

Avaliação de segurança em barragem por inspeção visual: estudo de múltiplos casos no Estado do Ceará

The Evaluation of Safety Assessment in dams by visual inspection: a multiple case study in the State of Ceará

Maria Bernadette Frota Amora Silva
bernadetteamora@gmail.com
Centro Universitário Christus-Unichristus

Francisco Chagas da Silva Filho
fchagas@ufc.br
Universidade Federal do Ceará

Resumo

Tema recorrente em reuniões com especialistas nacionais e estrangeiros, a segurança de barragens caracteriza-se pela capacidade de antecipar informações da barragem sob análise e, com base nelas, evitar a ocorrência de rupturas ou acidentes que podem resultar em impactos socioeconômicos e ambientais de grandes dimensões. Este trabalho teve por objetivo investigar, através de uma inspeção visual, as condições de segurança em três barragens de terra cearenses. Mediante os objetivos e finalidades deste estudo, foi realizada uma pesquisa aplicada, exploratória e descritiva, com base em corte transversal, em que se considerou uma amostra não probabilística e por conveniência. A partir do memorial descritivo e fotográfico resultante da inspeção formal, detectou-se existir uma nítida falta de manutenção periódica nas barragens analisadas. Entretanto, apesar das ocorrências detectadas, não foram identificados fatores de risco, tais como erosões de grande porte, rachaduras extensas, *piping*, dentre outros que pudessem vir a provocar incidentes/acidentes imediatos.

Palavras-chave: Barragens. Segurança. Anomalias.

Abstract

Recurring theme in meetings with national and foreign experts, the dam safety is characterized by the capacity of the dam to provide information under the basis of this analysis and avoid the occurrence of breakdowns or accidents that may result in social, economic and environmental impacts of large dimensions. This study aimed to investigate, through a visual inspection, security conditions in three earth dams in Ceará. Through the objectives and purposes of this study was carried out applied research, exploratory and descriptive, based on cross-section where it was considered a non-probabilistic sample. From the resulting photographic and descriptive history of the formal inspection was detected that there is a distinct lack of regular maintenance on dams analyzed. However despite the occurrences detected, were not identified risk factors, such as erosion of large, extensive cracking, piping, among others, which could eventually lead to incidents / accidents immediately.

Keywords: Dams. Security. anomalies.

1 Introdução

No Brasil, a preocupação maior dos conflitos pela água é com o semiárido nordestino, que tem como principal característica as secas frequentes resultantes da interação de vários fatores, como topografia, temperatura, ventos, correntes marinhas, insuficiência e irregularidade na distribuição de chuva, dentre outros.

Historicamente, a construção de barragens tenta estabelecer um convívio com os períodos de estiagem. Nesse contexto, o Departamento Nacional de Obras Contra Secas (DNOCS), que em outubro de 2009 completou o seu centenário, é um órgão de referência para os brasileiros. Responsável pela construção de centenas de barragens, essa instituição construiu no Ceará o reservatório mais antigo do Brasil, o Cedro, tombado como patrimônio histórico da humanidade.

O estado do Ceará, formado por terrenos com embasamento cristalino, rasos, pouco férteis, com substrato impermeável e pedregoso, tem 93% de seu território inserido na região semiárida nordestina (CEARÁ, 2005). Caracterizado pelo estigma da seca, o estado apresenta temperaturas médias anuais elevadas, variando em torno de 22°C a 32°C (CEARÁ, 2010), bem como irregularidades pluviométricas espaciais e temporais. Em termos temporais, a concentração do período chuvoso ocorre em apenas três ou quatro meses (fevereiro a maio). Essas características climáticas, pluviométricas e geomorfológicas predominantes no estado, aliadas à elevada taxa de evaporação, provocam períodos de seca que obstaculizam as atividades e a vida de parte da população nele residente.

Nessas condições, segundo Silva Filho e Frutai (2008), em geral, as barragens cearenses têm como características uma composição de poucos materiais, às vezes homogênea com sistema de drenagem interna. Sua fundação, na maioria das vezes permeável, é normalmente realizada por uma interceptação total do estrato, podendo esta ser feita pelo próprio material utilizado na composição do maciço. Os autores esclarecem ainda que, anteriormente, o projeto de uma barragem seguia as indicações do *Bureau of Reclamation* dos Estados Unidos da América. Mais recentemente, o projeto passou a ser delineado por questões locais, a partir de estudos de investigação experimental de laboratório e de campo. Hoje, são construídas barragens com concreto compactado a rolo, que têm a vantagem de represar as águas mesmo antes de sua conclusão.

Independentemente das indicações delimitadoras dos projetos de uma barragem, alguns fatores podem maximizar o risco de incidentes ou até, em casos extremos, potencializar o risco de rupturas, causando perdas humanas, ambientais ou socioeconômicas de grandes proporções. Deficiências de projeto ou construção, bem como a ausência de uma manutenção adequada, são alguns desses fatores. Nesse contexto, estabeleceu-se o seguinte questionamento: quais as condições reais das barragens construídas pelo DNOCS no estado de Ceará?

Sob essa perspectiva, o objetivo geral do presente artigo foi investigar, através de uma inspeção visual, as condições reais de barragens cearenses construídas pelo DNOCS em relação à segurança estrutural e operacional. Como desdobramento desse objetivo, buscou-se:

- a) apresentar as condições físicas de três barragens com menos de cinco e mais de cinquenta anos;
- b) exemplificar as principais ocorrências de anomalias;
- c) recomendar reparos corretivos.

Destaca-se que esse tema possui pouco estudo disponível na comunidade técnica cearense, sendo, portanto, justificada a sua realização. Adicionalmente, a pesquisa pode contribuir de forma significativa às tomadas de decisão por parte dos gestores de recursos hídricos.

No intuito de responder aos questionamentos, o presente trabalho está composto por cinco seções. A primeira é a própria introdução, na qual se contextualiza a situação estudada no trabalho, bem como seus objetivos. A seção 2 apresenta os aspectos gerais sobre a segurança de barragens no Ceará. Na seção 3, é apresentada a metodologia da pesquisa. Na seção 4, é feita uma análise descritiva dos dados coletados. Por fim, as conclusões gerais do trabalho e os encaminhamentos que a pesquisa propiciou são apresentados na seção 5.

2 A segurança de barragens

Embora não se possa deixar de considerar os seus custos sociais, econômicos e ambientais, as barragens desempenham um papel significativo para a humanidade, por serem capazes de aumentar o abastecimento de água da população durante os períodos de seca, de expandir a geração de energia hidrelétrica e a agricultura irrigada, bem como de minimizar o risco de inundações.

Por definição, uma barragem é uma “estrutura construída transversalmente a um rio ou talvegue com a finalidade de obter a elevação do seu nível d’ água e/ou de criar um reservatório de acumulação de água seja de regulação das vazões do rio, seja de outro fluido” (BRASIL 2002, p. 15).

Campos (1997, p. 273) argumenta que, tratando-se de Brasil, “as características físicas e climáticas do Nordeste Semi-Árido fazem com que a presença da açudagem seja condição *sine qua non* para habitação da região por um contingente razoável de habitantes”. Tal concepção é reforçada por Silva e Gonçalves (2005, p. 82): “Barragens são a solução técnica mais recorrentemente implementada no semi-árido como síntese mitigadora de dois diferentes tipos de desastres, situados em pólos opostos e que marcam o modo de vida sertanejo: as secas desoladoras e as cheias devastadoras.”

Segundo Menescal *et al.* (2004), o Brasil possui cerca de 300.000 barragens, das quais 30.000 estão construídas no estado do Ceará. Independentemente de sua localização, elas têm um prazo de vida útil que só pode ser prolongado com esforços especiais de manutenção e recuperação de seus mecanismos e estruturas. Em caso contrário, a integridade vital da obra pode ser ameaçada, pondo em risco a segurança da população.

Quando se analisa a questão da segurança de barragens, conforme afirma Silva e Gonçalves (2006), deve-se abandonar o escopo das certezas pré-fabricadas e assumir que “algo pode dar errado”. Esses autores afirmam que as barragens brasileiras de Orós, Armando Ribeiro Gonçalves e Camará entraram em cena para, em seguida, apresentarem-se como tragédia em décadas diferentes, por motivos diferentes, mas com uma origem comum: a confiança irrestrita na racionalidade técnica.

Na interpretação de Valencio (2007), a ruptura da barragem de Camará, poderia ter sido evitada. O laudo técnico emitido afirmou que antes da ruptura a barragem apresentava sinais de deficiência nas condições de percolação d’água e carreamento de partículas, sinais esses que, por falta de monitoramento e observação, não foram solucionados.

Além das conseqüências com prejuízos diretos, como a perda de vidas humanas e os danos materiais no açude e nas zonas inundadas, há ainda que considerar os prejuízos indiretos resultantes da interrupção das atividades produtivas nas zonas afetadas, da impossibilidade de exploração dos recursos hídricos e os resultantes traumas psicológicos e físicos nos sobreviventes. (MENESCAL *et al.*, 2005a, p. 93)

Nessa perspectiva, acidentes em barragens são complexos, exigindo das autoridades competentes a adoção de rigorosos controles em relação à segurança. Vale destacar que não há uma definição única que possa ser aplicada ao termo “segurança de barragem”. Entretanto, no posicionamento de diversos autores da literatura acadêmica, essas definições contemplam basicamente os mesmos aspectos, conforme pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1 - Definições de segurança de barragem

Autores	Segurança de barragem
Brasil, 2005	Capacidade da barragem de satisfazer as exigências de comportamento necessárias para evitar incidentes e acidentes que se referem a aspectos estruturais, econômicos, ambientais e sociais.
Menescal <i>et al.</i> (2004)	Condição em que a ocorrência de ameaças impostas por uma barragem à vida, à saúde, à propriedade ou ao meio ambiente se mantém em níveis de risco aceitáveis.
Lei 12.334 (BRASIL, 2010)	Condição que vise manter a sua integridade estrutural e operacional e a preservação da vida, da saúde, da propriedade e do meio ambiente.

Fonte: elaboração dos autores.

Dentre os mais importantes organismos que dedicam atenção à segurança de barragens encontram-se o Bureau of Reclamation e a International Commission of Large Dams (ICOLD b). No Brasil, em 1983, as diretrizes que versam sobre a segurança de barragens foram publicadas pelo representante da ICOLD, o Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB) (FRANCO, 2008).

Ressalta-se que até pouco tempo atrás não havia no Brasil uma legislação no âmbito da segurança de barragens. Porém, em 20 de setembro de 2010, foi promulgada a Lei nº 12.334, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), sendo aplicada em barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais que apresentem pelo menos uma das seguintes características: a) altura do maciço maior ou igual a 15m (quinze metros); b) capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m³; c) reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis; d) categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas. De acordo com o Art. 4º, §1, dessa lei, devem-se considerar as fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação e desativação de uma barragem (BRASIL, 2010).

É necessário estar sempre atento quanto às condições de segurança estrutural e operacional das barragens, identificando os problemas e recomendando reparos, restrições operacionais e/ou modificações quanto às análises e aos

estudos para determinar as soluções adequadas (BRASIL, 2002). Na interpretação de Cruz (2005) *apud* Buzzzi (2007), essas condições de segurança são detectadas através de inspeções visuais, auscultação geodésica, deslocamentos verticais e/ou horizontais e levantamentos batimétricos.

As inspeções visuais, de acordo com Menescal *et al.*, (2005b) têm como objetivo identificar anomalias ou preocupações que afetam potencialmente a segurança da barragem. De acordo com o nível de complexidade e gravidade da situação enfrentada, essas inspeções podem ser classificadas em quatro tipos (BRASIL, 2005):

a) Inspeções rotineiras: executadas pelas equipes locais de operação e manutenção. Realizadas semanalmente ou mensalmente, geram comunicações de eventuais anomalias detectadas.

b) Inspeções formais: devem ser realizadas por equipes técnicas do proprietário responsáveis pelo gerenciamento da barragem ou por seu representante, de forma semestral ou anual, obedecendo a um *check-list*. Resultam em relatórios contendo as observações e recomendações.

c) Inspeções especiais: executadas por especialistas da área relativa a algum problema detectado. Não existe frequência para a sua realização, a qual requer a detecção de um problema que exija a avaliação de um especialista.

d) Inspeções de emergência: acontecem em resposta a uma emergência, portanto, não existe frequência para a sua realização, executada por especialistas das diversas áreas relativas à emergência em curso.

Essas inspeções devem ser realizadas ao longo da vida útil de uma barragem, pois acreditar que ela será sempre segura é uma falácia. Com os conhecimentos hidrológicos, geológicos e de sismologia atuais, barragens que outrora foram consideradas seguras podem não mais se enquadrar nessa classificação. Sendo assim, procedimentos para acompanhamento *a posteriori* de uma barragem, como a inspeção visual, devem ser sempre estabelecidos. Zuffo (2005, p. 7) lembra a lista de itens delineada pelo Bureau of Reclamation (1987), com o intuito de identificar as condições que podem ameaçar a integridade vital da estrutura:

1. Materiais de construção: concreto, rochas, solo, cimento, metais, madeira, revestimentos, borrachas e seladores de juntas. Condições gerais que evidenciam perigo: cavitação, infiltração, vazamentos, drenagem, ação do gelo, instabilidade e tensão / deslizamento.
2. Deficiências de operação e manutenção: equipamentos elétricos e mecânicos, acessibilidade e visibilidade, crescimento de plantas e animais que fazem tocas, tensão/ deslizamento, instabilidade, infiltração e descontinuidade de juntas e fundação.
3. Evidências de deficiências em barragens de material solto: tensão/deslizamento, instabilidade, vazamentos, erosão, fundação e riscos de ruptura nos equipamentos e estruturas associadas.
4. Evidência de deficiências em vertedores: estrutura hidráulica de controle, canal de aproximação, comportas, pontes, conduto de descarga, estruturas terminais, canais de restituição, plataformas operacionais e guindastes, poços, condutos e túneis.
5. Evidências de deficiências nas saídas d'água: canais de aproximação, estruturas de tomada d'água, câmaras das comportas, comportas, válvulas, guindastes, controles, equipamentos elétricos e dutos de ar, estruturas terminais, canais de restituição e plataformas de resíduos.
6. Condições adversas no entorno do reservatório: reservatório, taludes do reservatório, proximidade a jusante, curso d'água e entorno regional.

Em linhas gerais, em busca de se obter quaisquer evidências, como deslocamento, rachaduras, pontos molhados, erosão superficial e/ou buracos de animais, que possam vir a comprometer o estado de segurança da obra, é importante realizar uma inspeção contemplando toda a superfície da estrutura: a crista, para encontrar depressões que possam diminuir a borda livre, e os taludes de montante e de jusante, à procura de qualquer sinal de protuberância ou outro desvio de planos lisos e uniformes. Portanto, é recomendável que se caminhe sobre os taludes e o coroamento tantas vezes quanto sejam necessárias, de forma a observar a superfície da área claramente (BRASIL, 2002).

Em barragens de terra, devem-se realizar inspeções nas seguintes localizações: barragem, sangradouro/vertedouro, reservatório, torre da tomada d'água, caixa de montante, galeria, estrutura de saída e medidor de vazão da anomalia. Detalhes quanto ao preenchimento da ficha de inspeção dessas barragens para a identificação/acompanhamento das evoluções das anomalias através da indicação de sua situação, magnitude e nível de perigo podem ser observados no *Manual de Preenchimento da Inspeção de Barragem* (BRASIL, 2005).

O estudo “Deterioração de Barragens e Reservatórios”, desenvolvido pelo ICOLD, apresenta 261 diferentes tipos/ causas de acidentes – em linhas gerais, os mais predominantes são o galgamento e falhas na fundação. Essas causas são também reconhecidas por Serafim (1981), que afirma serem as principais causas de ruptura de barragens o galgamento, a erosão interna (*piping*) e as falhas estruturais.

Por definição, galgamento é a situação em que o nível d’água do reservatório sobe muito e provoca a passagem por cima do topo da estrutura da barragem, de montante para jusante. Como as barragens de terra, por serem construídas com materiais susceptíveis à erosão, não são construídas para transbordar, o transbordamento pode gerar o carreamento desse material, originando o processo de ruptura (USA, 2005).

O *piping* é um fenômeno de erosão interna que progride de jusante para montante na forma de um tubo, ocasionada por uma descontrolada infiltração de água no maciço (USA, 2005). A erosão interna pode ser originada pelo apodrecimento de raízes de árvores mortas e tocas escavadas por insetos ou animais, principalmente roedores e caprinos (NOVAK et al., 1997; BORRI GENOVEZ, 2004 apud ZUFFO, 2005).

Falhas estruturais no vertedouro ou outras estruturas que fazem parte do contexto da barragem podem levar à ruptura. Rachaduras e deslizamentos são os sinais mais comuns de falência estrutural, exigindo que medidas de emergência sejam tomadas, com o intuito de garantir a segurança da barragem. As autoridades competentes devem ser notificadas (USA, 2005).

Para o levantamento de alguns acidentes e incidentes em barragens no Ceará, Menescal *et al.* (2001) desenvolveram pesquisas sobre temas correlatos em revistas, jornais, anais de congressos, publicações, livros, teses etc., visando obter informações técnica a respeito das obras. Essa pesquisa constatou que os acidentes/incidentes no território cearense relacionavam-se a surgência à jusante (oito ocorrências), trincas (cinco ocorrências), galgamento (quatro ocorrências) deslizamento de taludes e erosões (duas ocorrências cada), além de seis outros acidentes atribuídos a causas distintas das aqui citadas.

As evidências mostram que as falhas muitas vezes resultam da atuação em cadeia de diferentes agentes e podem ser explicados por mais de uma maneira plausível. Assim, de acordo com a ICOLD (1987), embora os fatores de engenharia sejam os mais importantes para a segurança de uma barragem, as deteriorações (anomalias) são também provenientes de erro humano ocorridos nas fases de projeto, construção e operação, quando a negligência, manutenção insuficiente e procedimentos operacionais inadequados são fatores preponderantes. Essas falhas iniciam normalmente com alguma anomalia não detectada pela equipe técnica e consequentes agravamentos que levam a barragem à situação de perigo ou, eventualmente, a desastres. É aconselhável, portanto, que a escolha da equipe responsável pela segurança da barragem seja baseada na competência e experiência dos profissionais, em detrimento ao preço ou custo. A experiência é um dos caminhos mais efetivos para prevenir erros que podem ser fatais.

Menescal *et al* (2001) também se referem ao custo quando afirmam que em engenharia é bastante comum o dilema referente à construção e manutenção de uma barragem. Segundo os autores, o fato de se reduzir os custos do investimento inicial implica na elevação dos custos de manutenção e monitoramento. Daí surge o problema de se ter recursos para a obra e não tê-los para a sua manutenção.

De uma forma sucinta, a literatura acadêmica mostra que os custos relacionados aos casos de rupturas de uma barragem são bem maiores do que aqueles que garantem a sua segurança

3 Caracterização da pesquisa e metodologia

Para a realização deste trabalho, realizou-se uma revisão na literatura acadêmica nacional e internacional referente ao tema da segurança de barragens. Posteriormente, mediante os objetivos e finalidades deste estudo, optou-se pela realização de uma pesquisa aplicada, exploratória e descritiva, com base em corte transversal, utilizando variáveis de cunho qualitativo e quantitativo, conforme descrito por Malhotra (2001), Cooper e Schindler (2004). Cooper e Schindler (2004) afirmam que tanto a pesquisa pura quanto a aplicada são baseadas na solução de um problema, mas esta é muito mais voltada à tomada de decisão gerencial.

Segundo Corrar e Theophilo (2004), população é a totalidade de elementos que possuem em comum determinadas características de interesse da pesquisa, sendo a amostra um subconjunto que pode representá-la caso haja limitações econômicas ou temporais. Essa amostra é proveniente de uma amostragem não probabilística, quando não se conhece a probabilidade de que um elemento venha a ser selecionado.

Nesse contexto, a população da presente pesquisa foi formada por todas as barragens construídas pelo DNOCS no estado do Ceará. Devido às limitações de ordens temporais, oriundas dos deslocamentos necessários às vistorias de barragens situadas em municípios distantes da capital cearense, considerou-se uma amostragem não probabilística e por conveniência, composta por três barragens da referida população, tendo como critério de inclusão o tempo de construção, com mais de 20 anos. As barragens consideradas foram as de Paulo Sarasate, Arrojado Lisboa e Roberto Costa.

Com a finalidade de avaliar as condições de segurança de cada uma dessas barragens, realizou-se, em 2007, a coleta de dados através de uma vistoria técnica de uma equipe composta por um dos autores desta pesquisa e um aluno do curso de Engenharia.

O trecho referente a cada uma dessas barragens foi percorrido a pé, examinando-se minuciosamente todos os detalhes encontrados. Com o intuito de tecer as observações da forma mais fidedigna possível, além do preenchimento das fichas de inspeção de barragens fornecidas pelo Ministério da Integração Nacional, elaborou-se um material fotográfico das condições físicas dessas barragens e um texto resumido contendo as informações mais pertinentes referentes ao observado na inspeção visual.

Ressalta-se que o complexo das barragens vistoriadas foi analisado por trechos, iniciando-se pelas seguintes localizações: barragem (taludes e coroamento), vertedouro, reservatório, prosseguindo até as torres de tomada d'água (considerando somente a parte referente à estrutura).

4 Apresentação e análise dos dados

4.1 Barragem Paulo Sarasate, reservatório Araras

A barragem Paulo Sarasate, concluída em 1958 e localizada a cerca de 250 km da capital cearense, é uma barragem do tipo zoneada, de múltiplos usos, dentre eles, a perenização e o controle das cheias do rio Acaraú, além da geração de energia elétrica, irrigação e piscicultura. O seu vertedouro é do tipo descarga livre, dotado de um perfil Creager, e a tomada d'água é constituída por uma galeria dupla, em concreto armado.

A inspeção de campo a essa barragem evidenciou presenças de arbustos e vegetações rasteiras nas seguintes estruturas: talude a montante, coroamento, talude a jusante, região a jusante, canal de restituição e de aproximação. O crescimento dessa vegetação, além de dificultar o acesso necessário às atividades de operação de manutenção e emergência, pode acarretar possíveis consequências, como o encorajamento da presença de animais que busquem nessa vegetação a sua fonte de alimentação; danos às estruturas ou vazios ocasionados pelo crescimento das raízes; entupimento de tubos perfurados de drenagem, dentre outros. Nesse sentido, recomenda-se que sejam realizadas ações corretivas, a fim de erradicar essa vegetação (BRASIL, 2005)

Na percepção dos autores da presente pesquisas, três principais anomalias detectadas nesse barramento foram: o deslocamento do rip-rap, surgência anormal de água na região de jusante da barragem e a danificação na estrutura de fixação da cota da soleira.

O deslocamento do rip-rap, responsável pela proteção do talude de montante, por estar deslocado para o pé do talude, permitindo a ocorrência de processos erosivos, pode reduzir a largura e altura do aterro, devido à ação das ondas nas áreas desprotegidas. Portanto, como ação corretiva, sugere-se que seja realizada a sua recuperação, de preferência sob a orientação de um engenheiro geotécnico que oriente os trabalhos de recomposição do rip-rap, utilizando os critérios exigidos na literatura, principalmente com relação ao tamanho e graduação do enrocamento e transições.

Na região de jusante da barragem, diante do surgência de água na faixa de 10 m do pé da barragem (Figura 1), é lícito afirmar que, como forma de se evitar uma possível saturação do maciço, deverão ser realizadas investigações de monitoramento da quantidade do fluxo, bem como a demarcação da área molhada. A inserção de instrumentos para medidas de valores de nível da água, poropressões e volumes escoados também poderão fornecer dados importantes para a estimativa dos problemas e ações corretivas eficientes, tais como estruturas drenantes para proteção do maciço e de sua fundação.

Figura 1 - Surgência de água na região de jusante



Os danos observados na estrutura de fixação da cota do soleira (na seção em perfil tipo Creager), apresentados na Figura 2, possivelmente causados pela ação das intempéries, reações álcali-agregados etc., não podem ser desprezados, pois propiciam o aparecimento da mais generalizada patologia do concreto, ou seja, a corrosão das armaduras. Essa corrosão pode ocasionar expansão, fissura e lascas no concreto, tornando a estrutura mais susceptível a esse tipo de deterioração. É sempre bom lembrar que a vida útil dessa estrutura depende, dentre outros fatores, da sua manutenção.

Com esses danos, as vazões de projeto do vertedouro ficam em prejuízo, podendo atingir o maciço por prejuízo na borda livre (distância vertical entre a crista da barragem e o nível máximo de água no reservatório) da barragem. Assim, recomenda-se que o concreto passe por um processo de recuperação e reparo superficial. Em caso de exposição das armaduras, deve-se proceder a sua limpeza e, posteriormente, o seu recobrimento com argamassa.

Figura 2 - Estrutura de fixação da cota da soleira



Com relação aos outros aspectos inspecionados, todos estavam em condições satisfatórias de conservação. Entretanto, o reservatório se encontrava sem régua indicadoras do nível d'água (régua limnimétrica). Essa ferramenta tem como função disponibilizar as variações do nível de água no reservatório, controlando a borda livre. Convém destacar que uma barragem deve ter sempre uma borda livre suficiente para impedir o transbordamento por ondas geradas pelo vento em ação na superfície do lago. Diante desse fato, recomenda-se a colocação dessa importante ferramenta de gestão de reservatórios.

4. 2 Barragem Roberto Costa

Distante aproximadamente 3,5 km de Iguatu, no município do Ceará, a barragem Roberto Costa, do reservatório Trussu, apresenta as seguintes características: barragem do tipo terra homogênea, vertedouro do tipo soleira espessa e tomada d'água com galeria.

Essa barragem é acessada através de uma estrada parte pavimentada e parte não pavimentada, com bom estado de conservação na data da vistoria. Um dos problemas encontrados foi a existência de árvores na extensão do talude de montante e problemas no rip-rap, decorrentes do deslocamento das pedras para o pé do talude. Esses mesmos problemas foram evidenciados no talude de jusante, porém, acrescidos de obstruções parciais e danos em algumas canaletas (tipo “espinha de peixe”), impedindo que a sua função de proteção fosse eficazmente realizada, conforme apresentada na Figura 3. Foram observados ainda alguns pontos de erosão superficial, causando algumas fendas horizontais e verticais no talude de jusante.

Figura 3 - Vista da região de jusante



De uma forma sucinta, na situação em questão, as canaletas de drenagem deverão ser desobstruídas, caso contrário, o fluxo d'água, impedido de passar por essas canaletas, transbordará para o talude, provocando a intensificação da erosão superficial e podendo atingir profundidades mais expressivas, comprometendo a integridade do maciço. Em consequência, a evolução pode afetar a drenagem interna e a estabilidade do talude de jusante. O fluxo conduzido pelo aterro pode ser o responsável pelas fendas encontradas no talude. Sendo assim, a erosão deve ser contida com a vedação dessas fendas, sob pena de gerar uma deterioração do talude e, posteriormente, a ruptura da estrutura.

Na região de jusante da barragem, verificou-se a presença de arbustos, vegetação rasteira e surgência de água, além do previsto na faixa de 10 m do pé da barragem. Considerando-se as consequências da presença de arbustos, já comentadas anteriormente, recomenda-se a remoção deles, tendo o cuidado de periodicamente realizar esse serviço para evitar a reincidência da anomalia.

Mau funcionamento no sistema de drenagem interna, material da fundação com alta permeabilidade e caminhos preferências de percolação (possivelmente causados pela presença de arbustos) podem ser as causas da surgência. Considerando-se que o fluxo de água pode aumentar, levando à erosão do maciço e à ruptura da barragem, torna-se necessária uma demarcação da área molhada, bem como uma medição do fluxo da água percolada. No caso de um aumento da vazão ou da área envolvida, o nível do reservatório deverá ser reduzido, assim permanecendo até a regularização ou o cessamento do fluxo.

No coroamento, o principal problema detectado, além da presença de vegetação rasteira nas proximidades do meio-fio, foi um trecho com afundamento em torno de 15 cm, localizado a 75 m à direita da casa de comando da tomada d'água por quase toda a largura da crista (Figura 4), juntamente com um furo de profundidade de aproximadamente 80 cm (Figura 5).

Figura 4 - Afundamento no coroamento



Figura 5 - Buracos no coroamento



Várias causas podem ser atribuídas ao afundamento na crista de uma barragem, a saber: terraplenagem final inadequada, erosão eólica (pouco provável já que tem fissuras), erosão interna do maciço dentre outras. Portanto, tendo-se em vista que esses afundamentos podem reduzir a folga ao transbordamento, a causa deve ser investigada, para posteriormente vir a ser solucionada. Agindo dessa forma, o problema não tornará a se repetir. Além da identificação da causa, deve-se estabelecer marcos ao longo da crista, objetivando-se a localização e a extensão do assentamento de forma precisa, para que essas deformações possam ser monitoradas durante a operação do reservatório, principalmente nas fases de enchimento.

Portanto, esses marcos devem ser monitorados periodicamente após a restauração da depressão, com o intuito de verificar se a anomalia foi realmente sanada ou não. Essa ação deverá ser feita com a geração de perfis, para comparação e avaliação do comportamento do maciço. Com relação aos buracos, o aterramento com material adequado faz-se necessário, lembrando, entretanto, que deve ser estimada a extensão dos vazios, a fim de que haja o preenchimento com eficiência. Assim, seria importante escavar em torno dos buracos até a profundidade de onde o maciço se encontra em boas condições.

Nos canais de aproximação e restituição da barragem, observou-se a presença de arbustos e vegetação rasteira. Os outros pontos inspecionados (estrutura de fixação da cota da soleira, reservatório, tomada d'água) estavam em bom estado de conservação. Contudo, assim como em outros barramentos observados, não foi constatada a existência de régua no reservatório.

4.3 Barragem Arrojado Lisboa

Tendo como finalidade a irrigação de terras, controle de cheias, piscicultura e aproveitamento de áreas a montante, a barragem Arrojado Lisboa, constituída de um maciço de terra zoneado, foi concluída em 1966. Localizada no município de Banabuiú, distante 230 km da capital cearense, possui o seu vertedouro constituído de um parâmetro em perfil Creager, sendo o controle da vazão realizado por meio de comportas móveis. A tomada d'água é constituída por uma galeria tubular dupla.

A inspeção de campo nessa barragem detectou a existência arbustos e vegetação rasteira no talude de montante, entretanto, não foi encontrada a presença de árvores. A proteção desse talude contra as chuvas, o vento ou outras formas de impactos é feita através de um enrocamento fino que se encontrava deslocado para o pé do talude de montante em alguns pontos inspecionados. Esse deslocamento, possivelmente ocasionado pela ação das ondas ou pelo dimensionamento inadequado com a utilização de inclinações mais elevadas, pode ocasionar erosões estreitas e profundas. Diante desse cenário, recomenda-se que, mediante a supervisão de um engenheiro, seja efetuada a recuperação desse enrocamento, estudando-se também a necessidade de uma suavização como forma de eliminar essa tendência de deslocamento das pedras.

Por não existirem canaletas, a proteção contra as chuvas no talude de jusante é realizada pelo próprio enrocamento, que, assim como o talude de montante, apresentava falhas em alguns trechos, decorrentes de possíveis deslocamentos,

conforme apresentado na Figura 6. Nesse caso, as ações corretivas são as mesmas a serem seguidas para o talude de montante.

Figura 6 - Talude a Jusante



Na região de jusante da barragem, observou-se a presença de pequenas árvores, arbustos e vegetação de pequeno porte bem intensa na faixa de 10 m do pé da barragem, principalmente do lado direito. Convém destacar que a presença de árvores e arbustos, como já mencionado, pode impedir a visualização de anomalias, por dificultar o acesso de pessoas ao processo investigativo. Além disso, as suas raízes podem criar caminhos preferenciais para a passagem de água. Nesse contexto, tornam-se um fator de risco quando de seu arranque ou morte, já que a sua decomposição também forma vazios na área onde se encontravam. Como ação corretiva, propõe-se a remoção dessa vegetação. Manter a região sob controle, como forma de permitir que haja somente o crescimento de vegetação que não impeça as inspeções visuais, é também uma ação recomendada.

No muro lateral (cortina atirantada), à esquerda do vertedouro, no canal de aproximação junto à ombreira esquerda, foram observadas três grandes rachaduras: duas na vertical e uma na horizontal. Também existiam outras menores e localizadas que merecem atenção e manutenção para não aumentarem. Essas rachaduras não podem ser deixadas à mercê da sorte. Como forma de determinar a origem dessas rachaduras (retração de materiais, recalque etc.), especificações detalhadas dessa anomalia referentes à exata localização, dimensão e orientação devem ser investigadas com a maior brevidade e, se possível, com a presença de um engenheiro geotécnico.

Algumas outras anomalias observadas não chegavam a gerar um comprometimento desse barramento, como a ausência de revestimento, de meio-fio e de sistema de drenagem no coroamento.

Na bacia amortecedora, observou-se a presença de uma canoa e de um enrocamento que deve ser oriundo da proteção do talude de montante da barragem auxiliar, localizada à direita do vertedouro, que se deslocou para lá devido às forças das águas, por ocasião da abertura das comportas em algum período de cheia (Figura 7). Esse fato não chegava a ser um problema para barragem, visto que ajuda na dissipação da energia das águas que por lá passam.

Fig. 7 - Bacia amortecedora



O reservatório, as comportas e a estrutura da tomada d'água encontravam-se bem conservados. Contudo, é importante destacar que, apesar de existirem estacas cravadas no solo junto a uma escada, nenhuma delas possuía marcação do nível do reservatório. Esse fato é inconcebível, devido à facilidade de manutenção e relevância dessa ferramenta.

4 Conclusão

A partir de um memorial descritivo e fotográfico resultante da inspeção formal, detectou-se existir uma nítida falta de manutenção periódica nas barragens analisadas.

De uma forma sucinta, a maioria dos maciços estava com problemas de vegetação excessiva nos taludes de montante e de jusante ou rip-raps defeituosos. Com relação ao coroamento, a barragem Roberto Costa foi percebida como a mais crítica, por apresentar afundamentos e buracos com vazios expressivos. A barragem Paulo Sarasate apresentou surgência de água e problemas no concreto de suas estruturas. Faz-se também necessário destacar que nenhum dos três barramentos vistoriados possuía réguas indicadoras do nível d'água no reservatório, o que inviabiliza o registro dos problemas comparados com a carga de água no lago.

Apesar das ocorrências detectadas, não foram identificados fatores de risco, como erosões de grande porte, rachaduras extensas, *piping*, dentre outros que pudessem provocar incidentes/acidentes imediatos. Entretanto, as recomendações aqui realizadas devem ser seguidas como forma de se evitar o agravamento das anomalias e garantir a segurança futura das barragens. Não se pode esquecer que as variáveis “tempo”, “agravamento das anomalias”, “custo envolvido em reparações” e “ruptura” estão correlacionadas. Como já afirmado anteriormente, a literatura acadêmica mostra que os custos relacionados aos casos de rupturas de uma barragem são bem maiores do que aqueles que garantem a sua segurança. Dessa forma, agir com a maior brevidade possível trará benefícios significativos.

O fato de serem consideradas barragens com aproximadamente cinquenta anos não permitiu a verificação da evolução das técnicas construtivas nem o estágio de manutenção dos barramentos de idades variadas. Entretanto, a correlação entre as variáveis ‘idade da barragem’ e ‘estado de conservação’ não fez parte do escopo deste trabalho.

Apesar das limitações do trabalho, visto que não foram inspecionadas a caixa de montante, a galeria etc., conseguiu-se atingir todos os objetivos propostos ao se relatar de forma precisa as condições físicas das barragens vistoriadas, exemplificando as anomalias encontradas e propondo eventuais ações capazes de confirmar ou minimizar as anomalias detectadas. Nessa perspectiva, o trabalho configura-se como relevante academicamente, no sentido de contribuir como fonte de pesquisa do *status quo* das barragens cearenses consideradas.

Para finalizar, convém afirmar que foi evidenciada a importância de desenvolvimento de novas pesquisas com o intuito de aperfeiçoar a verificação da segurança dessas barragens. Como sugestões para trabalhos futuros, propõem-se: avaliar o potencial de risco de cada barragem, realizar um estudo correlacionando os fatores idade e segurança da barragem, bem como desenvolver estudos que examinem a segurança das barragens sob o ponto de vista hidrológico e hidráulico. Esses estudos poderão subsidiar decisões futuras.

Referências

- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. *Manual de Segurança e Inspeção de Barragens*. Brasília: MI, 2002. 148p. Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/infrastrukturahidrica/publicacoes/manual_barragens.asp>. Acesso em: 23 jun. 2011.
- BRASIL. Lei Nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. *Lei Nº 12.334*. Brasília, DF: DOU de 21 de setembro de 10. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos [...]. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12334.htm>. Acesso em: 19 jun. de 2011.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. *Manual de Preenchimento da Inspeção de Barragem*. Brasília: MI, 2005.
- BUZZI, Maiko Fernandes. *Avaliação das correlações se séries temporais de leituras de instrumentos de monitoração geotécnico-estrutural e variáveis ambientais em barragens: estudo de caso de Itaipu*. Dissertação. Universidade Federal do Paraná., Curitiba, 2007.
- CAMPOS, José Nilson Bezerra. *Vulnerabilidades hidrológicas do semiárido às secas: planejamento e políticas Públicas*. Brasília: IPEA, 1997.

CEARÁ. Secretária de Recursos Hídricos. *Plano Estadual de Recursos Hídricos PLANERH*. Fortaleza: SRH, 2005. Disponível em: <http://www.srh.ce.gov.br/index.php/planerh>. Acesso em: 23 de jun. 2011.

CEARÁ. Secretária de Recursos Hídricos. *Plano Estadual de Recursos Hídricos: atlas eletrônico dos recursos hídricos do Ceará*. Fortaleza: SRH, 2010. Disponível em: http://atlas.srh.ce.gov.br/infra-estrutura/acudes/detalhaCaracteristicasTecnicas.php?cd_acude=249&status=1. Acesso em: 22 jun. 2011.

COMPANHIA DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS. *Relatório Anual de Segurança de Barragens: riscos e inspeções 2007/2008*. Fortaleza: COGERH, 2008.

COOPER, D. R.; SCHINDLER, P. S. *Métodos de pesquisa em administração*. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

CORRAR, Luiz J.; THEÓPHILO, Carlos R. *Pesquisa operacional para decisão em contabilidade e administração*. São Paulo: Atlas, 2004.

FRANCO, Carlos Sergio Souza Pinto de Almeida. *Segurança de barragens: aspectos regulatórios*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal De Goiás. Goiania, 2008.

FONTENELLE, Alexandre de Sousa. et al. *Ações de segurança de barragens do Estado do Ceará com ênfase em inspeções e risco*. Disponível em: <http://portal.cogerh.com.br/publicacoes/seguranca-de-barragens/privados/acoes-de-seguranca-de-barragens>. Acesso em: 23 jun. 2011.

GUTIÉRREZ, João L. C. *Monitoramento da instrumentação da Barragem de Corumbá-I por redes neurais e modelos de Box & Jenkins*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Rio de Janeiro, 2003.

ICOLD. International Commission on Large Dams. Dam Safety Guidelines. *Bulletin 59*. Paris: ICOLD, 1987. Disponível em: <http://www.icold-cigb.net/images/Bullet/B59.PDF>. Acesso em: 25 jun. 2011.

ICOLD. International Commission on Large Dams. Risk Assessment in Dam Safety Management. A Reconnaissance of Benefits. Methods and Current Applications. *Bulletin 130*. Paris: ICOLD, 2005. Disponível em: <http://www.icold-cigb.net/images/Bullet/B130.PDF>. Acesso em: 11 jul. 2011.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. *Caracterização territorial*. Fortaleza: IPECE, 2010. Disponível em: http://www2.ipece.ce.gov.br/publicacoes/ceara_em_numeros/2010/territorial/01_caract_territorial.pdf. Acesso em: 24 jun. 2011.

MALHOTRA, N. *Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

MENESCAL, R. A. et al. As barragens e as enchentes. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 2004. *Anais...* Florianópolis: GEDN UFSC, 2004. P.932-942 (1CD ROM)

MENESCAL, R. A. et al. Acidentes e incidentes em barragens no Estado do Ceará. In: XXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens, 2001, Fortaleza. XXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens. *Anais ...* Rio de Janeiro: CBDB - Comitê Brasileiro de Barragens, 2001. v. 01. p. 91-108.

MENESCAL, R. A.; GONDIM FILHO, J. G. C.; OLIVEIRA, Y. C. de O. (orgs). A recuperação de açudes no âmbito da gestão de recursos hídricos. In: BRASIL. Ministério da Integração Nacional. *A Segurança de Barragens e a Gestão de Recursos Hídricos no Brasil*. Brasília: Proágua, 2005a.

MENESCAL, R. A. et al. (orgs). Avaliação do desempenho de barragens no Estado do Ceará. In: BRASIL. Ministério da Integração Nacional. *A Segurança de Barragens e a Gestão de Recursos Hídricos no Brasil*. Brasília: Proágua, 2005b.

MOURA, Liz Antônio Abdalla de. *Qualidade e gestão ambiental*. 5. ed. São Paulo: Juarez de Oliveira, 2008.

SECRETARIA DE ESTADO E ENERGIA, RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO. *Guia Prático para projetos de pequenas obras hidráulicas*. 2.ed. São Paulo: DAEE, 2006.

SERAFIM, J.L. Safety of dams judged from failures. *Water Power and Dams Construction*, Londres, v. 1, n.12, p. 32-35, dez., 1981.

SILVA FILHO, Francisco Chagas; FUTAI, Marcos Massao. Análise do comportamento de barragens do semi-árido brasileiro com a aplicação do método dos elementos finitos. In: IV Congresso Luso-Brasileiro de Geotecnia de Portugal, 2008, Coimbra. XI IV G - A Geotecnia Portuguesa e os Desafios da Globalização. *Anais...*, 2008. v. 3. p. 205-211.

SILVA, N. F. L. da; GONÇALVES, V. J. C. A convivência com os riscos relacionados às barragens no semi-árido nordestino: conflitos entre representações e práticas sociais. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, Recife, v. 8, n.1, p. 79-97. 2006.

VALENCIO, Norma F. S.; GONÇALVES, Juliano C.; MARCHEZINI, Victor. Colapso de barragens: aspectos sócio-políticos da ineficiência da gestão dos desastres no Brasil, IN: *II Encontro Brasileiro Ciências Sociais e Barragens*. Disponível em: <<http://www.ufscar.br/neped/conteudo.php?menu=publicacoes&submenu=anais>>. Acesso em: 11 jul. 2011.

WISEU, Teresa; ALMEIDA, António B. Plano de emergência interno de barragens. IN: *5º Congresso da Água: a água e o desenvolvimento sustentável, desafios para o novo século : resumos*, 25 a 29 de Setembro de 2000, Culturgest / Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. Lisboa: APRH, 2000. - p. 179. Disponível em <http://www.aprh.pt/congressoagua2004/PDF/69.PDF>. Acesso em: 11 jul. 2011.

ZUFFO, Monica Soares Resio. *Metodologia para avaliação da segurança de barragens*. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2005.

Sobre os autores

Maria Bernadette Frota Amora Silva

Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará (2012). Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade de Fortaleza (1982) e mestrado em Administração de Empresas pela Universidade de Fortaleza (2003). Tem experiência na área de Engenharia e Administração, com ênfase em Apoio a Decisão.

Francisco Chagas da Silva Filho

Engenheiro Civil com mestrado em Geotecnia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1991), doutorado em Geotecnia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1998), pós-doutorado em Geotecnia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2002). Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal do Ceará, orientador de mestrado e de doutorado, professor de graduação em Engenharia Civil e do Mestrado em Geotecnia. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Mecânicas dos Solos, atuando principalmente nos seguintes temas: barragens, solos não-saturados, modelagem constitutiva do comportamento mecânico de solos e resíduos e instrumentação de obras geotécnicas.