



ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL PARA RESTABELECIMENTO DOS NÍVEIS DE SEGURANÇA, DESEMPENHO E ESTABILIDADE DA BARRAGEM DO RIO DESCOBERTO

Autor e Apresentador: Edlamar da Silva Junior⁽¹⁾

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Goiás, Especialista em MBA de Projetos pela Universidade Anhanguera, Especialista em Estruturas de Concreto Armado pela Iesplan.

Coautor: Stefan Igreja Mühlhofer⁽¹⁾

Físico pela Universidade de Brasília - UnB. Engenheiro Civil pelo Instituto de Ensino Superior Planalto - IESPLAN. Especialista em Geoprocessamento pela Universidade de Brasília - UnB. Mestre em Planejamento e Gestão Ambiental pela Universidade Católica de Brasília - UCB. Analista de Sistemas de Saneamento e Superintendente de Projetos da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – Caesb

Coautor: Lorany Karoline de Jesus Soares França⁽³⁾

Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Paulista-Unip.

Endereço⁽¹⁾: Av.Sibipiruna, Lotes 13/21, Centro de Gestão Águas Emendadas, Edifício São Francisco, 1º Andar, EPR - Águas Claras - Brasília/DF - CEP: 71.928-720 - Brasil - Tel: +55(61)3213-7168 - e-mail: epr@caesb.df.gov.br

RESUMO

A Barragem do Rio Descoberto é responsável pelo abastecimento hídrico de cerca de 60 a 65% do Distrito Federal. Tendo em vista sua importância, o empreendimento de concreto tem que apresentar as melhores condições operacionais em termos de segurança, desempenho e estabilidade. O presente trabalho visa, baseando-se no relatório final de um minucioso estudo técnico para recuperação da barragem, especificar as principais patologias presentes na estrutura em questão e destacar as alternativas elencadas para solucionar cada anomalia. Também pretende apresentar os prós e contras de cada solução, sua viabilidade, assim como a matriz de decisão adotada e seus respectivos resultados.

PALAVRAS-CHAVE: Barragem, Rio Descoberto, Concreto armado, Patologias, Anomalias, Alternativas, Projeto, Estudo técnico, Abastecimento.

INTRODUÇÃO

A Barragem do Rio Descoberto, situada entre a região administrativa de Ceilândia, no Distrito Federal, e a cidade de Águas Lindas de Goiás, no estado de Goiás, é de importância estratégica para o abastecimento hídrico do Distrito Federal. Seu processo construtivo completo, desde projeto ao enchimento do reservatório, perdurou entre os anos de 1971 e 1974.

A Barragem é do tipo gravidade e, em sua totalidade, foi construída de concreto simples em um conjunto de 17 blocos com 15,00 m de comprimento e 1 bloco com 10,00 m, denominado bloco “A”. É composta, basicamente, pela galeria de inspeção e drenagem no interior do maciço de concreto, com acessos pela ombreira esquerda, onde situa-se o bloco “A”, e direita, pela Torre de Tomada d’ Água e por um vertedouro de soleira livre do tipo *Creager* com 55,00 m de comprimento, conforme ilustrado e indicado na figura 1.



Figura 1: Visão geral do empreendimento – Barragem do Rio Descoberto (A.BAR.RDE.001-D036 TOMO01/01, 2021).

Baseando-se em vistorias recentes (entre os anos de 2019 e 2020), no histórico de patologias observadas e intervenções desde a inauguração da barragem, considerou-se a necessidade de iniciativas de recuperação e manutenção da barragem. Para tal fim, iniciou-se a elaboração de estudos técnicos, cujo relatório final foi denominado “Barragem do rio Descoberto: Estudo Técnico Especializado. Produto D- Recuperação da Barragem Diretoria de Engenharia Superintendência de Projetos”, com código A.BAR.RDE.001-D036, sobre o qual baseia-se este trabalho.

No relatório, classificou-se as anomalias que oferecem risco a segurança e funcionamento em: problemas construtivos, que correspondem a maior causa das manifestações patológicas, de durabilidade, de estabilidade, de estanqueidade e de operacionalidade.

Quanto aos problemas construtivos, foram identificados, associados a mistura do concreto, brita de calcário com presença de pirita (sulfeto de ferro), quantidades exacerbadas de etringita e a presença de gipsita, esses minérios, e outros identificados nos agregados. Esses são naturalmente expansivos causando fissuração e desagregação do concreto ou potencialmente reativos com os álcalis, mesmo que em baixa escala até o momento da vistoria. Além disso, a ocorrência de juntas-frias (interrupção no lançamento do concreto) e outras deficiências no tratamento vêm causando percolação generalizada nas juntas de concretagem. Além disso, as juntas de concretagem foram feitas com a utilização de método antigo, em desuso atualmente, no qual entre uma camada e outra de concretagem é lançada uma camada com cerca de 5,00 cm de argamassa desprovida de agregado graúdo (brita).

Quanto aos problemas associados à durabilidade da barragem, observa-se fissuras tipo “pé-de-galinha” na Crista e no Bloco “D”, armaduras expostas na galeria de drenagem, desgaste superficial do concreto em contato com a água no paramento de montante, infiltrações significativas no paramento de jusante, percolação de água pelo maciço de concreto em seis blocos da barragem, além da lixiviação, de reações deletérias dos agregados com os álcalis do cimento e do desgaste do concreto no vertedouro e na bacia de dissipação.

Sobre ameaças a estabilidade dos maciços de concreto, notou-se, entre outros pontos, a grande percolação nas juntas horizontais de construção no paramento de jusante.

Quanto à estanqueidade, observou-se o desgaste devido à acidez da água, que ataca preferencialmente a brita de calcário, a argamassa do concreto e o material da junta de concretagem. Ressalta-se, ainda, o progressivo aumento das vazões de pico quantificadas na canaleta de montante que, associado a idade da barragem e/ou saturação do maciço, pode explicar as aberturas progressivas de caminhos de percolação.

Por fim, quanto aos problemas relacionados a operacionalidade, tem-se o emperramento da comporta e necessidade de ampliação do diâmetro da descarga de fundo, estado de conservação comprometido das comportas da tomada, que urge por substituição e a necessária verificação o estado de conservação das tubulações dentro da tomada d’água.

Considerando-se os problemas supracitados, elencou-se as patologias diretamente associadas e suas respectivas alternativas de solução ou minimização e organizou-se em 5 grupos, como indicado a seguir:

- Grupo 1 - Alternativas para minimizar a percolação de água pelo paramento de montante;
- Grupo 2 - Alternativas para reestabelecer fatores de segurança em condições extremas de operação;
- Grupo 3 - Alternativas para recuperação do vertedouro e bacia de dissipação;
- Grupo 4 - Alternativas de recuperação da tomada de água, descarga de fundo e equipamentos;
- Grupo 5 - Alternativa para minimização e controle de surgência na galeria.

Cada grupo reúne entre 3 e 4 alternativas, com a conveniência técnica e financeira de cada solução, a serem citadas e detalhadas ao decorrer deste trabalho.

METODOLOGIA

O relatório destaca que as alternativas obedecem a premissas estabelecidas pela área responsável pela operação da barragem em questão, das quais destacam-se que devem ser executáveis sem a desativação do reservatório, com a menor interrupção possível do abastecimento (poucas horas por dia) e sem o aumento de turbidez da água do reservatório. As soluções foram planejadas para serem executadas de forma independente, mas que atuem conjuntamente.

Das alternativas para minimizar a percolação de água pelo paramento de montante, reunidas no chamado Grupo 1, têm-se 4 soluções elencadas. A primeira (1.1) consiste na aplicação de uma manta elastomérica, especificamente uma geomembrana termoplástica flexível e impermeável, de tecnologia internacional, por toda a face de montante, visando vedar o concreto danificado, fissuras e juntas. O procedimento seria realizado por mergulhadores e a fixação com chapas de alumínio. A impermeabilização de toda a face de montante da barragem com a membrana elástica sintético impermeável drenada impede a penetração da água do reservatório e permite drenagem da água que tenha se infiltrado no corpo da barragem, possibilitando a secagem e proteção da estrutura de concreto existente.

Como segunda opção (1.2), considerou-se a execução de monolitos de face de concreto armado ancorados no Maciço da Barragem existente, através do lançamento submerso do concreto armado estanque e do auxílio de mergulhadores e de equipamentos de carga para a inserção dos moldes e armaduras.

Em terceiro lugar, sugeriu-se a execução de uma cortina de drenos no coroamento da barragem e aplicação de injeção com resina sintética nos drenos dos blocos com maiores percolações no paramento de montante (1.3), visando o fechamento de vazios comunicantes e o aumento da resistência mecânica do local, antecedida pela desobstrução dos drenos existente e perfuração de novos.

Por fim, a quarta opção (1.4) considera a execução de vedação submersa por montante com massa epoxídica, precedida da limpeza subaquática do paramento de montante com hidro jato com ultra alta pressão. Foi elegido o material, segundo análise custo-benefício, alta resistência química e mecânica, aderência, manuseio, cura subaquática, facilidade de manutenção e espessura suficiente para que os microrganismos e vida marítima não a penetrassem.

Para restabelecer fatores de segurança em condições extremas de operação, foram reunidas 4 alternativas no Grupo 2. Em primeiro lugar (2.1), foi proposto o aumento do peso com alteamento da crista. Segundo o relatório, no caso das Barragens de concreto gravidade, o próprio peso mantém a estabilidade atuando contra os empuxos hidrostáticos e a subpressão atuante na base, nessa lógica, o aumento da seção transversal da estrutura atua na segurança contra tombamento, deslizamento e flutuação, além de eliminar os esforços de tração na fundação. O aumento do coroamento é a forma mais viável de aumentar o peso, já que exige um volume razoável de concreto adicional.

A segunda opção (2.2) reúne o incremento de peso sobre a crista aliado à construção de contrafortes a jusante da barragem, visando atuar sobre os planos de rupturas horizontais da barragem.

A terceira alternativa (2.3) reúne métodos de incorporação de massa a jusante da barragem, como o enrocamento, com a consequente elevação da poropressão do maciço, ou o aumento da seção transversal da barragem por jusante através de um elemento vedante, que pode atuar contra as percolações.

Como última sugestão (2.4), considerou-se a implementação de novos tirantes monobarras no coroamento da barragem aliados aos existentes que podem ser aproveitados, para o aumento do peso total em vez do peso próprio e para a maior estabilidade estrutural.

Quanto a recuperação do vertedouro e da bacia de dissipação (Grupo 3), sugeriu-se 3 alternativas. A primeira (3.1) considera a incorporação de massa a jusante a partir da reconfiguração da calha de jusante em degraus (para facilitação do controle e minimização da cavitação) e da superfície da bacia de dissipação. A alternativa prevê a construção de uma ponte sobre o vertedouro que permitirá o acesso entre as ombreiras pela crista da barragem, elevando o peso total.

A alternativa seguinte (3.2) prevê a incorporação de massa a montante com a inserção do contrapeso e com a recuperação da ogiva, da bacia de dissipação e da calha do vertedouro. Consiste em uma operação necessária para a segurança em situações extremas e o incremento de massa a montante pela ogiva recebe a adição do efeito do empuxo sobre a área submersa.

A terceira alternativa (3.3) sugeriu a implementação de tirantes no vertedouro para aumento da massa e a recuperação da calha do vertedouro e da superfície da bacia de dissipação. Para essa alternativa, previu-se ações similares as da primeira (3.1), com exceção da ponte. Seriam instalados tirantes na ogiva do vertedouro, previstas a destruição da ogiva a jusante existente e a construção de uma passarela temporária para o acesso e a reformulação da calha vertedouro em degraus.

Para o Grupo 4, foram reunidas 3 alternativas de recuperação da tomada de água, descarga de fundo e equipamentos. A primeira (4.1) consiste na construção de um novo sistema de adução na ombreira esquerda, composto por tomada de água com três captações, túnel de adução, chaminé de equilíbrio, adaptação de captação junto a estação de bombeamento (EB) de água bruta e descarga de fundo para manutenção das vazões ecológicas.

A segunda alternativa (4.2) sugere a trepanação da tubulação de descarga de fundo, que manteria o abastecimento enquanto recupera-se a tomada de água e vice-versa, sem a interrupção do abastecimento diário.

A terceira (4.3) propõe a construção de uma nova tomada de água (torre) a jusante da antiga e a incorporação da descarga de fundo e a antiga tomada de água. Essa ação, conforme o relatório, permite o aumento do volume útil da barragem, a eliminação dos dispositivos de controle a montante (comportas submersas) e, ainda, possibilita que as manutenções e operações futuras dos dispositivos de controle (comportas/válvulas) sejam a seco.

O Grupo 5, engloba as ações essenciais que devem ser executadas na barragem, quais sejam, injeções de impermeabilizante na galeria, monitoramento das percolações, desobstrução dos drenos de fundação e substituição das comportas a seguir detalhadas. Em primeiro lugar (5.1), têm-se as injeções de elastômero em gel de poliuretano de baixa viscosidade dentro da galeria para diminuir a percolação da água, aliadas a injeção calda de cimento ou resina de poliuretano nos drenos ou, dependendo do caso, sua substituição pela nova cortina.

Como segunda proposta (5.2), tem-se o estabelecimento de um sistema de monitoramento das percolações da água com a integração de instrumentação adequada aliada a desobstrução dos drenos de fundação. O relatório considera que deverá ser alocada uma equipe especializada para identificar situações de riscos e acionar o setor responsável.

A última alternativa (5.3) consiste na substituição das comportas inoperantes da tomada de água por novas comportas vagão de sobrepor. Há a previsão de 20 dias para execução com paralisações sucessivas de 7 horas e a necessidade de uma balsa, apoio de mergulhadores e manutenção frequente.

Baseando-se nos pontos forte e fracos exposto e viabilidade orçamentária de cada alternativa exposta, desde a fase de projeto até a execução, foi implementada a Matriz de decisão. Segundo o relatório supracitado, as alternativas foram avaliadas em visitas técnicas, estudos e reuniões entre as empresas envolvidas e avaliadas segundo um sistema de pontuações/notas, variando entre 0 (obras/serviços mais “qualificadas e interessantes”) e 5 (mais complexas, de difícil execução, e/ou “indesejadas”), e Pesos, entre 1 e 4. Foi considerada, ainda, a prioridade das alternativas, visto a necessidade imediata do empreendimento e o investimento atribuído.

Os critérios e seus respectivos pesos serão apresentados a seguir.

- Necessidade de interrupção provisória do abastecimento (Peso 1);
- Durabilidade da solução prevendo um nível adequado de manutenção (Peso 1);
- Pontos preocupantes na execução da alternativa (Peso 2);
- Duração da intervenção na Barragem (Peso 2);
- Investimento aportado (Peso 4).

Na matriz adotada a vencedora é a que obtiver menor pontuação, ou seja, menos pontos preocupantes, menor tempo de intervenção, maior durabilidade e menor investimentos iniciais, conforme explica o relatório. Os pesos e as notas foram atribuídos de acordo com as tabelas a seguir.

Tabela 1: Notas para as principais avaliações na matriz de decisão.

Estimativa de tempo da Intervenção (Nota)	Interrupção no Abastecimento (Nota)*	Durabilidade com manutenção (Nota)	Investimento (Nota)
Até 6 meses (2)	Sem Interrupções (0)	10 anos (5)	1º maior valor (5)
6 - 12 meses (3)	Interrupções esporádicas e programada (3)	20 anos (3)	2º maior valor (4)
12-18 meses (5)	Interrupções sucessivas (5)	50 anos (0)	Valor médio (3) Valor logo acima do menor (2) Menor valor (1) Incertezas na quantificação (5)**

*Considera o reservatório cheio. **Depende da condição verificada na execução.

Fonte: (A.BAR.RDE.001-D036TOMO01/01, 2021, p.93).

Tendo em vista os planos de execução de cada alternativa, foram reunidos seus respectivos custos de execução. Foram licitados de acordo com a data-base 2020 da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (Base CAESB 06/2020) e do Sistema de Custos Referências de Obras (SICRO 07/2020) criado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), considerando um canteiro de obras padrão com 80 trabalhadores e os custos de administração local adotados segundo publicação da Coordenação Geral de Custos de Infraestrutura e Transportes (CGCIT) em 2018. O relatório salienta que os investimentos aportados nas alternativas foram estimados para análise de alternativas, sem o detalhamento dos orçamentos dos projetos básicos e executivos, somente serviços e obras, conforme consta na Tabela 2.

Tabela 2: Valores estimados das alternativas

Alternativa	Valor Estimado (em reais)
1.1	R\$ 62.711.245,73
1.2	Desqualificada
1.3	R\$ 3.454.042,10
1.4	R\$ 43.479.309,50
1.4a (Bloco I)	R\$ 1.956.531,70
1.4b (Bloco H)	R\$ 1.861.865,19
2.1	R\$ 13.292.020,49
2.2	R\$ 25.076.894,50
2.3	R\$ 33.637.627,79
2.4	R\$ 22.206.207,18
3.1	R\$ 8.822.039,59
3.2	R\$ 13.684.692,00
3.3	R\$ 20.023.524,04
4.1	R\$ 33.190.346,30
4.2	R\$ 1.421.228,55
4.3*	R\$ 17.237.920,13
5.1	R\$ 710.884,72
5.2	R\$ 2.135.310,97
5.3*	R\$ 17.308.486,57

* considera o custo de manutenção de 15 anos das comportas, taxa Selic 9,05% a.a.

+ considera empate técnico.

Fonte: (A.BAR.RDE.001-D036TOMO01/01, 2021, p.91).

RESULTADOS

Como mencionado, todas as alternativas consideraram o reservatório em operação durante as obras, sem rebaixamentos forçados, levando em conta adversas hidrometeorológicas associadas. O resultado da matriz traduz os pesos e notas atribuídas a cada alternativa levando em conta questões:

- Tempo;
- Materiais construtivos;
- Equipamentos empregados;
- Vida útil da solução;
- Menor tempo de paralisação de captação na tomada de água da barragem do rio Descoberto.

Dadas as condições, o resultado da matriz, com as notas associadas aos respectivos pesos das categorias, conforme mencionado, tem-se a tabela abaixo:

Tabela 2: Resultado da Matriz de Decisão – Notas

Alternativa	Pontos Preocupantes	Estimativa de tempo da intervenção	Nota da Interrupção no Abastecimento	Nota Durabilidade	Nota do Investimento	Nota final
1.1	2,86	3,00	0,00	0,00	5,00	3,17
1.2*	3,90	5,00	5,00	5,00	4,00	4,38
1.3	1,38	3,00	0,00	5,00	2,00	2,18
1.4	1,95	5,00	3,00	3,00	3,00	3,19
2.1	1,31	3,00	0,00	0,00	2,00	1,66
2.2	2,23	3,00	0,00	0,00	4,00	2,65
2.3	1,85	3,00	0,00	0,00	5,00	2,97
2.4	1,85	2,00	0,00	3,00	3,00	2,27
3.1	2,00	5,00	0,00	0,00	3,00	2,60
3.2	4,00	2,00	0,00	0,00	4,00	2,80
3.3	2,80	3,00	0,00	0,00	5,00	3,16
4.1	2,33	5,00	3,00	3,00	5,00	4,07
4.2	1,67	2,00	3,00	3,00	2,00	2,13
4.3*	2,42	3,00	3,00	3,00	4,00	3,26
5.1**	5,00	3,00	0,00	0,00	1,00	2,00
5.2*	2,13	2,00	0,00	5,00	1,00	1,73
5.3***	4,00	2,00	5,00	5,00	4,00	3,44

* Desqualificada tecnicamente

** Está fora do ranqueamento. Esta obra deverá ser implementada.

***Esta alternativa está em licitação, portanto, apesar de vencedora será excluída do preço final.

****Apesar da alternativa 4.2 ser a vencedora, a alternativa 5.3 poderá substituir essa alternativa em função da necessidade iminente de substituição das comportadas da tomada de água. Elas se encontram no final da sua vida útil.

+ considera empate técnico no quesito de nota de investimento. Portanto, ambas as soluções receberam nota iguais a 4 na nota investimento.

Fonte: (A.BAR.RDE.001-D036, TOMO01/01, 2021, p.109)

Após a análise íntegra das alternativas a partir dos critérios citados, a alternativas contempladas foram:

- 1.3 - Execução de Cortina de Drenos no Coroamento da Barragem e aplicação de Injeção com Resina Sintética nos drenos dos blocos com maiores percolações no paramento de montante;
- 2.1 - Aumento do peso com alteamento da crista;
- 3.1 - Incorporação de massa a jusante e reconfiguração da calha de jusante em degraus e superfície da bacia de dissipação, com incremento dos fatores de segurança através da construção de ponte e pilares sobre o vertedouro;
- 5.1 - Aplicação de Poliuretano dentro da galeria para diminuir a percolação da água;
- 5.2: Estabelecimento de sistema de monitoramento das percolações da água, instrumentação da barragem e desobstrução dos drenos de fundação;
- 5.3 - Substituição das comportas da tomada de água.

É importante notar que a alternativa 5.2 está fora da estimativa de preço, pois encontra-se em licitação para execução.

ANÁLISE DE RESULTADOS

É possível visualizar que a alternativa 1.2 foi a única desqualificada tecnicamente da matriz devido a inviabilidade. Nota-se, também, que apesar da alternativa 4.2 ser a vencedora na matriz, a alternativa 5.3,

torna-se estrategicamente mais atrativa em função da necessidade iminente de substituição das comportadas da tomada de água, pois se encontram no final da sua vida útil. Como conclusão, todas as alternativas do Grupo 5 receberam a atribuição de Obras Fundamentais, ou seja, serão obrigatoriamente implementadas, mesmo que em etapas diferentes, portanto, não são ranqueadas dentro do resultado da matriz. Quanto as soluções restantes, foram elegidas segundo a lógica da matriz de decisão elegida.

Para o Grupo 1, a primeira possibilidade (1.1), envolvendo a aplicação de uma manta elastomérica na face montante, fixaria a condição atual do parâmetro montante. Entretanto, trata-se de um material importado de alto custo e difícil previsão orçamentária, sem testes nacionais relevantes, aplicação e manutenção complexas e arriscadas, além de possível interferência no tapete drenante.

A segunda solução, envolvendo monólitos (1.2), por um lado, mantém a condição atual do montante, por outro lado, além do material importado de instalação complexa e subaquática, é de difícil previsão orçamentária e interfere em intervenções anteriores. Tendo em vista esses e outros pontos, a alternativa foi desqualificada.

A terceira opção (1.3), reunindo uma nova cortina de drenos e a injeção de resina sintética, minimiza a percolação com um baixo consumo de material implantado a seco, conquanto redobra a cautela com futuros casos de cavitação e pode afetar as intervenções anteriores. A solução atua na minimização da percolação e garantia de trabalho a seco e seguro. Em contrapartida, há a impossibilidade de precisão da quantidade de resina necessária para orçamentação e exige cautela na aplicação na tomada d'água e vertedouro para evitar cavitação futura.

A quarta alternativa (1.4), que inclui a vedação com massa epoxídica, não prevê grandes intervenções, mas a falta de testes com reservatórios cheios é um dos pontos preocupantes. Para a aplicação, exige-se um trabalho subaquático manual preciso por parte de mergulhadores, o que levanta a possibilidade de acidentes de trabalho. É de difícil previsão orçamentária devido a imprecisão da quantidade de material necessária.

Para as alternativas do Grupo 2, têm-se a primeira (2.1) que prevê o aumento do peso com alteamento da crista, o que melhoraria a segurança da barragem quanto ao tombamento, ao deslizamento e à flutuação, eliminaria os esforços de tração na fundação e evitaria um possível deslocamento da parede diafragma (implementada nos anos 2000 para minimização dos efeitos da percolação e outros fins). A solução é simples e inevitável para recuperação do vertedouro, por outro lado, pode interferir em intervenções antigas como os tirantes e a parede diafragma.

A segunda (2.2), que reúne a primeira à execução de contrafortes tem grande relevância em termos de segurança e consumo de concreto. Tal ação proporcionaria o aumento do coeficiente de segurança, obras por jusante e nenhuma interferência aos equipamentos da tomada de água e tirantes da crista, entretanto, apresenta riscos de rupturas em decorrência da percolação reduzida. Também, demandaria novos cálculos visto a mudança do centro de gravidade da barragem, os esforços concentrados no maciço, a capacidade das fundações e a conseqüente redução da poropressão nos planos de ruptura.

A terceira (2.3), que sugere a incorporação de massa a jusante da barragem é mais efetiva para o vertedouro, exige a adequação dos equipamentos da tomada de água, do conduto de adução de jusante e dos acessos a galeria de drenagem, além de muros de contenção. Em geral, a solução não é muito significativa quanto ao ganho de massa e exigiria obras complementares. Apesar dos pontos preocupantes, é ideal para o vertedouro e, nesse caso, necessariamente de concreto.

A quarta (2.4), sobre a implementação de novos tirantes no coroamento, alivia no volume de concreto a ser empregado para reforço e facilita nas manutenções, já que podem ser expostos. Se faz necessária a avaliação do impacto direto aos tirantes e a parede diafragma, especialmente quanto as perfurações.

No Grupo 3, a primeira alternativa (3.1) propõe a incorporação de massa, a reconfiguração da calha e da bacia de dissipação, além da construção de uma ponte e pilares. A solução propicia a diminuição da bacia de dissipação, facilidade de construção e acesso direto entre as ombreiras. Aliado a tal ação, o incremento dos fatores de segurança através da construção de ponte para acesso entre as ombreiras e pilares sobre o vertedouro, aumentando o peso total e reestabelecendo as condições de segurança. Todavia a execução pode ser comprometida pelo vertimento.

A segunda opção (3.2) prevê a incorporação de massa a montante e a reconfiguração da calha e da bacia de dissipação, que apresenta os mesmos pontos fortes e fracos que a sugestão anterior, exceto os que advêm das construções adicionais (ponte e pilares). Preservaria a cota de elevação da bacia de dissipação e permitiria a auto aeração do escoamento evitando processo de cavitação. Conquanto o vertimento pode interferir no processo.

A terceira (3.3), propõe a Implementação de tirantes no vertedouro, recuperação da calha do vertedouro em degraus e da superfície da bacia de dissipação. Além das vantagens e desvantagens da segunda opção (3.2), exige o corte da ogiva do vertedouro.

Das soluções do Grupo 4, a primeira (4.1) envolve a construção de um novo sistema de adução que proporcionaria maior segurança para o trabalho de manutenção das comportas da tomada d'água. A criação de um novo sistema auxiliar o existente e proporcionaria maior segurança, em compensação, pode implicar no decaimento da qualidade da água bruta. A principal vantagem é a continuidade do abastecimento público, isolando por completo a antiga tomada de água para recuperação.

A segunda (4.2), envolvendo a trepanação da tubulação de descarga de fundo e da tomada de água para intercalação entre captação para manutenção do abastecimento, possibilita a flexibilização do abastecimento o, mas restringe a captação de água em diferentes níveis de água no reservatório.

A terceira (4.3), que prevê a construção de uma nova tomada de água, aumentando o volume útil, eliminando as comportas submersas existentes e, conseqüentemente, a facilitando da manutenção e operação. Além disso, flexibilizaria o abastecimento entre a tomada de água e a descarga de fundo, substituição dos equipamentos da tomada de água, dispensa manutenção se bem impermeabilizadas, permitiria a manutenção dos equipamentos hidromecânicos a seco e poderia ser implementada sem a interrupção da operação. Porém, também restringiria a captação de água em diferentes níveis e levanta a hipótese de falha no abastecimento durante a execução.

O Grupo 5, que reúne intervenções essenciais a serem implementadas, foi priorizado na análise. A primeira sugestão (5.1), que propõe a aplicação de Poliuretano dentro da galeria para diminuir a percolação da água. Essa ação pode ser repetida várias vezes, facilitando a manutenção, mas dificultando a previsão orçamentária e, ainda, exige a execução em local confinado.

Como segunda proposta (5.2), tem-se o estabelecimento de um sistema de monitoramento das percolações da água com a integração de instrumentação adequada aliada a desobstrução dos drenos de fundação. Tal proposta é inevitável a curto prazo devido as vazões inferidas e possui um custo menor de implantação. Em contrapartida, o tempo de implementação é incerto e exige treinamento.

A última alternativa (5.3), que consiste na substituição das comportas inoperantes da tomada de água por novas comportas vagão de sobrepor. A operação será totalmente submersa, demandando equipamentos adicionais (balsa, rebocador para os equipamentos, dentre outros). Estão previstas paralizações sucessivas do abastecimento durante 2 dias e um plano de contingência devido ao risco de queda da qualidade.

As obras selecionadas foram as alternativas 1.3, 2.1, 3.1, 5.1, 5.2 e 5.3, totalizando R\$ 43.587.473,46. A alternativa 5.2 está fora da estimativa de preço, pois, encontra-se em licitação para execução. Apesar da alternativa 4.2 ser a vencedora na matriz pelo custo, a alternativa 5.3, consegue substituir a segunda colocada 4.3, tornando-se mais atrativa em função da necessidade iminente de substituição das comportadas da tomada de água. Elas se encontram no final da sua vida útil.

Após a análise das alternativas, notou-se a necessidade de se eleger etapas prioritárias, por motivos de previsão de paradas operacionais, determinação da época da intervenção e a disponibilidade de recursos. Visto a relevância do funcionamento contínuo da estação de água bruta dependente da Barragem em estudo, se faz necessário atentar-se as recuperações imediatamente necessárias para o funcionamento seguro e, conseqüentemente, a correta veiculação do investimento inicial. A partir desses fatos, as soluções elegidas classificadas como prioritárias foram organizadas em etapas de implantação.

A chamada etapa 1 compreende a execução de cortina de drenos no coroamento da barragem e aplicação de injeção com resina sintética (1.3), o aumento do peso com alteamento da crista (2.1) e a aplicação do poliuretano dentro da galeria (5.1). A etapa 2, engloba a incorporação de massa a jusante e reconfiguração com vertedouros em degraus/ recuperação da bacia de dissipação (3.1). Por fim, a etapa 3 que abrange a substituição das comportas da tomada de água (5.3).

CONCLUSÕES

Dado o exposto, é notável a extrema importância dos estudos de alternativas, a partir de vistorias precisas, para a ponderação de alternativas viáveis, especialmente em um setor fundamental como o de abastecimento hídrico. Tal estudo deve ser detalhado e contar com cotações e anteprojetos gráficos, como no caso da Barragem do Rio Descoberto.

A utilização da matriz de decisão possibilitou a análise de critérios associados a métodos e riscos construtivos, duração da obra, necessidade de interrupção de abastecimento, durabilidade e manutenção, além de custos de implantação cujos pesos foram determinantes para a seleção das alternativas vencedoras.

A partir do estudo de alternativas de recuperação da Barragem do Descoberto, foi possível selecionar soluções técnicas para cada grupo de atuação, comparando e analisando vantagens e desvantagens de cada uma das alternativas. Finalmente, foi possível se estimar o custo total das intervenções na Barragem com vistas a restabelecer por completo as condições de estabilidade, estanqueidade e de operação.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL (CAESB), MAGNA ENGENHARIA LTDA. **A.BAR.RDE.001-D036**: Barragem do rio Descoberto: Estudo Técnico Especializado. Produto D- Estudo de Alternativas para Recuperação da Barragem, volume 04, TOMO 01/01, 2021. 274 p.