longo de toda sua vida útil. Por melhor que tenha sido a elaboração do projeto de uma barragem, mais bem executada a sua construção e rigorosa a implementação das ações previstas no Plano de Manutenção, só será possível exercer um eficiente controle de suas condições de segurança se a barragem estiver sendo adequadamente monitorada (Inspeção Visual, Instrumentação e Testes em Equipamentos Eletromecânicos), e se também estiver sendo operada por uma equipe devidamente treinada para atuar, tanto em condições normais quanto em situações de emergência (CBGB, 1996) [4].

Na fase de operação, além da rigorosa implementação do Plano de Manutenção, são necessárias obras periódicas de manutenção, ou até mesmo intervenções específicas de maior vulto que podem alterar algumas características originais do projeto. Estas ações são implementadas com o objetivo de preservar em bom estado a integridade física e o desempenho funcional das estruturas, assim como para garantir a operacionalidade dos equipamentos eletromecânicos e dos instrumentos de auscultação. Destaca-se que “auscultação é o conjunto de métodos de observação do comportamento de uma determinada obra de engenharia, com o objetivo de controlar as suas condições de segurança, comprovar a validade das hipóteses e dos métodos de cálculo utilizados no projeto e verificar a necessidade da utilização de medidas preventivas e corretivas”, enquanto que a “instrumentação se refere ao conjunto de dispositivos instalados nas estruturas e em suas fundações objetivando monitorar seu desempenho por meio de medições de parâmetros, cujos resultados, devidamente analisados e interpretados, servirão para avaliar suas condições de segurança, em complementação às observações e constatações emanadas das inspeções visuais” (ELETROBRÁS, 2003) [5].

Pode-se inferir que o controle básico da segurança de uma barragem exige normalmente dois procedimentos: (I) Auscultação qualitativa (subjetiva) - efetivada por inspeções visuais periódicas e pormenorizadas de todas as superfícies expostas e acessíveis da barragem, da fundação, das galerias, das obras anexas e do reservatório, (II) Auscultação quantitativa (objetiva) - efetivada por monitoramento sistemático da barragem e da sua fundação, por meio de instrumentos instalados em pontos estratégicos, os quais fornecem parâmetros que subsidiam a avaliação de sua segurança. Além dos dois procedimentos padrão supracitados, que contemplam mais o comportamento das estruturas

civis, devem ser adicionados às rotinas de controle de segurança, os testes em equipamentos eletromecânicos associados à barragem, com especial atenção aos equipamentos relacionados ao controle dos órgãos extravasores. O Bulletin 158 (ICOLD, 2014) [13] também sugere a divisão das atividades de monitoramento nestes três elementos: Inspeções Visuais, Instrumentação e Testes em Equipamentos Eletromecânicos.

As inspeções de segurança regulares e especiais têm como propósito avaliar qualitativamente as condições físicas e funcionais de todas as estruturas que compõem o barramento, contemplando todas as superfícies expostas e acessíveis da barragem, da fundação, das galerias, das obras anexas e do reservatório, assim como os equipamentos associados e a instrumentação instalada, visando a identificar e monitorar anomalias que afetem potencialmente sua segurança. Elas possibilitam apontar, com a devida antecedência ou urgência, a necessidade de intervenções, visando o restabelecimento da situação de normalidade, ou em casos mais críticos, objetivando reabilitar as barragens que estejam em perigo ou risco de rompimento, possibilitando, a tempo, reduzir os elevados prejuízos à vida humana e mitigar danos sociais, econômicos e ambientais (ANA, 2016) [1]. O arcabouço legal define anomalia como “qualquer deficiência, irregularidade, anormalidade ou deformação que possa ou não vir a afetar a segurança da barragem” (RN-1.064/ANEEL, 2023).

As anomalias que podem afetar potencialmente a segurança da barragem são aquelas cuja progressão, se não controlada, está associada ao possível desencadeamento de um modo de falha. Segundo a FEMA (2004) [6], um modo de falha potencial é definido como “um processo de falha fisicamente plausível, resultante de uma inadequação ou defeito relacionado a uma condição natural de fundação, ao projeto da barragem e estruturas associadas, à construção e materiais incorporados, à operação, à manutenção ou ao processo de envelhecimento, que possa levar a uma liberação descontrolada do volume do reservatório”.

A compreensão dos mecanismos desencadeadores dos modos de falhas potenciais de uma barragem, permite que o foco seja direcionado para evidências visuais e para dados da instrumentação que apontam o início ou o desenvolvimento, estágio de progressão, de um processo de falha. Este entendimento propicia a realização de inspeções visuais mais efetivas e o estabelecimento de um plano de instrumentação mais objetivo, contemplando a instalação de instrumentos que forneçam parâmetros realmente necessários ao acompanhamento do desempenho das estruturas, com base no monitoramento dos mecanismos de falha potenciais.

O ciclo de atividades relacionadas às inspeções envolve o planejamento da inspeção; execução da inspeção no campo; avaliação dos resultados e elaboração do Relatório; e atendimento das recomendações do Relatório. O planejamento das inspeções visuais deve contemplar a periodicidade de execução, os documentos a serem consultados antes de sua realização, os recursos humanos, materiais e logísticos necessários para sua efetivação, os modelos de fichas de inspeção (lista de verificação) a serem adotados, o roteiro a seguir durante uma inspeção de segurança, com a definição de itinerário e de acessos, a qualificação técnica do(s) inspetor(es) e do responsável pela elaboração do relatório, assim como o conteúdo mínimo do relatório.

Dentro do contexto apresentado, este estudo visa enfatizar o monitoramento de barragens com foco nas inspeções visuais que possui como finalidade analisar seu estado de conservação detectando deteriorações em potencial e alertar sobre as condições que podem conduzir as estruturas da barragem, progressivamente, ao comprometimento de sua segurança. Considerando que as inspeções visuais possuem caráter qualitativo, o objetivo central deste trabalho é propor uma metodologia alternativa para aplicação da Matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência) na segurança de barragens visando fornecer subsídios que possam contribuir para a redução da subjetividade inerente a este processo.

Para tanto, é importante ressaltar que as bases da segurança de uma barragem são constituídas nas fases de projeto e construção, e consolidadas na fase de operação por meio dos planos de manutenção, entretanto, é sabido que algumas incertezas são inerentes a esses empreendimentos, sendo assim, sempre existirá um risco remanescente a ser controlado por meio de um processo de acompanhamento

e avaliação permanentes do desempenho das estruturas, comumente denominado Auscultação ou Monitoramento de Barragens, por este motivo as atividades de auscultação assumem papel preponderante para a preservação e manutenção das condições de segurança das barragens. Como apontado pelo (CBGB, 1996) [4], o fato de uma barragem estar instrumentada, mesmo com dados devidamente analisados e interpretados, não elimina a imprescindível necessidade de realização de inspeções visuais periódicas e pormenorizadas, porque somente elas podem detectar certas anomalias que são impossíveis de serem detectadas por meio da instrumentação.

2. DETECÇÃO, AVALIAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE ANOMALIAS EM BARRAGENS

A preservação da segurança das barragens é garantida pelo constante monitoramento visando a detecção antecipada de anomalias, que devidamente avaliadas e caracterizadas por métodos efetivos, permitirá a hierarquização e priorização de implementação das medidas preventivas e corretivas que se fizerem necessárias para a manutenção das condições dentro dos padrões aceitáveis de normalidade.

A detecção de possíveis problemas, é realizada pelas ações de monitoramento, que abrange tanto a instrumentação, que é responsável por monitorar as causas e os efeitos, com indicadores quantitativos, quanto as inspeções visuais, que são responsáveis por monitorar os efeitos perceptíveis e as consequências (deteriorações), evidenciadas por meio de indicadores qualitativos. O foco deste trabalho é a detecção, avaliação e caracterização das anomalias passíveis de identificação pelas inspeções visuais.

A vistoria local de uma barragem e de seus associados é uma parte essencial da avaliação da segurança da estrutura. Os participantes das vistorias locais devem ser capazes de identificar perigos em potencial devido a condições que tenham ocorrido progressivamente ao longo de anos e que os operadores locais possam não ter reconhecido, ou que vistorias anteriores não tenham detectado. A vistoria e a avaliação do local devem ser guiadas e determinadas por contínua atenção, buscando o reconhecimento e a compreensão das causas primárias de falhas de barragens. A detecção de modificações, de indicações de mudanças iminentes e do desenvolvimento de fragilidades estruturais e hidráulicas são objetivos fundamentais das inspeções (BRASIL. MIN, 2002) [2].

As inspeções se tornam mais objetivas, assertivas e efetivas, quando realizadas com o auxílio de uma ficha de inspeção, que deve contemplar os itens relevantes a serem observados em cada tipo específico de barragem. Estas listas de verificação (checklist) devem ser customizadas por estrutura e individualizadas por zonas (setores) constituintes da barragem, tais como talude de montante, crista, talude de jusante etc. Deve também incluir os equipamentos associados e os instrumentos de auscultação instalados, considerando seus aspectos de integridade e funcionalidade.

Um checklist, quando utilizado de forma consistente e eficaz, desempenha um papel fundamental na redução de erros humanos (subjetividade inerente ao processo), na padronização do processo e no suporte à tomada de decisões. Ele fornece um conjunto estruturado de etapas e itens a serem verificados, garantindo que nenhum detalhe crítico seja negligenciado.

No Brasil, as listas de verificação para subsidiar a execução das inspeções de segurança em barragens, foram sistematizadas e apresentadas inicialmente pelo Manual de Segurança e Inspeção de Barragens do Ministério da Integração Nacional (2002) [2], sendo adaptadas e complementadas pelo Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – Volume II – Guia de Orientação e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragem (2016) [1].

3. METODOLOGIAS APLICÁVEIS À GESTÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

Tradicionalmente, a abordagem geral para a avaliação da segurança de barragens é baseada no atendimento a padrões ou normas (SBA – Standard Based Analysis). Ao longo dos anos, foram desenvolvidos padrões, a partir de considerações teóricas, boas práticas reconhecidas e, até mesmo,

evidências empíricas, com o objetivo de definir carregamentos, capacidade estrutural, coeficientes de segurança e medidas defensivas a serem empregadas no projeto (FERC, 2016) [7].

Essa abordagem é um componente imprescindível da gestão da segurança de barragens, no entanto, a SBA não é adequada para avaliar algumas questões importantes, tais como erosão interna, confiabilidade de extravasores, fatores humanos, questões operacionais e outros. Ultimamente, vem sendo adotada também a aplicação da abordagem de tomada de decisão baseada no risco (RIDM – Risk Informed Decision Making), o que tem contribuído efetivamente para a melhoria dos processos de segurança de barragens (FERC, 2016) [7].

As duas abordagens usadas de forma complementar permitem decisões mais consistentes sobre a segurança de uma estrutura e tem como principal benefício identificar e compreender melhor os potenciais modos de falha de uma barragem.

A base para uma análise de risco deve ser o estudo da estrutura e a descrição dos possíveis modos de falha. O primeiro passo é sempre a avaliação do projeto, da construção, da manutenção e a análise dos dados de desempenho na fase de operação. Deve-se reconhecer que cada barragem é única em termos de finalidade, aspectos geológico-geotécnicos, arranjo e projeto das estruturas, operação, inserção regional, entre outros. As variabilidades e incertezas associadas a esses pontos devem ser sempre consideradas.

Todos os métodos de análise de risco têm em comum a análise de eventos indesejáveis e das suas respectivas causas, efeitos e consequências. A escolha da metodologia a ser aplicada depende basicamente da temporalidade (fase de projeto, construção ou operação) e do objetivo do estudo.

Os diversos métodos de análise de riscos disponíveis variam quanto ao grau de detalhamento das análises e tratamento das incertezas e, conseqüentemente, demandam esforços e custos também variáveis para o seu desenvolvimento. Por isso, se faz necessário conhecer os métodos existentes, para que possa ser selecionado o mais adequado para determinada barragem, considerando suas singularidades estruturais e geológicas e as características do vale a jusante.

O gerenciamento de riscos associados a barragens segue as mesmas etapas empregadas para os riscos de outras indústrias, ou seja: identificação de riscos, análise do risco (quantificação da probabilidade e consequências), avaliação do risco (aceitação e tolerabilidade), resposta ao risco e comunicação.

3.1. Apresentação da Matriz GUT

A Matriz GUT foi criada por Charles H. Kepner e Benjamin B. Tregoe, na década de 80, e tinha como propósito ajudar na resolução de problemas complexos das indústrias americanas e japonesas (Google). Em sua essência, a Matriz GUT é uma ferramenta da qualidade utilizada para a priorização de tomadas de decisões. Por esse motivo, também é conhecida como Matriz de Prioridades.

O termo GUT, na verdade é um acrônimo que faz referência a: **G** = Gravidade; **U** = Urgência e **T** = Tendência. A Matriz GUT utiliza esses três elementos para classificar o problema avaliado e, com isso, estabelecer sua prioridade. Essa ferramenta gerencial é utilizada para priorizar a tomada de decisão, levando em consideração a gravidade, a urgência e a tendência do evento relacionado. A partir dessas variáveis, o gestor pode agir com base em um escalonamento, identificando quais complicações devem ser resolvidas primeiro. O grande diferencial do Método GUT, em relação aos outros do gênero, é a simplicidade de utilização e a possibilidade de atribuir valores para cada caso concreto de maneira objetiva (MEIRELES, 2001) [16].

Para PERIARD (2011) [18], a grande vantagem em se utilizar a Matriz GUT é que ela auxilia o gestor a avaliar de forma quantitativa os problemas da empresa, tornando possível priorizar as ações corretivas e preventivas para o extermínio total ou parcial do problema. A Matriz GUT é uma ferramenta muito utilizada pelas empresas para priorizar os problemas que devem ser atacados pela gestão, bem como para analisar a prioridade que certas atividades devem ser realizadas e/ou desenvolvidas, em situações como: solução de problemas, estratégia, tomada de decisões etc.

Segundo PERIARD (2011) [18], a ferramenta pode ser aplicada tanto a uma barragem individualmente ou para um grupo de barragens. Os melhores resultados com aplicação da ferramenta dependem da correta atribuição de valores dentro dos critérios definidos e, fundamentalmente, do conhecimento técnico acerca do problema em análise. Os três aspectos a serem analisados são:

- a) **Gravidade (G):** Representa o impacto do problema analisado caso ele venha a acontecer. É analisado sobre alguns aspectos, como: tarefas, pessoas, resultados, processos, organizações etc. Analisando sempre seus efeitos a médio e longo prazo, caso o problema em questão não seja resolvido;
- b) **Urgência (U):** Representa o prazo, o tempo disponível ou necessário para resolver um determinado problema analisado. Quanto maior a urgência, menor será o tempo disponível para resolver esse problema. É recomendado que seja feita a seguinte pergunta: “A resolução deste problema pode esperar ou deve ser realizada imediatamente?”;
- c) **Tendência (T):** Representa o potencial de crescimento do problema, a probabilidade do problema se tornar maior com o passar do tempo. É a avaliação da tendência de crescimento, redução ou desaparecimento do problema. Recomenda-se fazer a seguinte pergunta: “Se não resolver esse problema agora, ele vai piorar pouco a pouco ou vai piorar bruscamente?”.

De fato, a matriz GUT é uma ferramenta de simples utilização quando comparada a outros métodos de priorização existentes. De maneira resumida, para aplicar a matriz GUT basta construir uma tabela listando os itens (problemas, riscos, não conformidades etc.) que deseja considerar e avaliar quanto aos aspectos de Gravidade, Urgência e Tendência. Depois, basta atribuir notas de 1 a 5, de acordo com os parâmetros estabelecidos, para cada um desses aspectos. Por fim, basta multiplicar as notas de cada aspecto ($G \times U \times T$) para obtenção da pontuação de cada item avaliado (score), e na sequência, ordenar os itens de forma crescente. Como resultado, uma lista priorizada desses itens será gerada.

SCARTEZINI (2009) [19] defende que a correta atribuição dos valores dentro dos critérios apresentados irá depender fundamentalmente do conhecimento técnico do gestor acerca de cada problema. O autor sugere aplicar o método por meio de um grupo de especialistas e julgar cada caso pelo consenso lógico. A última fase é estabelecer um ranking dos problemas para saber quais são as prioridades e definir quais serão resolvidos primeiro

Portanto, é importante que os parâmetros atribuídos para os aspectos de Gravidade, Urgência e Tendência estejam muito claros e bem definidos. Pois estes serão determinantes na hora de decidir qual nota atribuir a cada um dos aspectos, para a efetiva caracterização do problema em análise. Esses parâmetros traduzem o significado de cada nota. Existem alguns parâmetros pré-definidos, porém, é possível refinar ou até mesmo redefinir novos critérios para cada parâmetro de acordo com a realidade analisada.

A aplicação da Matriz GUT no processo de Segurança de Barragens já era utilizada por alguns especialistas com amplo domínio de conhecimento dos aspectos relacionados às suas especialidades, no entanto, esta ferramenta tende a ser utilizada com mais frequência na medida que algumas resoluções normativas, emanadas de órgãos fiscalizadores, passam a fazer referência explícita a estes três aspectos. Como exemplo, a Resolução Normativa nº 1.064/2023 da ANEEL, cujo Artigo 8º, que trata das inspeções de segurança, em seu parágrafo segundo, estabelece que: “As recomendações e as exigências a que se referem o §1º deverão ser atendidas nos prazos indicados nos relatórios da inspeção, de acordo com sua gravidade, urgência e tendência”. Este texto, conforme apresentado, induz a utilização da Matriz GUT como ferramenta para a hierarquização das recomendações.

Outro fato relevante a ser considerado em relação a hierarquização das recomendações, é que a Resolução Normativa nº 1.064/2023 da ANEEL, em seu Artigo 16, inciso XII, estabelece como item obrigatório da Revisão Periódica de Segurança a “indicação de recomendações e medidas de monitoramento e reparação necessárias à garantia da segurança da barragem e manutenção do nível de segurança na condição normal, que deverão ser classificadas quanto à sua importância, em baixa, média ou alta, com definição dos prazos para atendimento”.

Considerando que as recomendações e as exigências de origem técnica, estabelecidas nas inspeções de segurança, são em sua quase totalidade relacionadas à implementação de medidas preventivas e/ou corretivas, demandadas pelo processo de detecção, avaliação e caracterização de anomalias, a matriz GUT pode ser utilizada, com as devidas adequações, para a hierarquização direta das anomalias.

A hierarquização das anomalias tem como principal vantagem, a possibilidade de se estabelecer uma correlação direta entre os parâmetros descritores atribuídos aos aspectos da matriz GUT e os itens de avaliação e caracterização de anomalias já consagrados no meio técnico, como “boas práticas”, que normalmente são contemplados nas fichas de inspeção, tais como situação, magnitude e nível de perigo. Evidentemente, com as adequações e interpretações necessárias, conforme proposto como sugestão no item 4.

3.1.1. Metodologia da Matriz GUT

A aplicação direta da matriz GUT, com parâmetros descritores pré-estabelecidos, adequados e ajustados a outras realidades e necessidades, se realizada por usuários que não possuam amplo conhecimento do assunto, pode não refletir com fidedignidade a realidade dos processos relacionados à segurança de barragens, portanto, requer cautela na sua utilização. Pode inclusive aumentar o grau de subjetividade inerente a este processo e, conseqüentemente, a variabilidade dos resultados obtidos.

Para a efetiva aplicação da matriz GUT no processo de segurança de barragens, considerando o propósito primordial de minimizar a subjetividade inerente ao processo de auscultação, é recomendável que os parâmetros descritores, utilizados para caracterizar cada aspecto, devam ser correlacionados com as situações e constatações emanadas das inspeções. Realizando a análise numérica da matriz GUT original, pode ser constatado que do universo de cento e vinte e cinco produtos realizados, somente trinta valores de produtos diferentes são possíveis, portanto, alguns valores de produtos possíveis se repetem, e assim são agrupados.

Tabela 1: Análise Numérica da Matriz GUT para subsidiar a classificação de Priorização

V P	1	2	3	4	5	6	8	9	10	12	15	16	18	20	24	25	27	30	32	36	40	45	48	50	60	64	75	80	100	125
N R	1	3	3	7	3	6	6	3	6	9	6	6	3	9	6	3	1	6	3	3	6	3	3	3	6	1	3	3	3	1
N A	1	4	7	14	17	23	29	32	38	47	53	59	62	71	77	80	81	87	90	93	99	102	110	118	125	132	140	148	155	162
P R	BAIXA											MÉDIA											ALTA							
P P	53											49											23							

Fonte: O Autor

Na Tabela 1, resumo da análise, a primeira coluna apresenta os valores possíveis de produtos (VP), a segunda o número de repetições (NR) por produtos possíveis, a terceira os números acumulados (NA) até o respectivo produto, a quarta a prioridade (PR) das recomendações, definida por faixa conforme proposta do arcabouço legal, e a quinta e última coluna, o número de produtos por prioridade (PP).

Os limites das faixas de prioridade foram estabelecidos segundo critérios de análise e a sensibilidade do autor, no entanto, são passíveis de ajuste, os quais dependerão do nível de rigor e da aptidão ao risco, assumidos pelo usuário.

4. PROPOSTA METODOLÓGICA ALTERNATIVA PARA MATRIZ GUT, APLICADA A SEGURANÇA DE BARRAGENS - GUT QUATRO PARÂMETROS

O propósito deste método alternativo é compatibilizar os princípios da metodologia GUT com as boas práticas já consolidadas no processo de auscultação de barragens, por meio do estabelecimento de uma correlação, tão mais direta quanto possível, entre os aspectos da matriz GUT, e seus respectivos

parâmetros descritores, e os aspectos observados e avaliados durante as inspeções (Situação, Magnitude e Nível de Perigo), considerando também os seus respectivos parâmetros caracterizadores. Estes parâmetros podem ser utilizados tanto de forma direta, preferencialmente, quanto de forma indireta, fornecendo subsídio para a construção de parâmetros intermediários, ou seja, quanto mais efetiva for a correspondência entre os parâmetros, menor será o grau de subjetividade e menor será a variabilidade dos resultados.

Considerando que nas atividades práticas de segurança de barragens, todos os principais aspectos avaliados possuem quatro parâmetros descritores [Nível de Segurança Barragem - NSB, Nível de Perigo da Barragem - NPB, Nível de Perigo da Anomalia - NPA e Nível de Resposta adotado no Plano de Ação de Emergência – PAE, utilizam os parâmetros descritores (Normal, Atenção, Alerta e Emergência); Magnitude utiliza os parâmetro descritores (Insignificante, Pequena, Média e Grande) e Nível de Perigo utiliza os parâmetros descritores (Nenhum, Atenção, Alerta e Emergência)], e que se pretende estabelecer uma correlação com equivalência efetiva, como principal adequação, é proposta a utilização de uma matriz com quatro parâmetros por aspecto.

Outro fato importante a ser considerado na aplicação da metodologia proposta, é que o aspecto Urgência deve ser avaliado e caracterizado em função da análise prévia do comportamento conjugado dos parâmetros definidos para os aspectos de Gravidade e Tendência, ou seja, na prática, os aspectos primários e determinantes da avaliação são Tendência (primeira avaliação) e Gravidade (segunda avaliação).

Os aspectos observados em campo durante as inspeções, que permitem caracterizar a Situação e a Magnitude, associados ao conhecimento das causas e da dinâmica de evolução de cada anomalia, são utilizados para subsidiar a definição dos parâmetros que caracterizam o estágio de progressão da anomalia, requisito intermediário utilizado para o estabelecimento da correlação com os respectivos parâmetros do aspecto Tendência.

A avaliação do Nível de Perigo, que deve considerar o risco potencial associado a anomalia, caso haja evolução até o desencadeamento de um modo de falha, é realizada com base na análise de seus efeitos e consequências, ou seja, está relacionada com a caracterização do impacto, portanto, pode ser correlacionada com o aspecto Gravidade.

Realizando a análise numérica da matriz alternativa proposta - GUT Quatro Parâmetros, pode ser constatado que do universo de sessenta e quatro produtos realizados, somente dezesseis valores de produtos diferentes são possíveis, portanto, alguns valores de produtos possíveis se repetem, e assim são agrupados.

Para o refinamento da análise, com o objetivo de aumentar a sensibilidade numérica e assim subsidiar com mais propriedade a estratificação das prioridades em apenas três grupos (Baixa, Média e Alta), conforme estabelecido no arcabouço legal, além da análise dos produtos, atividade já contemplada pela ferramenta GUT, foram acrescentadas as análises dos resultados possíveis (10), obtidos do somatório dos valores atribuídos a cada aspecto, e das razões possíveis (20), obtidas da relação (produto / somatório). A análise complementar seguiu os mesmos princípios adotados na análise do produto, ou seja, a definição dos valores possíveis, o agrupamento em função das repetições, e a avaliação dos totais acumulados.

Tabela 2: Análise Numérica aplicada à metodologia alternativa proposta – GUT Quatro Parâmetros

Produtos Possíveis	1	2	3	4	6	8	9	12	16	18	24	27	32	36	48	64	16
Número de Produtos	1	3	3	6	6	7	3	9	6	3	6	1	3	3	3	1	64
Produtos Acumulados	1	4	7	13	19	26	29	38	44	47	53	54	57	60	63	64	Total

Somatórios Possíveis	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	10
Número de Resultados	1	3	6	10	12	12	10	6	3	1	64
Somatórios Acumulados	1	4	10	20	32	44	54	60	63	64	Total

Razões Possíveis	0,33	0,5	0,60	0,67	0,8	1	1,14	1,29	1,33	1,5	1,71	1,78	2	2,25	2,67	3	3,2	3,6	4,36	5,33	20
Número de Razões	1	3	3	3	3	6	6	3	1	6	3	3	3	3	6	1	3	3	3	1	64
Razões Acumuladas	1	4	7	10	13	19	25	28	29	35	38	41	44	47	53	54	57	60	63	64	Total
Total por Prioridade	19						34									11					64

Este processo, foi adotado com o objetivo de minimizar a subjetividade na definição dos limites entre as faixas de prioridade, estabelecidas em BAIXA, MÉDIA E ALTA, por orientação legal.

Os limites das faixas de prioridade foram estabelecidos segundo critérios de análise e a sensibilidade do autor, no entanto, são passíveis de ajuste, os quais dependerão do nível de rigor e da aptidão ao risco, assumidos pelo usuário.

Ressalta-se que para a aplicação prática desta metodologia alternativa proposta, não é necessária pelo usuário a análise quanto ao somatório e a razão (produto/somatório), que foi utilizada somente para a caracterização e detalhamento da ferramenta. O procedimento a ser efetuado é o mesmo da aplicação normal da Matriz GUT, sendo neste caso um pouco mais simplificado pelo fato de só existirem quatro parâmetros a serem avaliados por aspecto.

A sequência lógica para a efetiva aplicação da matriz alternativa proposta é:

- I. Com os dados observados em campo durante as inspeções, relacionados aos parâmetros constantes das listas de verificação (checklist), que caracterizam os aspectos de Situação e Magnitude, e com base no conhecimento das causas e da dinâmica de evolução das anomalias, é estabelecido o estágio de progressão da anomalia, aspecto intermediário necessário para o estabelecimento da correlação com o aspecto Tendência, da matriz GUT;

Fatores Intervenientes para definição do Estágio de Progressão: Situação (Primeira Vez - PV, Permaneceu Constante - PC, Diminuiu - DI, Aumentou - AU), Magnitude (I, P, M, G), Causas, Dinâmica de evolução da Anomalia e Suscetibilidade da Estrutura.

- II. A avaliação do Nível de Perigo, realizada também durante a inspeção, utiliza as informações observadas em campo, o conhecimento do estágio de progressão e a potencialidade de contribuição da anomalia para o desenvolvimento de um modo de falha, considerando seus efeitos e consequências. Esta avaliação caracteriza o risco potencial da anomalia, caso evolua, para o comprometimento da segurança da barragem, ou seja, está relacionada ao impacto e pode, portanto, ser correlacionada com o aspecto Gravidade, da matriz GUT;

Fatores Intervenientes para definição do Nível de Perigo da Anomalia: Potencial de Risco, consequente da evolução e associado à possibilidade de desencadeamento de um Modo de Falha, Susceptibilidade da estrutura, Estágio de Progressão da Anomalia, Efeitos e Consequências.

- III. O Aspecto Urgência, no caso de aplicação da matriz alternativa proposta para avaliação e caracterização das anomalias, é estabelecido com base na análise prévia do efeito conjugado dos parâmetros já definidos para a caracterização dos aspectos de Tendência e Gravidade, pois deve manter estrita consonância e até mesmo convergência com eles. Para auxiliar este entendimento, é apresentada a Tabela 3, matriz de correlação, que pode ser usada para uma definição coerente do parâmetro caracterizador do aspecto Urgência:

Tabela 3: Matriz de Correlação para o estabelecimento dos parâmetros do aspecto Urgência

Urgência (U) Celeridade para Tratamento da Anomalia			Tendência (T)			
			Estágio de Progressão da Anomalia			
			1	2	3	4
Gravidade (G)	Nível de Perigo da Anomalia	1	1	2	3	4
		2	2	4	6	8
		3	3	6	9	12
		4	4	8	12	16

Tabela 4: Parâmetros relacionados ao aspecto Urgência

ASPECTO	URGÊNCIA – Matriz Alternativa Proposta – GUT Quatro Parâmetros			
Parâmetros	1	2	3	4
Caracterização do Parâmetro	Pode esperar Não há pressa	Pouco Urgente Pode Esperar um Pouco	Urgente Tratar o mais cedo possível	Muito Urgente Precisa ser resolvido de Imediato
MATRIZ DE CORRELAÇÃO $U = f(T, G)$	1 e 2	3 e 4	6, 8 e 9	12 e 16

IV. Os parâmetros sugeridos, a serem atribuídos aos aspectos da matriz GUT, são:

Tabela 5: Parâmetros estabelecidos para a Matriz GUT Quatro Parâmetros

MATRIZ ALTERNATIVA PROPOSTA - GUT QUATRO PARÂMETROS - (PONTUAÇÃO)		
TENDÊNCIA - T	GRAVIDADE - G	URGÊNCIA - U
1 - Não Vai Piorar (Estável) ▪ Não Progride	1 – Sem Gravidade ▪ Danos leves ou mínimos	1 – Pode Esperar ▪ Não há pressa
2 - Vai Piorar a Logo Prazo ▪ Progride Lentamente	2 – Pouco Grave ▪ Danos regulares	2 – Pouco Urgente ▪ Pode esperar um pouco
3 - Vai Piorar a Médio Prazo ▪ Progride um pouco rápido	3 – Grave ▪ Danos Grandes (reversíveis)	3 – Urgente ▪ Tratar o mais cedo possível
4 - Vai Piorar a Curto Prazo ▪ Progride muito rápido	4 – Muito Grave ▪ Danos graves (difícil reversão)	4 – Muito Urgente ▪ Precisa ser resolvido de Imediato

V. A aplicação da matriz alternativa proposta, utilizando a Tabela 6:

Tabela 6: Aplicação da metodologia alternativa proposta – GUT Quatro Parâmetros

EVENTO (ANOMALIA)		GUT – Quatro Parâmetros				PRIORIDADE	
Ident.	Local - Descrição	(Tend.)	(Grav.)	(Urg.)	Produto	Classe	Ordem
An-1							
An-2							
An-3							
An-4							
An-N							

VI. Hierarquização e priorização das anomalias, em estrita observância à ordem de prioridade evidenciada pela aplicação da metodologia proposta, seguindo o critério definido pela análise numérica:

Tabela 7: Hierarquização das Prioridades com base nos Produtos Possíveis

Produtos Possíveis	1	2	3	4	6	8	9	12	16	18	24	27	32	36	48	64
Nº por PP (Incidência)	1	3	3	6	6	7	3	9	6	3	6	1	3	3	3	1
PP - Número Acumulado	1	4	7	13	19	26	29	38	44	47	53	54	57	60	63	64
Prioridade (Classe)	BAIXA					MÉDIA						ALTA				
Nº de PP por Prioridade	19					34						11				

Observação: Dentro de uma mesma Classe de Prioridade, caso haja necessidade, é possível realizar o refinamento da ordem de priorização, utilizando a estratificação da ordem dos produtos obtidos.

- VII. A hierarquização e priorização das recomendações, contemplando as medidas preventivas e corretivas necessárias para o restabelecimento do estado de normalidade, deve manter estrita observância à ordem de prioridade estabelecida para as anomalias que as demandaram. Para o estabelecimento de prioridades dentro da mesma classe, deve ser utilizado como referência a ordem de resultados dos produtos obtidos.

5. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA ALTERNATIVA PROPOSTA:

5.1. Estudo de Caso do Modo de Falha “Piping”, evidenciado pela anomalia “Surgência”

Segundo o NSW Dams Safety Committee (2010) [17], um programa de gestão de segurança deve manter os riscos inerentes de qualquer estrutura em relação aos seus potenciais modos de falha em faixas toleráveis. Para isso, identificou que os riscos devem ser:

- Detectados, identificados e avaliados;
- Reduzidos, quando necessário, para padrões aceitáveis ou mediante fator externo de interesse social;
- Revisados e revisitados durante todo o ciclo de vida da barragem.

O plano de monitoramento, portanto, permite justamente a atuação nas três etapas citadas. Ao serem instalados instrumentos buscando especificamente conhecer parâmetros e comportamentos de projeto e da estrutura ao longo do tempo, é possível que riscos já mapeados possam ser avaliados, bem como detectar e identificar novos riscos à estrutura.

Para os riscos já mapeados, a avaliação da instrumentação, como complementação, permite conhecer como a estrutura está se comportando perante o modo de falha potencial identificado e assim atuar de forma mais direcionada em como reduzir os efeitos daquele perigo à estrutura.

Para um plano de monitoramento ser efetivo ele tem que estar ligado a uma análise de risco que permita que ele seja avaliado em relação aos problemas, falhas e situações em que o monitoramento da instrumentação possa auxiliar. Com o objetivo de garantir a necessária integração entre o plano de monitoramento e as ferramentas e métodos de gestão do risco, FERC (2020) [8] estabeleceu um fluxograma de progressão do perigo/anomalia e o correlacionou com a necessidade de intensificação do monitoramento. Segundo FERC (2020) [8], essa integração pode ser alcançada em uma divisão e progressão de etapas comuns aos dois planos:

- **Condição:** primeira etapa de identificação do problema a ser medido. Nesta etapa o problema deve ser apontado, avaliado a condição em que se encontra e qual a potencial falha que está relacionado. Neste momento, a instrumentação já deve ser avaliada com maior detalhamento para buscar entender quais os motivos que levaram a condição apresentada.
- **Iniciação:** nessa etapa a condição verificada anteriormente já evoluiu, seja pela natureza do problema ou pela falta de avaliação necessária na primeira etapa. Neste momento, a instrumentação serve como apoio para monitorar o grau de evolução do problema e permitir identificar mais especificamente o local em que está ocorrendo.
- **Continuação:** terceira etapa de progressão, a condição já evoluiu para um dano à estrutura. Neste momento, a instrumentação pode ser utilizada também para medir as consequências na estrutura e o grau de dano na mesma.
- **Progressão:** após uma condição ter iniciado um problema e o mesmo se intensificado, a progressão é o último estágio antes de a falha gerar um colapso na estrutura, ou seja, o

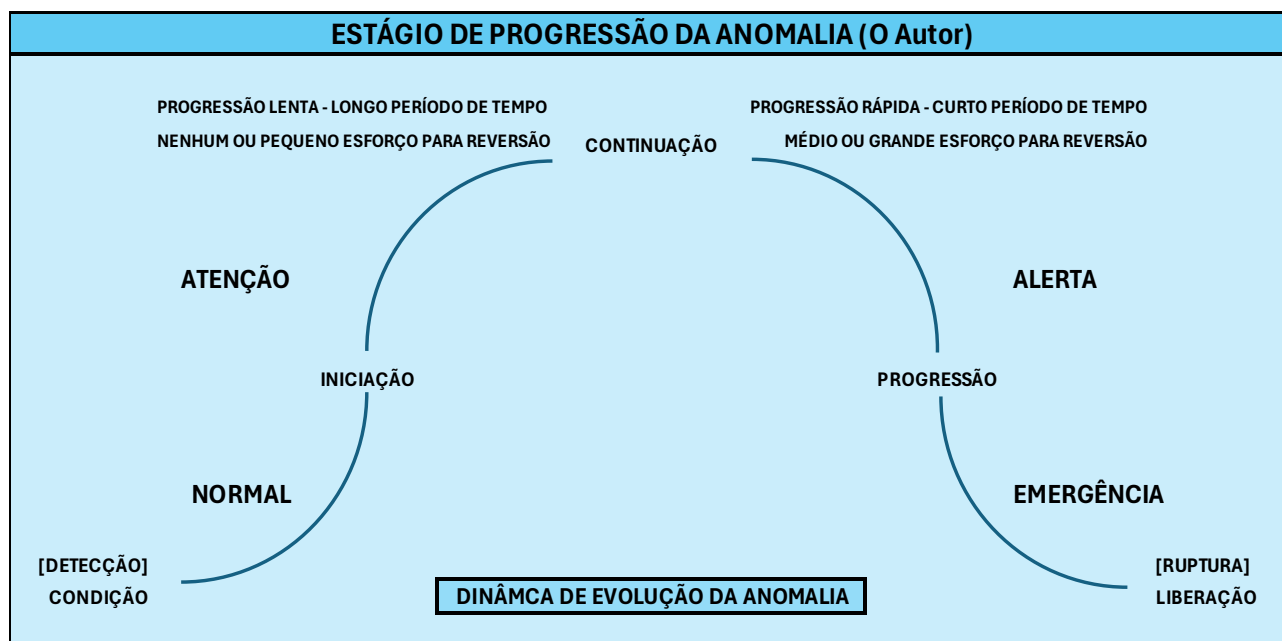
problema identificado já atua de uma forma muito mais danosa e generalizada. Neste momento, a instrumentação além de indicar quais os danos em outras partes da estrutura, permite avaliar também qual o próximo modo de falha que pode ter se iniciado devido a progressão do anterior.

- Descontrole do Reservatório: traduzido de reservoir released (tradução literal: liberação do reservatório) é a etapa de ruptura e/ou perda de controle da estrutura (ou seja, não há mais intervenções passíveis de serem realizadas e a estrutura está em colapso). Neste momento, os sistemas de alerta a jusante devem ser acionados.

Em relação às etapas apresentadas, é incluído na análise de FERC (2020) [8] que o desenvolvimento de uma anomalia desde sua etapa de condição até a etapa de continuação geralmente ocorre durante um longo período de tempo, no entanto, o desenvolvimento desde a etapa de continuação/progressão até o descontrole ocorre usualmente em um curto intervalo de tempo.

Como forma de exemplificar o uso dessas etapas, FERC (2020) [8] mostra a evolução de um evento de piping (erosão regressiva): (1ª fase: condição) - falha no sistema de drenagem interno com saída de água infiltrada sem passagem por filtro; (2ª fase: iniciação) - infiltração localizada através da saída não drenada e sem filtro; (3ª fase: continuação) - uma erosão interna começa a se desenvolver na saída não filtrada; (4ª fase: progressão) - evolução do piping, com o pipe (entubamento) começando na saída d'água e corroendo de volta ao núcleo; (5ª fase: descontrole do reservatório) - erosão provoca dano irreparável, ruptura em progresso.

Figura 1 – Caracterização do Estágio de Progressão da Anomalia - (Dinâmica de Evolução)



O modo de falha piping é fruto de um processo erosivo de carregamento de material em uma barragem. É um desdobramento de uma erosão interna regressiva, que inicia em jusante e caminha para montante, dentro do maciço da barragem, por sua fundação, ou em ambos, é caracterizado pela formação de tubos (pipes) à medida que o material constituinte vai sendo carregado pela água, podendo gerar uma brecha e a consequente ruptura da barragem. Em barragens de terra o piping é uma das principais fontes de risco a segurança dos barramentos. A detecção, monitoramento e correta apreciação da anomalia surgência, que a evidência, são imprescindíveis, tendo em vista a velocidade e impacto que um acidente gerado por piping é capaz de efetuar.

O desenvolvimento da anomalia que gera o piping em uma barragem de terra está diretamente relacionado à mobilidade das partículas de solo. Alguns aspectos são determinantes em relação a

mobilidade. O requisito necessário para uma partícula se tornar móvel é que a força de arraste deve ser maior que as forças que seguram a partícula dentro do solo, de modo que o grão possa se desprender de seu material de origem (KOVÁCS, 1981; HUNTER, 2012) [15]; [9].

A natureza do solo na barragem determina sua vulnerabilidade à erosão (SHERARD et al., 1963; KOVÁCS, 1981; ICOLD, 2013) [19]; [15]; [12]. O deslocamento das partículas menores e mais finas, que apresentam menor resistência ao movimento, cria zonas de maior porosidade e permeabilidade dentro da massa de solo, causando o aumento do fluxo de água, da força de arraste atuando sobre o solo constituinte do maciço e, conseqüentemente, ampliando a erosão. Pode-se concluir que os solos finos e não coesivos apresentam maior susceptibilidade ao carreamento e, portanto, maior susceptibilidade ao desenvolvimento de piping.

A título de exemplo, é apresentada a Tabela 8, que evidencia a variabilidade do grau de susceptibilidade ao piping, dos diferentes tipos de solo:

Tabela 8: Grau de Susceptibilidade dos Tipos de Solo ao Piping

Tipo de Solo	SC	CL	SM	ML	SC/SM	SC/ML	CL/SM	CL/ML
Pontuação	1	4	8	10	4,5	5,5	6	7

A água, como um material incompressível, infiltrada a partir da região a montante, umedece o maciço e começa a buscar caminhos que a conduza a zonas de menor pressão, os chamados caminhos de percolação. No percurso, em função do gradiente hidráulico, quando o fluxo apresenta grande velocidade e força de arraste, o solo da barragem é saturado e os finos carregados pelo fluxo. Na saída a jusante, quando a força de percolação é superior à força resistente do material, se inicia a erosão. Essa erosão se desenvolve regressivamente, dirigindo-se de jusante para montante.

O processo de erosão interna (piping), é influenciado pelos seguintes fatores:

- tipo de solo (areia fina e silte de origem eólica, são altamente suscetíveis à erosão, os solos mais coesivos possuem menor susceptibilidade ao piping);
- gradiente hidráulico: quanto maior o gradiente, maior a possibilidade de erosão interna;
- tensão confinante: quanto maior o valor da tensão confinante, menor a possibilidade da ocorrência da erosão;

Outros fatores que podem influenciar o desenvolvimento de piping, é a idade da barragem, que pode ser ponderada pelo seguinte critério: (Primeiro Enchimento – peso = 4, Nova – peso = 3, Consolidada – peso = 1 e envelhecida – peso = 2), e o seu nível de deterioração, avaliado pelo estado conservação, considerando os vários aspectos intervenientes.

O aspecto intermediário Estágio de Progressão da Anomalia, fundamental para o estabelecimento da correlação com o equivalente aspecto Tendência, e que serve de subsídio, em conjunto com outros aspectos, para a caracterização do aspecto Gravidade, é determinado em função da dinâmica de evolução da anomalia, que evidencia a sequência lógica de progressão, desde a detecção até a possível deflagração do modo de falha potencial, ao qual a anomalia está associada (Figura 1).

As anomalias são manifestações visíveis identificadas nas inspeções, caracterizadas como consequências de efeitos que ultrapassaram seus valores limites e, portanto, não foram suportados pela capacidade de resposta das estruturas, sendo identificadas como deteriorações. As anomalias consideradas graves são aquelas associadas aos modos de falha mais frequentes e cuja dinâmica de evolução pode progredir rapidamente.

A anomalia surgência, caracterizada como consequência da percolação não controlada pelo sistema de drenagem interno da barragem, se não monitorada, contida ou coibida adequadamente, pode evoluir e dar origem ao modo de falha piping.

A dinâmica de evolução da anomalia surgência, desde a sua detecção até a possível deflagração do modo de falha potencial associado (MFPA) piping, que determina o seu Estágio de Progressão, é apresentada na Tabela 9, assim como sua correlação com o aspecto Tendência:

Tabela 9: Estágios de Progressão da Anomalia Surgência – Correlação com o aspecto Tendência

EVOLUÇÃO	Estágio de Progressão da Anomalia Surgência - (MFPA: Piping)			
Etapas	Detecção	Iniciação	Continuação	Progressão
Parâmetros	1	2	3	4
Situação Característica (Dinâmica de Evolução)	Falha no Sistema de Drenagem Interno - SDI; Áreas úmidas em locais alheios ao SDI; Presença de vegetação viçosa em pontos localizados; Pressões elevadas registradas nos piezômetros, indicando a possibilidade de a linha freática ultrapassar a superfície adjacente (Talude de jusante, ombreira ou área a jusante).	Saída de água em pontos localizados, com vazões pequenas e estáveis; Água efluente límpida, sem presença de material em suspensão, nem de sedimentos acumulados no fundo das canaletas.	Saída de água em pontos localizados, com vazões oscilando com a correspondente variação do nível do reservatório; Água efluente apresentando turbidez (moderada-elevada), ou com a presença de materiais finos em suspensão, Presença de sedimentos finos acumulados no fundo das canaletas.	Saída de água em pontos localizados, ou em áreas maiores, com vazões aumentando progressivamente ao longo do tempo; Água efluente apresentando considerável quantidade de material em suspensão, com granulometria variável, o que caracteriza o início da erosão regressiva – podendo evoluir para a formação de piping
Nível de Esforço para Reversão (NRE)	Incipiente (Monitorar): NRE = 1! = 1	Fácil Reversão (Pouco Esforço): NRE = 2! = 2	Média Reversão (Esforço Moderado): NER = 3! = 6	Difícil Reversão (Grande Esforço): NER = 4! = 24
Magnitude	I - Insignificante	P - Pequena	M - Média	G - Grande
CORRELAÇÃO	Aspecto TENDÊNCIA – Matriz Alternativa Proposta – GUT Quatro Parâmetros			
Parâmetros	1	2	3	4
Caracterização do Parâmetro	Não Vai Piorar (Estável) Não Progride	Vai Piorar a Longo Prazo Progride Lentamente	Vai Piorar a Médio Prazo Progride um pouco rápido	Vai Piorar a Curto Prazo Progride muito rápido

O passo seguinte, na aplicação da metodologia alternativa proposta, é a avaliação do Nível de Perigo da Anomalia, gradação dada a cada anomalia em função do seu efeito individual no comprometimento à segurança da barragem, que deve ser realizada considerando alguns aspectos relevantes que influenciam direta ou indiretamente os parâmetros relacionados a este aspecto:

- Modo de Falha Potencial Associado (MFPA) à anomalia avaliada;
- Potencial de Risco Introduzido, tanto à barragem quanto à sua área afetada, em caso de evolução da anomalia até o desencadeamento do MFPA, avaliando os efeitos, consequências e impactos possíveis;
- Susceptibilidade da estrutura em análise, que pode favorecer a evolução da anomalia;
- Estágio de Progressão da Anomalia, que evidencia o grau de comprometimento no qual a estrutura já se encontra.

Tabela 10: Avaliação do Nível de Perigo – Correlação com o aspecto Gravidade

ASPECTO	Nível de Perigo da Anomalia - (MFPA: Piping)			
NPA	Nenhum	Atenção	Alerta	Emergência
Parâmetros	0	1	2	3

Situação Característica	Anomalia que não compromete a segurança da barragem, mas pode ser entendida como descaso e má conservação;	Anomalia que não compromete a segurança da barragem em curto prazo, mas deve ser controlada, monitorada e/ou reparada ao longo do tempo;	Anomalia com risco para a segurança da barragem, devendo ser tomadas providências para a eliminação do problema;	Anomalia com risco de ruptura em curto prazo, exigindo ativação do Plano de Ação de Emergência (PAE).
CORRELAÇÃO				
Parâmetros	Aspecto GRAVIDADE – Matriz Alternativa Proposta – GUT Quatro Parâmetros			
	1	2	3	4
Caracterização do Parâmetro	Sem Gravidade Danos leves (mínimos) (Monitorar)	Pouco Grave Danos regulares (Monitorar/Reparar)	Grave Danos Grandes (Reparar Rápido)	Muito Grave Danos graves (Rep.Imediatamente)

O Aspecto Urgência, no caso de aplicação da matriz alternativa proposta para avaliação e caracterização das anomalias, é estabelecido com base na análise prévia do efeito conjugado dos parâmetros já definidos para a caracterização dos aspectos de Tendência e Gravidade, pois deve manter estrita consonância e até mesmo convergência com eles. Para auxiliar este entendimento, é apresentada a matriz de correlação que pode ser usada para subsidiar a definição coerente dos parâmetros caracterizadores do aspecto Urgência, (Tabela 11) e (Tabela12).

Tabela 11: Matriz de Correlação para o estabelecimento dos parâmetros do aspecto Urgência

MATRIZ DE CORRELAÇÃO Urgência (U) = f (T, G)			Tendência (T)			
			Estágio de Progressão da Anomalia			
			1	2	3	4
Gravidade (G)	Nível de Perigo da Anomalia	1	1	2	3	4
		2	2	4	6	8
		3	3	6	9	12
		4	4	8	12	16

Tabela 12: Parâmetros relacionados ao aspecto Urgência

ASPECTO	URGÊNCIA – Matriz Alternativa Proposta – GUT Quatro Parâmetros			
Parâmetros	1	2	3	4
Caracterização do Parâmetro	Pode esperar Não há pressa	Pouco Urgente Pode Esperar um Pouco	Urgente Tratar o mais cedo possível	Muito Urgente Precisa ser resolvido de Imediato
MATRIZ DE CORRELAÇÃO U = f (T, G)	1 e 2	3 e 4	6, 8 e 9	12 e 16

Utilizando a parametrização efetuada, para o caso específico da anomalia surgência e, por consequência, do modo de falha potencial associado piping, com os aspectos da matriz alternativa proposta, o próximo passo é a aplicação direta da metodologia – GUT Quatro Parâmetro, que segue a mesma dinâmica utilizada para a aplicação de qualquer matriz GUT, com uma particularidade, os aspectos devem ser avaliados em sequência pré-estabelecida (Tendência > Gravidade > Urgência). Com base nos valores dos produtos definidos na Tabela 13, visando a sua complementação com a definição das prioridades, deve ser utilizada a Tabela 14, para auxiliar a definição da classe e, consequentemente, da ordem de prioridade das anomalias:

Tabela 13: Aplicação da Matriz GUT Quatro Parâmetros para casos de Surgências

EVENTO (ANOMALIA)		GUT – Quatro Parâmetros				PRIORIDADE	
Ident.	Local - Descrição	(Tend.)	(Grav.)	(Urg.)	Produto	Classe	Ordem
An-1	BTMD - TJ – Área úmida em região acima do dreno de pé, com presença de vegetação localizada, sem vazão aparente (Mag. – I e NP =1)	1	2	1	2	BAIXA	4
An-2	BTME – OMB – Foco de surgência com vazão controlada e estabilizada, água efluente límpida (Mag. P e NP=1)	2	2	2	8	BAIXA	3
An-3	BTME – ASJ – Surgência apresentando vazão variável, água efluente com turbidez moderada e presença de depósito de materiais finos no fundo do medidor de vazão (Mag. - M e NP =2)	3	3	3	27	ALTA	1
An-4	DQ 1 - ASJ – Surgência com vazão moderada, água límpida, porém em estrutura susceptível ao desenvolvimento de piping (Mag. – P e NP=2)	2	3	3	18	MÉDIA	2
An-N							

Tabela 14: Hierarquização das Prioridades com base nos Produtos Definidos na Matriz GUT

Produtos Possíveis	1	2	3	4	6	8	9	12	16	18	24	27	32	36	48	64
Nº por PP (Incidência)	1	3	3	6	6	7	3	9	6	3	6	1	3	3	3	1
PP - Número Acumulado	1	4	7	13	19	26	29	38	44	47	53	54	57	60	63	64
Prioridade (Classe)	BAIXA					MÉDIA						ALTA				
Nº de PP por Prioridade	19					34						11				

O processo de avaliação e caracterização das anomalias é concluído com a priorização e hierarquização das recomendações, de medidas preventivas e corretivas necessárias ao restabelecimento das condições de normalidade, que deve ser estabelecida em estrita observância às classes de prioridade definidas para as anomalias com a aplicação da metodologia alternativa proposta. Caso seja necessário o refinamento na ordem de priorização, os valores dos produtos podem ser utilizados para este fim.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme pode ser constatado por meio da aplicação prática, a metodologia alternativa proposta – GUT Quatro Parâmetros, se mostra bastante aderente ao propósito estabelecido inicialmente de redução do grau de subjetividade inerente ao processo de auscultação de barragens, o qual ainda permanecia com a aplicação direta da matriz GUT, que utiliza parâmetros genéricos e que depende essencialmente do nível de conhecimento técnico do utilizador, podendo apresentar grande variabilidade de interpretação e, conseqüentemente, dos resultados obtidos.

A metodologia alternativa proposta, fundamentada no estabelecimento de correlação direta e efetiva entre os aspectos, pode reduzir substancialmente o grau de subjetividade inerente ao processo de auscultação, propósito inicial, pois utiliza os aspectos observados e avaliados durante as inspeções, e considera a sua estrita correlação de equivalência com os respectivos aspectos caracterizadores da matriz GUT. No caso em apreciação, no qual foi realizada a parametrização da anomalia “surgência”, associada ao modo de falha potencial “piping”, qualquer evento relacionado a esta ocorrência que se deseje avaliar, pode ser efetivamente caracterizado, desde que seja seguida a parametrização estabelecida e a sequência lógica de utilização proposta.

A parametrização dos aspectos relacionados a cada anomalia, a ser avaliada, é imprescindível para o êxito da metodologia, por este motivo, para viabilizar a sua correta aplicação, a parametrização deve

ser elaborada considerando a dinâmica de evolução específica de cada anomalia, o que possibilita a caracterização do aspecto intermediário “Estágio de Progressão da Anomalia”, que é de fundamental importância para o estabelecimento da efetiva correlação com o aspecto Tendência.

A parametrização dos aspectos específicos para cada anomalia, que visa a definição dos parâmetros descritores, com especial atenção ao aspecto intermediário “Estado de Progressão da Anomalia”, deve ser realizada por profissional com alto domínio de conhecimento da dinâmica de evolução da anomalia, considerando todas as suas especificidades e possibilidades.

Estando realizada a parametrização de todas as principais anomalias, normalmente passíveis de serem detectadas no processo de auscultação de barragens, mesmo considerando a possibilidade de utilização da metodologia por profissionais de vários níveis de conhecimento, a redução do grau de subjetividade inerente ao processo certamente será alcançada.

Para os que julgarem útil a aplicação desta metodologia, e pretenderem dar continuidade a este trabalho iniciado, é de fundamental importância a realização da parametrização das principais anomalias. Agradecemos o interesse pela metodologia proposta e desejamos êxito na sua utilização.

REFERÊNCIAS

- [1] ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens – volumes I a VIII. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2016. Disponíveis em: <http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/downloads/Manual_Empreendedor>.
- [2] BRASIL. Ministério da Integração Nacional (MIN) – Manual de Segurança e Inspeção de Barragens. Brasília 2002
- [3] BIEDERMANN, R. (1997) – “Safety Concept for Dams: Development of the Swiss concept since 1980”, Wasser, Energie, Luft, 89: 55-72;
- [4] CBGB. Comitê Brasileiro de Grandes Barragens – II Simpósio sobre Instrumentação de Barragens – Volume 2 – Belo Horizonte (1996);
- [5] ELETROBRÁS. Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas. Rio de Janeiro (2003).
- [6] FEMA (2004) – “Federal Guidelines for Dam Safety Glossary of Terms”;
- [7] FERC (2016) – “Risk-Informed Decision-Making Guidelines - Chapter 1 – Introduction to risk-informed decision making”. 26f.
- [8] FERC (2020) - Dam Safety Monitoring 101: Monitoring the Health of Dams Why and How We Do It. Federal Energy Regulatory Commission Division of Dam Safety and Inspections. Available in: <https://www.ferc.gov/sites/default/files/2020-04/monitoring.pdf>.
- [9] HUNTER, R. P. (2012) Development of transparent soil testing using planar laser induced fluorescence in the study of internal erosion of filters in embankment dams. Masters Thesis - Master of Science in Engineering Geology, University of Canterbury.
- [10] ICOLD - CIGB. Inspection of Dams - Bulletin 62. Paris: International Commission on Large Dams/Commission Internationale des Grand Barrages, 1988.
- [11] ICOLD (1995) - “Bulletin 99 – Dam Failures Statistical Analysis”, Paris, 73p;
- [12] ICOLD. (2013) - Bulletin 120 - Internal erosion of existing dams, levees and dikes, and their foundations – Volume 1: Internal erosion processes and engineering assessment.
- [13] ICOLD (2014) – “Bulletin 158 – Dam Surveillance Guide”, Paris;
- [14] ICOLD. (2016) - Bulletin 164 - Internal erosion of existing dams, levees and dikes, and their foundations – Volume 2: Case histories, investigations, testing, remediation and surveillance.
- [15] KOVÁCS, G. (1981) Developments in water science. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam.
- [16] MEIRELES, Manuel. Ferramentas administrativas para identificar, observar e analisar problemas: organizações com foco no cliente. São Paulo: Arte & Ciência, 2001.
- [17] NSW Dams Safety Committee. Dam Safety Management System (SMS). Dams Safety Committee. New South Wales, Australia. 2010.
- [18] PERIARD, G. Matriz GUT: Guia Completo, 2011. Disponível em: <<http://www.sobreadministracao.com/matriz-gut-guia-completo/>>.
- [19] SCARTEZINI, Luís Mauricio Bessa. Análise e melhoria de processos. Goiânia, 2009. Disponível em: <<http://www.aprendersempre.org.br/arqs/GE%20B%20-%20An%E1lise-e-Melhoria-de-Processos.pdf>>.
- [20] SHERARD, J. L.; Woodward, R. J.; Gizienski, S. F.; Clevenger, W. A. (1963) Earth and earth-rock dams – Engineering problems of design and construction. John Wiley and Sons. New York.
- [21] SOTILLE, M. A Ferramenta GUT – Gravidade, Urgência e Tendência, 2014. Disponível em: <<http://www.pmtech.com.br/PMP/Dicas%20PMP%20-%20Matriz%20GUT.pdf>>.

[22] USACE (1995) – “Instrumentation of Embankment Dams and Levees, US Army Corps of Engineers, EM 1110-2-1908”.