DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA DE APOIO À DECISÃO PARA PRIORIZAÇÃO DE INTERVENÇÕES EM SEGURANÇA DE BARRAGENS: APLICAÇÃO À ALOCAÇÃO DE INVESTIMENTOS NA COGERH

DEVELOPMENT OF A DECISION-SUPPORT METHODOLOGY FOR PRIORITIZING DAM SAFETY INTERVENTIONS: APPLICATION TO INVESTMENT ALLOCATION AT COGERH

MIKAELLE DUARTE MARIANO FEITOSA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

CARLINE ISMÊNIA MORAIS SILVEIRA BEZERRIL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

BRUNO CHAVES CORREIA-LIMA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

AUGUSTO CÉZAR DE AQUINO CABRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

Comunicação:
O XIV SINGEP foi realizado em conjunto com a 14th Conferência Internacional do CIK (CYRUS Institute of Knowledge) e com a SPARK (Society for Promoting Academic Research and Knowledge), em formato híbrido, com sede presencial na UNINOVE - Universidade Nove de Julho, no Brasil.

Agradecimento à orgão de fomento:
Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará - COGERH Programa de Pós-Graduação Profissional em Administração e Controladoria (PPAC Profissional) da Universidade Federal do Ceará

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA DE APOIO À DECISÃO PARA PRIORIZAÇÃO DE INTERVENÇÕES EM SEGURANÇA DE BARRAGENS: APLICAÇÃO À ALOCAÇÃO DE INVESTIMENTOS NA COGERH

Objetivo do estudo
Desenvolver uma metodologia de apoio à decisão para priorizar intervenções em segurança de barragens, integrando critérios técnicos, operacionais e de risco para subsidiar a alocação de recursos destinados à recuperação, manutenção e adequação das estruturas da Cogerh.

Relevância/originalidade
A proposta responde à necessidade de aperfeiçoar a priorização de intervenções diante de restrições orçamentárias e da ausência de integração entre condições estruturais, risco e importância estratégica. Sua originalidade está na combinação desses critérios em uma sistemática de gestão.

Metodologia/abordagem
Realizou-se diagnóstico do processo de priorização da Cogerh e estruturou-se uma metodologia com quatro dimensões: Categoria de Risco, Dano Potencial Associado, Índice de Criticidade das Anomalias e Índice de Importância Estratégica. Desenvolveu-se ferramenta computacional e aplicou-se o modelo a 77 barragens.

Principais resultados
A aplicação em 77 barragens redistribuiu as prioridades de intervenção, reduzindo de 46 para 36 as classificadas como mínima e de 12 para 4 as de máxima, enquanto a prioridade média passou de 19 para 37, ampliando a diferenciação das estruturas.

Contribuições teóricas/metodológicas
O PTT contribui ao integrar conhecimentos de segurança de barragens, gestão de riscos e apoio à decisão em uma metodologia multicritério aplicada à priorização de intervenções. Metodologicamente, articula indicadores de diferentes naturezas em um índice único, operacionalizado por ferramenta computacional.

Contribuições sociais/para a gestão
Para a gestão, o produto amplia a base de informações para priorização e planejamento de investimentos, fortalecendo a transparência e a rastreabilidade das decisões. Socialmente, pode contribuir para direcionar intervenções conforme riscos e importância estratégica, com potencial de adaptação a outras organizações.

Palavras-chave: Segurança de barragens, Apoio à decisão, Priorização de intervenções, Gestão de riscos, Cogerh

DEVELOPMENT OF A DECISION-SUPPORT METHODOLOGY FOR PRIORITIZING DAM SAFETY INTERVENTIONS: APPLICATION TO INVESTMENT ALLOCATION AT COGERH

Study purpose
To develop a decision-support methodology for prioritizing dam safety interventions by integrating technical, operational, and risk criteria to support the allocation of resources for the recovery, maintenance, and rehabilitation of Cogerh's structures.

Relevance / originality
The proposal responds to the need to improve intervention prioritization under budget constraints and the lack of integration among structural conditions, risk, and strategic importance. Its originality lies in combining these criteria within a structured management approach.

Methodology / approach
A diagnosis of Cogerh's prioritization process was conducted, and a methodology was structured around four dimensions: Risk Category, Potential Associated Damage, Anomaly Criticality Index, and Strategic Importance Index. A computational tool was developed, and the model was applied to 77 dams.

Main results
Application to 77 dams redistributed intervention priorities, reducing the number classified as minimum priority from 46 to 36 and maximum priority from 12 to 4, while medium priority increased from 19 to 37, thereby enhancing differentiation among structures.

Theoretical / methodological contributions
The TTP integrates knowledge from dam safety, risk management, and decision support into a multicriteria methodology for prioritizing interventions. Methodologically, it combines indicators of different natures into a single index, operationalized through a computational tool.

Social / management contributions
For management, the product expands the information base for prioritization and investment planning, strengthening decision transparency and traceability. Socially, it can help direct interventions according to risks and strategic importance, with potential for adaptation by other organizations.

Keywords: Dam safety, Decision support, Intervention prioritization, Risk management, Cogerh

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA DE APOIO À DECISÃO PARA PRIORIZAÇÃO DE INTERVENÇÕES EM SEGURANÇA DE BARRAGENS: APLICAÇÃO À ALOCAÇÃO DE INVESTIMENTOS NA COGERH

1 Contexto do problema e oportunidade de melhoria

As barragens constituem infraestruturas estratégicas para a gestão dos recursos hídricos no semiárido brasileiro, contribuindo para o armazenamento e a regularização da oferta de água em regiões marcadas pela irregularidade pluviométrica e pela recorrência de períodos de estiagem (Campos, 2014). Entretanto, falhas nessas estruturas podem produzir impactos sociais, ambientais e econômicos de grande magnitude, reforçando a necessidade de mecanismos de gestão orientados à segurança e ao risco (Silva & Silva, 2020).

No Ceará, estado inserido integralmente no Semiárido brasileiro, a reservação artificial de água constitui a principal estratégia de gestão dos recursos hídricos, refletindo as características climáticas da região e a necessidade de regularizar a oferta de água ao longo do ano. Conforme o mapeamento realizado pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, o Ceará possui 108.357 barragens e pequenos reservatórios distribuídos em seu território (Funceme, 2025). Embora a maior parte dessas estruturas seja constituída por pequenos barramentos, esse expressivo número evidencia a importância da infraestrutura de reservação para o Estado e a complexidade da gestão da segurança destas barragens.

No Ceará, a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (Cogerh) exerce papel estratégico na gestão da infraestrutura hídrica estadual, sendo responsável por 85 barragens distribuídas no território cearense (Cogerh, 2026). Conforme estabelece a Lei nº 12.334/2010, o empreendedor é responsável pela segurança das estruturas sob sua responsabilidade e deve prover recursos necessários à manutenção de condições adequadas de segurança (Brasil, 2010).

Para cumprir essas atribuições, a Cogerh desenvolve, por meio da Gerência de Segurança e Infraestrutura (Gesin), o Programa de Gestão de Segurança de Barragens, estruturado em ações de monitoramento, manutenção e gestão de riscos. As Inspeções de Segurança Regulares (ISR) constituem uma das principais fontes de informação para avaliação das condições das estruturas e planejamento das intervenções (Cogerh, 2025).

Em 2025, a Cogerh revisou as fichas de inspeção e seus respectivos manuais de preenchimento, incorporando novos critérios de avaliação e adotando a matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência) para classificação das anomalias, contribuindo para a redução da subjetividade das avaliações e padronização dos procedimentos de inspeção (Cogerh, 2026). Apesar desse avanço, o processo de priorização das intervenções permanece fundamentado, em grande parte, nos critérios estabelecidos pela metodologia anteriormente adotada.

Dessa forma, parte das informações produzidas pela nova sistemática ainda não é utilizada de maneira estruturada na definição das prioridades. Além disso, aspectos relevantes para a avaliação das barragens, como a Categoria de Risco (CRI), o Dano Potencial Associado (DPA) e a importância estratégica de cada estrutura para o sistema hídrico estadual, não são considerados de forma integrada no processo decisório. Essa limitação torna-se mais relevante diante das restrições orçamentárias e da crescente demanda por investimentos em manutenção, recuperação e adequação das barragens.

a definição das prioridades requer instrumentos capazes de integrar diferentes aspectos relacionados à segurança das estruturas e subsidiar decisões mais consistentes quanto à alocação dos recursos disponíveis. O estudo de Wickramasinghe, Seneviratne e Jayasinghe (2025) sobre gestão da segurança de barragens destaca a importância de decisões orientadas ao risco e da integração de diferentes dimensões técnicas e gerenciais nesse processo. Identifica-se, assim, uma oportunidade de aperfeiçoamento do processo mediante a incorporação de múltiplos

critérios em uma metodologia estruturada de apoio à decisão. Este Produto Técnico-Tecnológico configura-se como uma metodologia de apoio à decisão para priorização de intervenções em segurança de barragens, integrando critérios técnicos, operacionais e de risco para subsidiar o planejamento da aplicação dos recursos destinados à recuperação, manutenção e adequação das estruturas.

Para o alcance desse propósito, pretende-se descrever o processo atualmente utilizado pela Cogerh para definição das prioridades de intervenção em barragens, identificar os critérios técnicos e gerenciais relevantes para subsidiar a priorização das intervenções, estruturar uma metodologia de classificação e hierarquização das barragens, desenvolver uma ferramenta para o cálculo automático do índice de prioridade de intervenção, aplicar a metodologia utilizando dados das barragens sob gestão da Companhia e, por fim, analisar os resultados obtidos com a aplicação da proposta.

2 Diagnóstico e Desenvolvimento do PTT

2.1 Diagnóstico do processo atual de priorização de intervenções em barragens

A avaliação das barragens e a definição das prioridades de intervenção constituem uma das etapas mais importantes do processo de gestão de segurança de barragens da Companhia, sobretudo em cenários de limitação orçamentária. Nesse contexto, tornou-se necessário avaliar se o processo atualmente utilizado pela Companhia fornece informações suficientes para apoiar a tomada de decisão de forma integrada quanto à alocação dos recursos destinados à recuperação e manutenção das estruturas.

O diagnóstico que deu origem a este Produto Técnico-Tecnológico foi realizado a partir da análise do índice Nível de Priorização para Recuperação (NPR) utilizado pela Cogerh. A análise foi realizada com base nas atividades desenvolvidas no âmbito do Programa de Gestão de Segurança de Barragens, com foco nas ISRs, nos critérios utilizados para avaliação das estruturas e no planejamento das intervenções para recuperação das estruturas.

Nos últimos anos, a Cogerh promoveu diversas melhorias nos procedimentos de inspeção e na metodologia utilizada para definição das prioridades de intervenção em barragens. A análise realizada demonstrou que a Companhia dispõe de procedimentos para o monitoramento das barragens, o registro de anomalias e a avaliação das condições de segurança das estruturas. A priorização das intervenções é baseada nos resultados das ISRs e na definição do NPR.

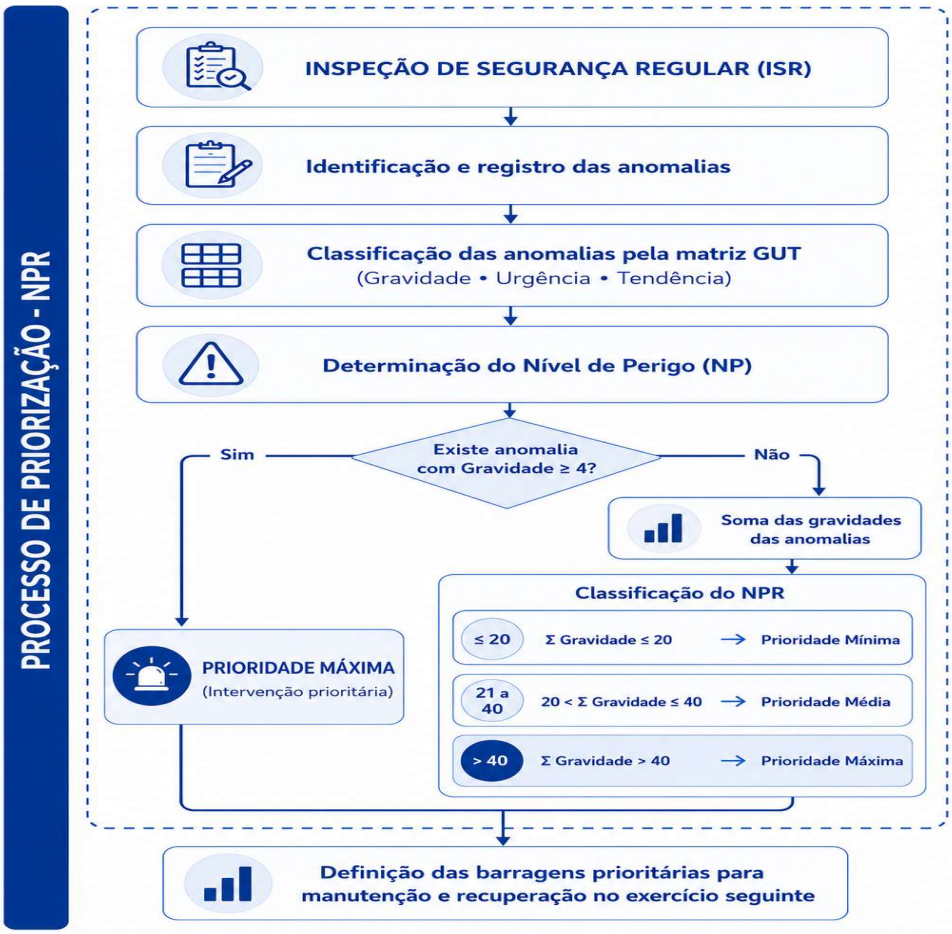
A metodologia das Inspeções de Segurança Regular foi revisada em 2025, com a incorporação da matriz GUT ao processo de classificação das anomalias e determinação do Nível de Perigo. A utilização da GUT ampliou o detalhamento das informações obtidas em campo, incorporando critérios que não eram contemplados anteriormente. Em decorrência dessa mudança, foi iniciada a revisão da metodologia utilizada para definição do NPR, de forma a compatibilizá-la com os novos procedimentos de inspeção.

Ainda que a revisão do NPR já tenha sido iniciada, sua implementação segue concentrada na incorporação do parâmetro gravidade das anomalias. As informações introduzidas pela nova metodologia de inspeções, como a tendência de evolução e outros elementos relevantes para a gestão da segurança, ainda não são incorporadas de forma integrada ao processo de priorização. Ademais, a metodologia atualmente adotada está em fase de consolidação, pois sua aplicação baseia-se em uma série histórica ainda restrita, referenciada nos primeiros ciclos de inspeção realizados utilizando a matriz GUT (Cogerh, 2026).

Após a conclusão do segundo ciclo de inspeção anual, a hierarquização das barragens é conduzida pela Gerência de Segurança e Infraestrutura e ocorre em duas etapas. As barragens que apresentam pelo menos uma anomalia com gravidade igual ou superior a quatro são

classificadas como prioridade máxima, pois esse nível de gravidade está associado ao comprometimento do funcionamento e capacidade de operação da estrutura. Para as demais barragens, a classificação decorre do somatório das pontuações de gravidade atribuídas às anomalias, o resultado desse somatório determina a classificação das estruturas nas categorias de prioridade mínima, média ou máxima (Cogerh, 2026). O fluxo atualmente adotado pela Companhia é apresentado na Figura 1.

Figura 1
Fluxo atual do processo de priorização de intervenções em barragens da Cogerh



Fonte: Elaborado pelos autores com ajuda de desing da IA.

A análise da metodologia adotada atualmente demonstrou que o NPR foi concebido para orientar as intervenções de manutenção e recuperação das estruturas, razão pela qual sua classificação está fortemente associada às condições físicas observadas durante as inspeções. Esse aspecto constitui uma vantagem operacional, uma vez que direciona os recursos para barragens com maior concentração de anomalias ou com problemas de maior gravidade identificados durante as inspeções.

Apesar da metodologia adotada atender ao objetivo de identificar barragens com maior necessidade de intervenção estrutural, a análise do processo evidenciou uma limitação relacionada à ausência de integração entre os critérios estruturais e outros fatores relevantes para a gestão baseada em risco. Estudos recentes (Fu, Feng, & Luo, 2024; Sharma et al., 2025) sobre segurança de barragens têm empregado abordagens multicritério para integrar diferentes indicadores, ponderar seus efeitos e apoiar a avaliação e a hierarquização das condições de

segurança das estruturas. No setor público, a gestão de riscos também demanda sua incorporação aos processos organizacionais e estratégicos de decisão, não se restringindo a aplicações pontuais ou predominantemente técnicas (Silva et al., 2021). Essa lacuna fundamentou o desenvolvimento da metodologia proposta neste Produto Técnico-Tecnológico.

2.2 Concepção da metodologia de apoio à decisão

A partir do diagnóstico realizado, foi identificada a necessidade de incorporar à metodologia dimensões de análise além daquelas relacionadas às condições estruturais das barragens. Assim, a concepção da metodologia proposta considera, além dos aspectos estruturais, a incorporação de critérios relacionados à probabilidade e consequência de falha e à importância estratégica das barragens.

A Categoria de Risco e o Dano Potencial Associado, critérios estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 2024), foram incorporados à avaliação para representar, respectivamente, a probabilidade de ocorrência de um acidente e o impacto caso ocorra uma eventual ruptura. O Índice de Criticidade das Anomalias (ICA) foi desenvolvido para refletir as condições atuais das barragens, com base nas informações geradas nas Inspeções de Segurança Regulares. O Índice de Importância Estratégica (IIE) incorporou à avaliação os aspectos relacionados à relevância operacional e à contribuição de cada barragem para a segurança hídrica estadual.

Enquanto a Categoria de Risco e o Dano Potencial Associado correspondem a critérios já consolidados na Política Nacional de Segurança de Barragens, o Índice de Criticidade das Anomalias e o Índice de Importância Estratégica foram desenvolvidos no âmbito deste trabalho para incorporar dimensões ainda não contempladas de forma integrada no processo de priorização.

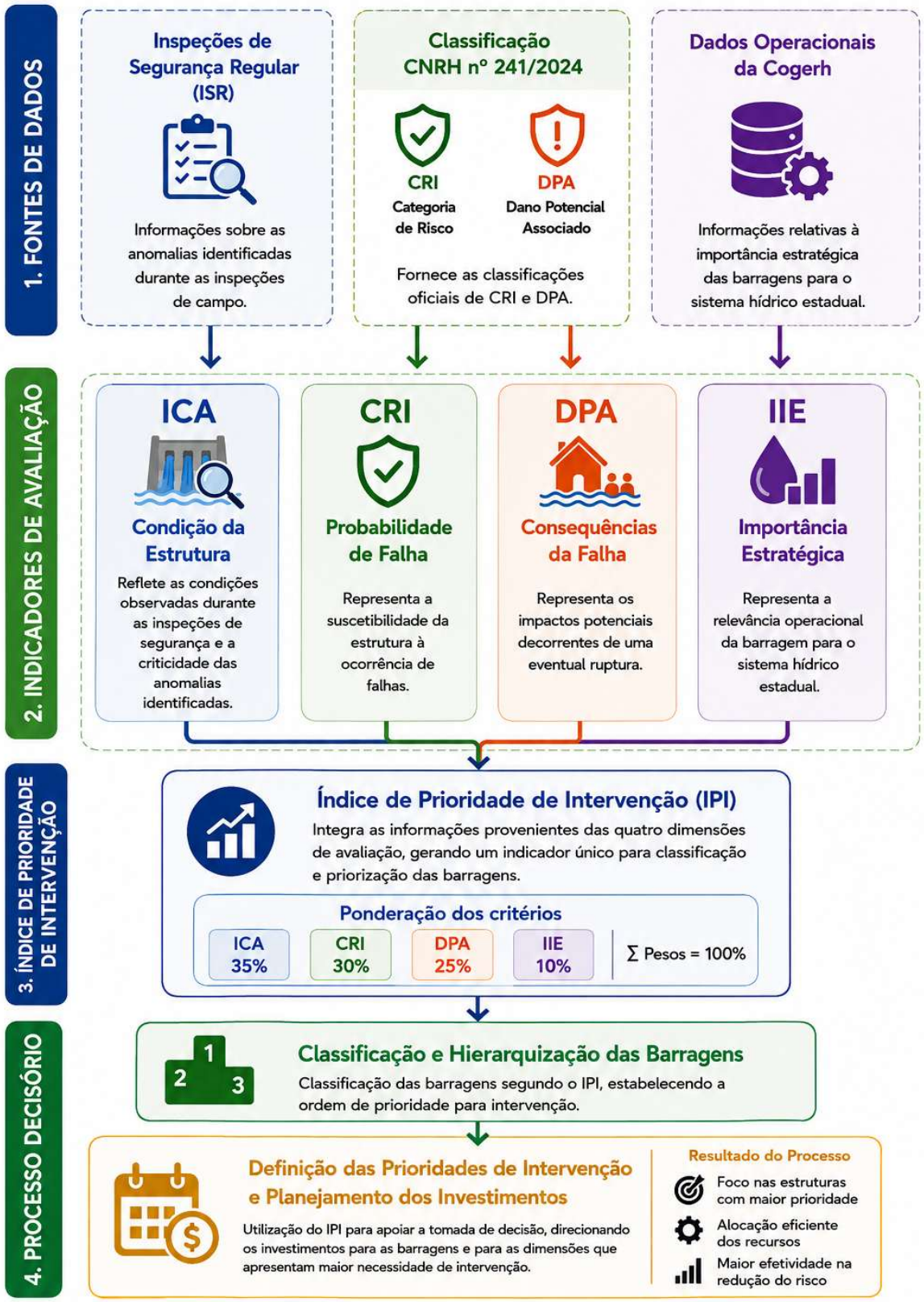
A definição desses critérios buscou assegurar que a metodologia contemplasse simultaneamente aspectos relacionados ao risco, às condições atuais da estrutura e à relevância operacional das barragens. A integração dessas quatro dimensões amplia a capacidade da metodologia de subsidiar a priorização das intervenções.

2.3 Desenvolvimento da metodologia

A metodologia foi desenvolvida para sistematizar diferentes informações técnicas e gerenciais, integrando dados de inspeção, informações de risco e critérios operacionais em um processo estruturado de apoio à decisão. O resultado deste processo é o Índice de Prioridade de Intervenção (IPI), utilizado para classificação e hierarquização das barragens.

A Figura 2 apresenta a arquitetura do processo de apoio à decisão da metodologia proposta.

Figura 2
Arquitetura do processo de apoio à decisão da metodologia proposta



Fonte: Elaborado pelos autores com ajuda de design da IA.

Os critérios CRI e DPA foram incorporados ao modelo utilizando as classificações estabelecidas pela Resolução CNRH nº 241/2024. A legislação adota uma classificação

qualitativa das barragens, assim fez-se necessária a conversão dessas categorias em valores numéricos, permitindo sua integração ao cálculo do IPI, conforme apresentado na Tabela 1. A utilização de uma escala não linear busca ampliar a diferença entre os níveis de classificação, conferindo maior sensibilidade ao modelo para identificar barragens enquadradas nas categorias de maior risco e maior potencial de dano.

Tabela 1
Escala de pontuação adotada para a CRI e o DPA

Critério	Baixo	Médio	Alto
Categoria de Risco (CRI)	20	60	100
Dano Potencial Associado (DPA)	20	60	100

Fonte: Elaborado pelos autores.

O ICA foi desenvolvido com base na combinação de três fatores complementares: a gravidade da anomalia, o peso atribuído ao componente estrutural afetado e o fator de evolução ao longo do tempo. A escolha desses fatores ocorreu em consonância com as recomendações internacionais para inspeção e avaliação da segurança de barragens, que destacam a necessidade de considerar simultaneamente a severidade da anomalia, sua localização e seu potencial de evolução para mecanismos de ruptura (ICOLD, 2023; USACE, 2014). O índice é calculado pela seguinte expressão:

$$ICA = \Sigma (G \times L \times E) \quad (1)$$

Onde:
G = Gravidade da anomalia;
L = Peso da localização da anomalia;
E = Fator de evolução da anomalia.

A pontuação da gravidade (G) e evolução (E) utilizadas na composição do índice não foram definidas no âmbito desta pesquisa. Considerando que esses critérios já integram a rotina de inspeções da Companhia, foram mantidas as classificações e os pesos definidos pelo Manual para Preenchimento do Nível de Perigo em Barragens.

A Tabela 2 apresenta as escalas de classificação e os respectivos pesos adotados para cada componente do índice.

Tabela 2
Classificação Gravidade e Tendência

Gravidade	Evolução	Pontuação
Sem gravidade	Sem tendência de evolução	1
Pouco Grave	Evoluir em longo prazo	2
Grave	Evoluir em médio prazo	3
Muito Grave	Evoluir em curto prazo	4
Extremamente Grave	Agravar rapidamente	5

Fonte: Adaptado de Cogerh (2025)

O terceiro fator incorporado no cálculo do ICA está associado à localização (L) da anomalia identificada. Diferentemente das pontuações de gravidade e evolução, o fator de localização foi desenvolvido no âmbito desta pesquisa com base na importância estrutural dos componentes.

A Tabela 3 apresenta os pesos para os componentes considerados no cálculo do ICA.

Tabela 3
Fatores de ponderação dos componentes estruturais empregados no cálculo do ICA

Componente	Peso
Infraestrutura operacional	1,0
Reservatório	1,0
Coroamento	1,2
Instrumentação geotécnica	1,3
Tomada d'água	1,4
Talude	1,6
Região a jusante	1,7
Galeria de drenagem	1,8
Vertedouro	2,0

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os pesos atribuídos aos componentes buscam representar sua influência relativa sobre a segurança da barragem. Assim, os menores pesos foram atribuídos aos componentes associados às condições operacionais e ao reservatório. Os elementos intermediários receberam pesos compatíveis com sua contribuição para a identificação e evolução de mecanismos de deterioração estrutural. Por outro lado, elementos cuja falha pode comprometer diretamente a estabilidade da estrutura receberam maior ponderação, destacando-se o vertedouro, cuja integridade é fundamental para prevenir o galgamento, uma das principais causas de ruptura em barragens (ICOLD, 2019).

Ressalta-se que esses valores constituem uma proposta preliminar, cuja calibração deverá ser realizada em etapa posterior mediante consulta a especialistas, utilizando método estruturado de apoio à decisão.

O Índice de Importância Estratégica foi concebido para representar uma perspectiva gerencial da decisão e para incorporar ao processo decisório uma dimensão relacionada à relevância operacional das barragens, incluindo aspectos relacionados à população atendida, às finalidades de uso da barragem, ao grau de dependência dos usuários em relação ao reservatório e ao nível de integração da estrutura aos sistemas de oferta hídrica. O índice é calculado pela seguinte expressão:

$$IIE = (0{,}35 \times PA) + (0{,}35 \times UP) + (0{,}2 \times DS) + (0{,}10 \times IS) \quad (2)$$

Onde:
PA = População atendida;
UP = Uso principal;
DH = Dependência hídrica;
IS = Integração ao sistema.

A definição dos critérios que compõem esse índice foi fundamentada nos princípios estabelecidos pela Política Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 1997) que reconhece o abastecimento humano como uso prioritário em situações de escassez. Além disso, acompanha as diretrizes adotadas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2026), que apontam a infraestrutura de reservação como elemento essencial para assegurar a disponibilidade de água em quantidade e qualidade compatíveis com os diferentes usos. Assim, a importância estratégica de uma barragem não depende apenas de suas características físicas, mas também da função que exerce na garantia do abastecimento, na operação do sistema hídrico e na redução da vulnerabilidade das populações atendidas.

Os componentes do IIE receberam pesos que refletem sua contribuição para a segurança hídrica estadual. Os componentes Uso Principal e População Atendida receberam as maiores

ponderações por representarem, respectivamente, a finalidade pública da barragem e o alcance social de sua operação, registrando que estruturas específicas ao abastecimento humano ou responsáveis pelo atendimento de maior contingente populacional tendem a produzir impactos mais significativos em caso de indisponibilidade.

A Dependência Hídrica foi identificada como o terceiro componente mais significativo, pois reflete o nível de vulnerabilidade da área atendida. Isso ocorre porque a falta ou escassez de fontes alternativas de abastecimento agrava os efeitos da interrupção da operação da barragem. Por outro lado, a Integração ao Sistema Hídrico foi adicionada como um fator complementar, com o objetivo de distinguir barragens que fazem parte de sistemas integrados de reservatórios. A Tabela 4 apresenta os critérios considerados na composição do Índice de Importância Estratégica e as pontuações atribuídas.

Tabela 4
Pontuação dos componentes empregados no cálculo do IIE

População Atendida	**Pontuação**	**Uso Principal**	**Pontuação**
Até 5 mil habitantes	1	Abastecimento Humano	5
5 a 20 mil	2	Uso Múltiplo	4
20 a 50 mil	3	Controle de Cheias	3
50 a 100 mil	4	Irrigação e Dessedentação animal	2
Acima de 100 mil	5	Outros usos	1
Dependência Hídrica	**Pontuação**	**Integração ao Sistema**	**Pontuação**
Sim - Suficiente	1	Baixa	1
Sim - Parcialmente Suficiente	3	Média	3
Não	5	Alta	5

Fonte: Elaborado pelos autores.

Após a estruturação dos indicadores individuais, a metodologia passa para a etapa de integração das informações, na qual os diferentes critérios deixam de ser analisados isoladamente e passam a compor um processo único de apoio à decisão. Portanto, o IPI resulta da integração ponderada do Índice de Criticidade das Anomalias, da Categoria de Risco, do Dano Potencial Associado e do Índice de Importância Estratégica. O Índice de Prioridade de Intervenção é obtido pela seguinte expressão:

$$IPI = (0{,}35 \times ICA) + (0{,}30 \times CRI) + (0{,}25 \times DPA) + (0{,}10 \times IIE) \quad (3)$$

Os pesos atribuídos a cada dimensão foram definidos preliminarmente considerando dois aspectos fundamentais: a contribuição de cada indicador para a segurança das barragens e a capacidade de atuação do empreendedor sobre os fatores avaliados. Nesse contexto, foram atribuídos maiores pesos ao Índice de Criticidade das Anomalias e à Categoria de Risco, por representarem dimensões diretamente influenciadas pelas ações de inspeção, manutenção, recuperação e operação realizadas pelo empreendedor.

O Dano Potencial Associado recebeu ponderação inferior por refletir predominantemente características da área potencialmente afetada e da ocupação existente a jusante. Esses fatores, em grande parte, extrapolam a capacidade de intervenção do empreendedor da barragem. Por fim, o Índice de Importância Estratégica foi incorporado como fator complementar de apoio à decisão, permitindo diferenciar barragens com níveis semelhantes de criticidade estrutural a partir de sua relevância para o abastecimento e para a operação do sistema hídrico.

Após o cálculo do IPI, as barragens são classificadas em três níveis de prioridade: máxima, média e mínima, possibilitando a elaboração de um ranking anual das estruturas.

Tabela 5
Ranking anual das estruturas

IPI	Nível de Prioridade	Diretriz de Gestão
≥ 60	Máxima	Intervenção imediata e inclusão prioritária no planejamento de investimentos
40 a 59	Média	Monitoramento intensificado e programação de intervenções no médio prazo
< 40	Mínima	Manutenção rotineira e acompanhamento periódico

Fonte: Elaborado pelos autores

Com o objetivo de apresentar as características gerais do Índice de Prioridade de Intervenção, a Tabela 6 apresenta uma síntese dos critérios que compõem o IPI, suas respectivas formas de obtenção, escala de pontuação e os pesos atribuídos a cada dimensão de avaliação.

Tabela 6
Síntese dos critérios que compõem o IPI

Dimensão de Avaliação	Índice	Objetivo	Processo de Obtenção	Escala de Pontuação	Peso no IPI (%)
Probabilidade de falha	Categoria de Risco (CRI)	Representar a probabilidade de ocorrência de falhas ou acidentes	Classificação conforme Resolução CNRH nº 241/2024	Baixo = 20; Médio = 60; Alto = 100	30
Consequências da falha	Dano Potencial Associado (DPA)	Representar os impactos potenciais de uma eventual ruptura	Classificação conforme Resolução CNRH nº 241/2024	Baixo = 20; Médio = 60; Alto = 100	25
Condição atual da estrutura	Índice de Criticidade das Anomalias (ICA)	Representar a criticidade das anomalias identificadas nas inspeções	Cálculo a partir da gravidade, localização e evolução das anomalias	Escala normalizada de 0 a 100	35
Importância operacional	Índice de Importância Estratégica (IIE)	Representar a importância da barragem para o sistema hídrico estadual	Cálculo a partir da população atendida, finalidade, dependência hídrica e integração ao sistema	Escala normalizada de 0 a 100	10

Fonte: Elaborado pelos autores.

O modelo integra quatro dimensões complementares. Assim sendo, a metodologia transforma informações provenientes de diferentes dimensões da segurança de barragens em um processo estruturado de classificação e hierarquização, fornecendo suporte técnico para a definição das prioridades de intervenção e para o planejamento dos investimentos.

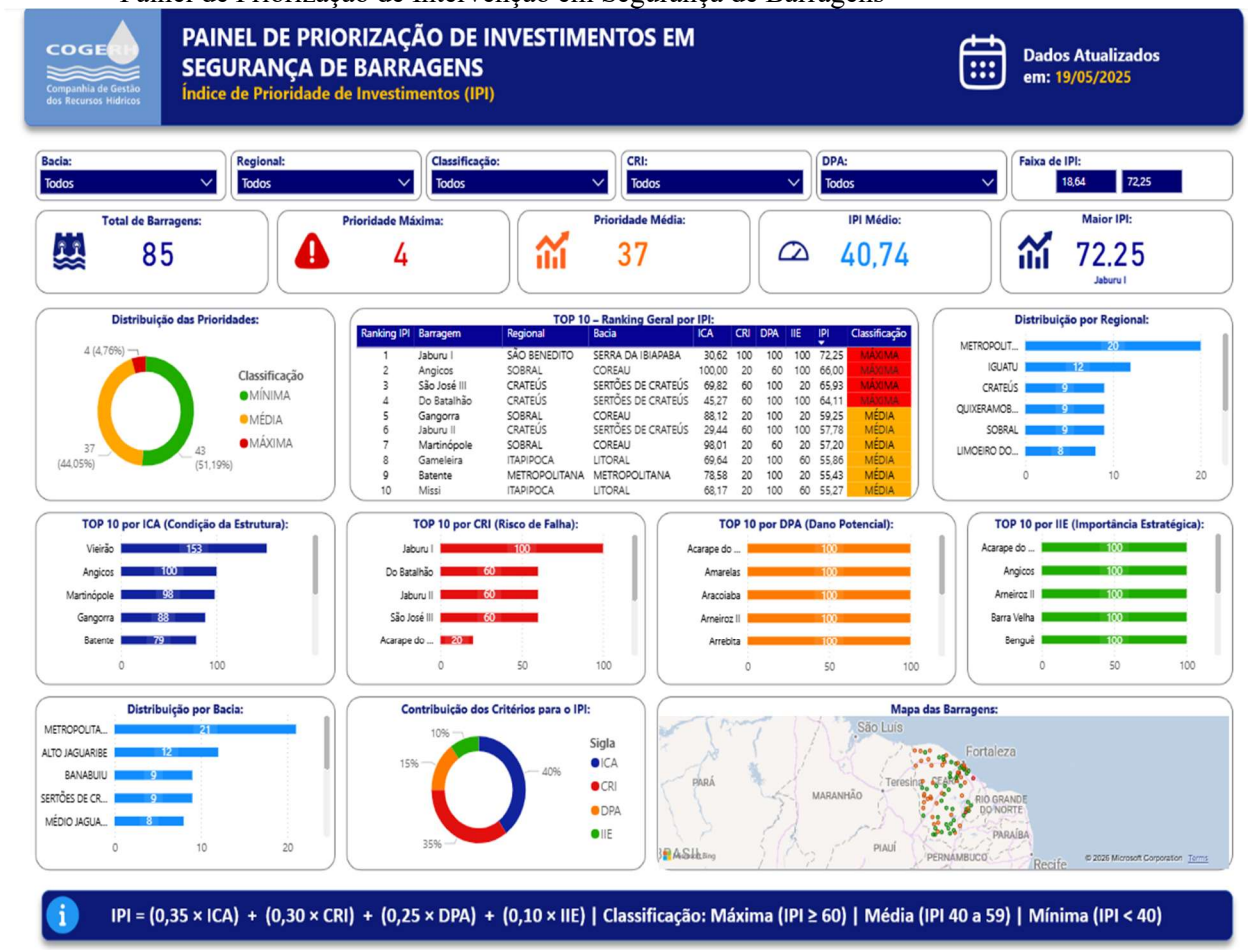
2.4 Desenvolvimento da ferramenta computacional

Para operacionalizar a metodologia, foi desenvolvida uma ferramenta em formato de planilha eletrônica que processa e consolida as informações relacionadas à segurança de

barragens. A ferramenta foi elaborada como um sistema de apoio à decisão para reunir os dados de inspeções de segurança, classificações de risco e informações estratégicas das estruturas em um único ambiente de análise. É composta por diferentes módulos interdependentes utilizados para cadastrar as barragens, registrar anomalias encontradas nas inspeções, calcular o IIE, parametrizar os critérios e gerar um *ranking* de prioridades.

Adicionalmente, foi produzido um painel gerencial, onde é possível visualizar os principais indicadores relacionados à priorização das intervenções. A partir das informações inseridas, a ferramenta calcula automaticamente o ICA, CRI, DPA e IIE e gera o IPI. Com base nesses resultados, as barragens são categorizadas de acordo com a prioridade de intervenção. A Figura 3 apresenta o painel desenvolvido para apoiar a aplicação da metodologia proposta.

Figura 3
Painel de Priorização de Intervenção em Segurança de Barragens



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de software utilizado pelo organização pesquisada.

O painel amplia a análise trazendo, além do *ranking* geral de prioridades, *rankings* específicos para cada critério da metodologia (ICA, CRI, DPA e IIE). Essa funcionalidade permite compreender quais fatores impactam a posição de cada barragem no *ranking* geral, o que esclarece se a necessidade de intervenção ocorre por conta das condições da estrutura, da probabilidade de falha, das consequências potenciais de um acidente ou da relevância estratégica da barragem para o sistema hídrico estadual. Ademais, a ferramenta proporciona uma análise comparativa, permitindo o planejamento territorial das intervenções e auxiliando na definição de estratégias de aplicação dos recursos disponíveis.

A parametrização da ferramenta é outro aspecto importante. É possível atualizar pesos, critérios e escala de pontuação sem modificar a estrutura de cálculo. Isso confere flexibilidade

ao produto e possibilita seu aprimoramento constante, seja em função das mudanças nas técnicas de inspeção, alterações regulatórias ou decisões institucionais adotadas pela empresa.

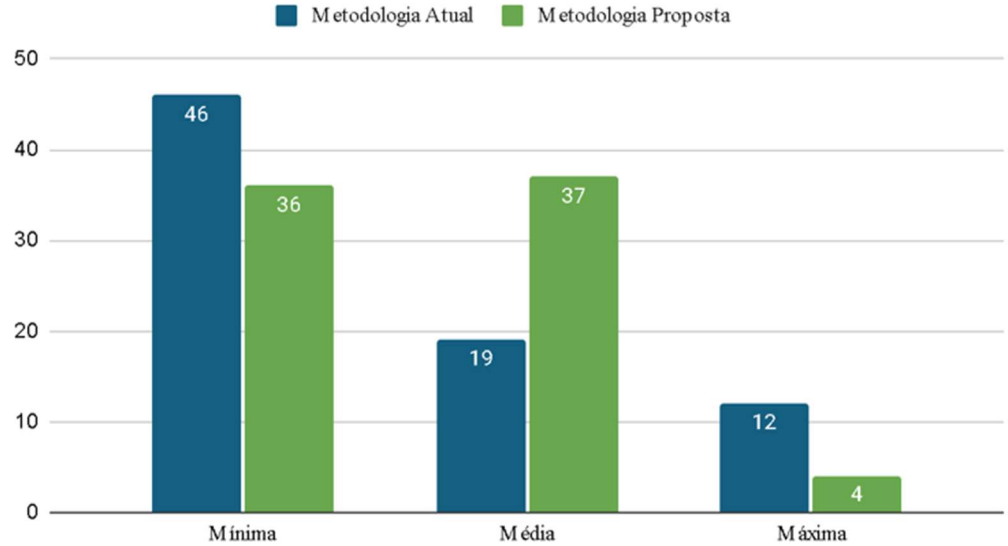
Por fim, a automação dos cálculos reduz a natureza subjetiva do processo de priorização, aumenta a rastreabilidade das informações utilizadas, torna a tomada de decisão mais transparente e incentiva uma maior uniformidade na escolha das prioridades de intervenção em segurança de barragens. Desta forma, a ferramenta não é uma simples ferramenta de cálculo, mas uma ferramenta de apoio à decisão para a gestão de segurança de barragens da Companhia.

3 Adoção e contribuições do PTT

A aplicação da metodologia foi realizada no portfólio de barragens sob responsabilidade da Cogerh. Entretanto, embora a Companhia seja empreendedora de 85 barragens, a avaliação contemplou 77 estruturas, em razão da indisponibilidade de informações necessárias para a aplicação integral do modelo. Uma das barragens não foi incluída por não possuir classificação de Categoria de Risco e Dano Potencial Associado emitida pelo órgão fiscalizador competente, impossibilitando a obtenção de dois dos indicadores que compõem o Índice de Prioridade de Intervenção. Ademais, as 7 barragens localizadas na Bacia Hidrográfica do Salgado foram excluídas da análise em virtude da inexistência de informações suficientes para o cálculo do Índice de Importância Estratégica. Assim, a aplicação da metodologia restringiu-se às 77 estruturas para as quais foi possível reunir todas as informações requeridas pela metodologia, garantindo a consistência dos resultados e a comparabilidade entre as barragens avaliadas.

Como forma de avaliar o desempenho da metodologia, os resultados obtidos foram comparados com o processo atualmente utilizado pela Companhia. A comparação possibilitou identificar alterações na classificação das prioridades, bem como analisar a influência da incorporação dos novos critérios de avaliação na definição das estruturas prioritárias. Observa-se que a metodologia atualmente empregada concentra um número significativo de barragens nas classes extremas, especialmente na prioridade mínima. Com a metodologia proposta, verifica-se uma redistribuição das estruturas, aumentando o número de barragens classificadas como de prioridade média e reduzindo o número de estruturas classificadas como prioridade máxima. A Figura 4 apresenta a redistribuição das 77 barragens avaliadas entre as classes de prioridade decorrente da aplicação da metodologia proposta.

Figura 4
Distribuição das barragens por classes de prioridade: metodologia atual e metodologia proposta

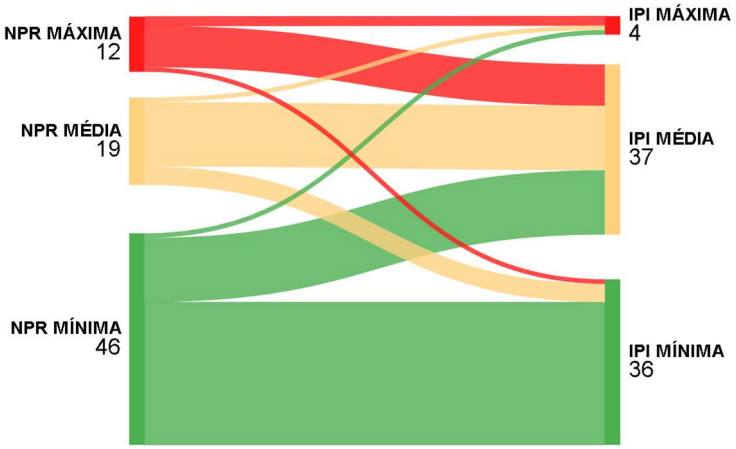


Fonte: Elaborado pelos autores.

A diferença observada está relacionada aos critérios utilizados em cada metodologia. O processo atualmente empregado pela Companhia está fundamentado predominantemente nas condições estruturais identificadas durante as inspeções, enquanto a metodologia proposta integra, além dessas informações, a Categoria de Risco, o Dano Potencial Associado e o Índice de Importância Estratégica. Como consequência, barragens com condições estruturais semelhantes podem receber prioridades distintas em função do risco associado ou de sua relevância para o sistema hídrico estadual.

A avaliação das alterações individuais demonstra que a maior parte das 77 barragens permaneceu na mesma faixa de prioridade, evidenciando que a metodologia preserva a coerência com o processo atualmente utilizado sempre que as condições técnicas são equivalentes. A redistribuição observada não ocorreu de forma aleatória. Apenas um conjunto reduzido apresentou alterações decorrentes da incorporação dos novos critérios de avaliação. A Figura 5 permite visualizar de forma mais detalhada o comportamento das 77 barragens entre as diferentes classes de prioridade, evidenciando os fluxos de migração decorrentes da aplicação da metodologia proposta.

Figura 5
Fluxo de transição das classes de prioridade entre a metodologia atual (NPR) e a metodologia proposta (IPI)



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados demonstram que a metodologia proposta promoveu alterações pontuais nas prioridades de intervenção, as alterações ocorreram principalmente nas barragens que anteriormente eram consideradas de menor prioridade. Neste caso, o ICA e o IIE permitiram diferenciar estruturas que apresentavam condições estruturais semelhantes, mas desempenhavam papéis distintos sob a perspectiva do risco e da importância estratégica. Por outro lado, algumas estruturas que eram consideradas de maior prioridade foram classificadas na categoria intermediária, resultado compatível com a avaliação dos diferentes critérios considerados pela metodologia proposta. Apenas duas barragens sofreram alterações entre as classes mínima e máxima, o que indica que a metodologia apresenta comportamento estável. Isso mostra que a proposta não altera significativamente a lógica de priorização da empresa, mas aperfeiçoa por meio da incorporação de novos critérios de análise.

A aplicação da metodologia demonstrou sua viabilidade operacional e evidenciou que a incorporação de critérios relacionados ao risco, às condições estruturais e à importância estratégica amplia a capacidade analítica do processo de priorização. Mais do que produzir novos indicadores, a metodologia estrutura um processo de apoio à decisão que integra

diferentes dimensões da segurança de barragens em uma única sistemática de avaliação. Como resultado, disponibiliza informações mais abrangentes para subsidiar o planejamento das intervenções, fortalecer a transparência do processo decisório e apoiar a alocação dos recursos destinados à segurança das barragens da Cogerh.

3.1 Aderência

O presente Produto Técnico-Tecnológico apresenta elevada aderência à área de Administração, em especial a Administração Pública, e Controladoria, por propor uma metodologia de apoio à decisão destinada ao aperfeiçoamento da gestão organizacional e da alocação de recursos públicos. O produto responde a um problema concreto identificado na Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (Cogerh), relacionado à necessidade de aperfeiçoar o processo de priorização de intervenção em segurança de barragens diante da limitação orçamentária e da crescente demanda por intervenções estruturais.

Sob a perspectiva acadêmica, a metodologia incorpora conceitos de gestão de riscos, apoio multicritério à decisão, governança pública e planejamento de investimentos, integrando fundamentos teóricos e normativos em uma solução aplicável ao contexto organizacional. Sob a perspectiva profissional, o produto contribui diretamente para o fortalecimento dos processos decisórios, da transparência administrativa e da gestão baseada em evidências.

Além disso, o produto encontra aderência às diretrizes da Política Nacional de Segurança de Barragens, da Política Nacional de Recursos Hídricos e às práticas de gestão de ativos de infraestrutura hídrica, alinhando conhecimento científico, legislação e necessidades institucionais.

3.2 Impacto

Impacto realizado: médio. Impacto potencial: alto. O impacto realizado é classificado como médio, uma vez que a aplicação da metodologia já produziu transformação observável no processo de priorização de intervenções da Cogerh. A aplicação contemplou 77 barragens e resultou em alteração da distribuição das estruturas entre as classes de prioridade. Na metodologia atualmente utilizada, 46 barragens estavam classificadas como prioridade mínima, 19 como média e 12 como máxima. Com a aplicação do Índice de Prioridade de Intervenção (IPI), esses quantitativos passaram para 36, 37 e 4 barragens, respectivamente. Dessa forma, observou-se redução de 10 barragens na classe mínima, aumento de 18 na classe média e redução de 8 na classe máxima, evidenciando que a incorporação dos critérios de risco, condições estruturais e importância estratégica modificou efetivamente a hierarquização das intervenções. O impacto realizado caracteriza-se, portanto, pela mudança na sistemática de classificação e na base de informações utilizada para apoiar as decisões.

O impacto potencial é classificado como alto, considerando que o produto foi desenvolvido para subsidiar decisões de alocação de recursos destinados à recuperação, manutenção e adequação das barragens, incorporando simultaneamente informações sobre risco, condição estrutural e importância estratégica. Sua adoção continuada pode ampliar a qualidade da priorização das intervenções e fortalecer a rastreabilidade e a fundamentação técnica das decisões. Além disso, a possibilidade de adaptação da metodologia a outras organizações responsáveis pela gestão de barragens amplia seu alcance potencial.

3.3 Aplicabilidade

A aplicabilidade realizada é classificada como alta, pois a metodologia foi aplicada a 77 barragens da Cogerh utilizando informações já produzidas pela Companhia, como dados das

inspeções de segurança, classificações de risco e informações operacionais. A ferramenta desenvolvida automatiza o cálculo dos indicadores e do IPI, além de gerar os rankings de prioridade, facilitando sua utilização no planejamento das intervenções.

A aplicabilidade potencial também é classificada como alta, considerando que os parâmetros de cálculo podem ser ajustados em função de alterações normativas, revisões técnicas ou decisões institucionais, sem necessidade de reconstrução da estrutura do modelo. Essa flexibilidade favorece sua atualização e adaptação a diferentes contextos organizacionais.

A replicabilidade é classificada como escalável, pois a metodologia utiliza critérios relacionados à segurança de barragens e pode ser adaptada por outras organizações públicas ou privadas responsáveis pela gestão dessas estruturas.

3.4 Inovação

Inovação: média – incremental. O PTT é classificado como de inovação incremental, pois modifica e integra conhecimentos e critérios previamente estabelecidos em um processo estruturado de apoio à decisão. A inovação está na integração da Categoria de Risco, do Dano Potencial Associado, do Índice de Criticidade das Anomalias e do Índice de Importância Estratégica para composição do Índice de Prioridade de Intervenção (IPI), ampliando o modelo anteriormente utilizado pela Companhia.

Assim, a inovação está caracterizada pela combinação inédita de critérios técnicos, gerenciais e de risco em um modelo estruturado de apoio à decisão, voltado especificamente para a gestão de investimentos em segurança de barragens.

3.5 Complexidade

Complexidade: média. O PTT é classificado como de média complexidade por envolver a adaptação e integração de conhecimentos previamente estabelecidos em segurança de barragens, gestão de riscos, critérios normativos e apoio à decisão. Seu desenvolvimento exigiu diagnosticar o processo existente, selecionar critérios, estruturar indicadores, definir escalas e ponderações e integrar informações provenientes de diferentes fontes para construção do IPI.

A complexidade também decorre da necessidade de articular informações das inspeções de segurança, classificações oficiais de risco e dados relacionados à importância estratégica das barragens, além de operacionalizar o modelo em uma ferramenta computacional capaz de automatizar os cálculos e gerar os rankings de prioridade.

4 Considerações Finais

Este produto técnico-tecnológico foi desenvolvido a partir da necessidade de aperfeiçoar o processo de priorização de intervenção em segurança de barragens da Companhia. O trabalho teve como objetivo desenvolver uma metodologia de apoio à decisão para priorização de intervenção em segurança de barragens, integrando critérios técnicos, operacionais e de risco para subsidiar a alocação dos recursos destinados à recuperação, manutenção e adequação das estruturas. A aplicação realizada demonstrou que o objetivo proposto foi alcançado.

A metodologia proposta incorporou quatro dimensões complementares de análise: Categoria de Risco, Dano Potencial Associado, Índice de Criticidade das Anomalias e Índice de Importância Estratégica. A integração desses critérios resultou na construção do Índice de Prioridade de Intervenção, indicador final da metodologia, utilizado para apoiar a classificação e a hierarquização das barragens quanto à necessidade de intervenção. Além disso, foi desenvolvida uma ferramenta computacional capaz de automatizar os cálculos, consolidar as informações e disponibilizar os resultados por meio de painel gerencial de apoio à decisão.

A aplicação a 77 barragens evidenciou que a incorporação dos novos critérios modificou a distribuição das prioridades em relação ao processo atualmente utilizado, com aumento das estruturas classificadas como prioridade média e redução das classificadas como mínima e máxima. Ao mesmo tempo, a maior parte das barragens permaneceu na mesma faixa de prioridade e apenas duas apresentaram migração direta entre as classes mínima e máxima, indicando que a metodologia amplia a capacidade de diferenciação sem romper de forma generalizada com a lógica de priorização existente.

Como contribuição institucional, o PTT passa a disponibilizar à Cogerh um sistema estruturado de apoio à decisão para priorização de intervenção em segurança de barragens, permitindo integrar informações técnicas, operacionais e estratégicas em um único processo de análise. A ferramenta desenvolvida possibilita atualização contínua dos dados, padronização dos critérios de avaliação e geração automatizada de rankings de prioridade, fortalecendo o planejamento das ações de recuperação, manutenção e adequação das estruturas.

Embora a proposta tenha sido desenvolvida a partir da realidade da Cogerh, sua estrutura permite adaptação para outras organizações responsáveis pela gestão de barragens, ampliando o potencial de aplicação da metodologia em diferentes contextos institucionais. Além disso, a utilização de critérios já consolidados pela regulamentação nacional, associada à incorporação de indicadores relacionados à condição das estruturas e à sua relevância operacional, favorece a replicabilidade da metodologia.

Recomenda-se, para estudos futuros, a realização de processos de validação e calibração dos pesos atribuídos aos indicadores, com participação de especialistas em segurança de barragens. E ainda, a integração futura da ferramenta ao Sistema Integrado de Informações de Gestão de Recursos Hídricos (Sigerh).

Referências

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. (2026). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2025: Relatório síntese*. https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/acervo/detalhe/113042

Brasil. (1997). *Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997: Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989*. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm

Brasil. (2010). *Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010: Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000*. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm

Brasil. (2024). *Resolução CNRH nº 241, de 10 de setembro de 2024: Estabelece critérios gerais de classificação de barragens por dano potencial associado, por volume e por categoria de risco, em atendimento ao art. 7º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010*. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. RESOLUÇÃO CNRH Nº 241, DE 10 DE SETEMBRO DE 2024 - RESOLUÇÃO CNRH Nº 241, DE 10 DE SETEMBRO DE 2024 - DOU - Imprensa Nacional

Campos, J. N. B. (2014). Secas e políticas públicas no semiárido: Ideias, pensadores e períodos. *Estudos Avançados, 28*(82), 65–88. http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/44788

Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. (2024). *Manual para preenchimento do nível de perigo em barragens*.

Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. (2025). *Relatório anual de segurança de barragens—RASB 2024*. https://www.ce.gov.br/wp-content/uploads/2025/11/Relatorio-Anual-de-Seguranca-de-Barragens-2024-RASB.pdf

Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. (2026). *Relatório anual de segurança de barragens—RASB 2025*. https://www.cogerh.com.br/wp-content/uploads/2026/06/RASB%202025%20-%20FINAL.pdf

Fu, Z., Feng, P., & Luo, Z. (2024). Comprehensive assessment of dam safety using a game-theory-based dam safety performance measure. *Water*, 16(5), 659. https://doi.org/10.3390/w16050659

Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. (2022). *Mapeamento das barragens dos pequenos reservatórios d'água situados no Estado do Ceará: Relatório técnico*. http://www.funceme.br/wp-content/uploads/2025/10/FUNCEME_Relatorio_Tecnico-Mapeamento_Barragens.pdf

International Commission on Large Dams. (2019). *Statistical analysis of dam failures: Bulletin 99 update*.

International Commission on Large Dams. (2023). *Bulletin 180: Dam safety management: Operational phase of the dam life cycle*.

Sharma, A., Bharti, S. D., Shrimali, M. K., & Datta, T. K. (2025). Overall dam safety assessment using the analytical hierarchy process model. *Structures*, 80, 109875. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2025.109875

Silva, E. L. e, & Silva, M. A. da. (2020). Segurança de barragens e os riscos potenciais à saúde pública. *Saúde em Debate, 44*(Especial 2), 242–261. https://doi.org/10.1590/0103-11042020E217

Silva, D. A. da, Silva, J. A. da, Alves, G. de F., & Santos, C. D. dos. (2021). Gestão de riscos no setor público: revisão bibliométrica e proposta de agenda de pesquisa. *Revista do Serviço Público*, 72(4), 824–854. https://doi.org/10.21874/rsp.v72.i4.3991

U.S. Army Corps of Engineers. (2014). *ER 1110-2-1156: Safety of dams: Policy and procedures*.

Wickramasinghe, K. P., Seneviratne, S. W., & Jayasinghe, A. (2025). Enhancing dam safety: An integrated framework for dam safety management. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*. https://doi.org/10.1108/IJDRBE-10-2024-0113