

REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE BARRAGENS

ISSN: 2594-7451

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS

ANO IX Nº 16 AGOSTO 2024 R\$ 30,00

FOTO: RONEY SANTANA (PARTICULAR FILMES) / NORTE ENERGIA



ITAIPU BINACIONAL 50 ANOS

**A AMIZADE QUE,
DÉCADA A DÉCADA,
MAIS GEROU ENERGIA
LIMPA E RENOVÁVEL
NO MUNDO.**

Da união entre Brasil e Paraguai, nasceu um exemplo de desenvolvimento sustentável para o mundo. A maior usina geradora de energia limpa do planeta, que realiza obras e ações que fazem a diferença na vida de milhões de brasileiros e paraguaios.

**MAIS DE 3 BILHÕES
DE MEGAWATTS-HORA
GERADOS, DESDE 1984**

**QUANTIDADE SUFICIENTE
PARA ABASTECER TODO O
PLANETA POR 43 DIAS**





COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS - CBDB
REPRESENTANTE DA COMISSÃO INTERNACIONAL DE
GRANDES BARRAGENS (ICOLD-CIGB) NO BRASIL

DIRETORIA

PRESIDENTE - MIGUEL AUGUSTO ZYDAN SÓRIA

VICE-PRESIDENTE - TERESA CRISTINA FUSARO

DIRETOR-ADMINISTRATIVO FINANCEIRO - CLEBER JOSÉ DE CARVALHO

DIRETOR DE PUBLICAÇÕES E RELAÇÕES INSTITUCIONAIS - DIEGO

ANTÔNIO FONSECA BALBI

DIRETOR TÉCNICO - JOSÉ MARQUES FILHO

CONSELHO DELIBERATIVO

ALBERTO S. F. J. SAYÃO

ALEX MARTINS CALCINA

CLEBER JOSÉ DE CARVALHO

DIEGO ANTONIO FONSECA BALBI

DIEGO DAVID BAPTISTA DE SOUZA

GERALDO MAGELA PEREIRA

GILBERTO TANNUS ELIAS

JOAQUIM PIMENTA DE AVILA

JOSÉ MARQUES FILHO

JOSIELE PATIAS

LEONARDO DE OLIVEIRA GUERRA DEOTTI

MARIA REGINA MORETTI

MIGUEL AUGUSTO ZYDAN SÓRIA

PATRICIA NEVES SILVA

PAULA LUCIANA DIVINO

RICARDO AGUIAR MAGALHÃES

ROGÉRIO DE ABREU MENESCAL

TERESA CRISTINA FUSARO

PRESIDENTES HONORÁRIOS

CÁSSIO BAUMGRATZ VIOTTI

EDILBERTO MAURER

ERTON CARVALHO

FLAVIO MIGUEZ DE MELLO

JOSÉ BERNARDINO BOTELHO

COMISSÃO FISCAL

ADRIANA VERCHAI DE LIMA

ÉTORE FUNCHAL DE FARIA

ITAMARA MARY LEITE DE MENEZES TAVEIRA

ROGÉRIO BONINI RUIZ

NÚCLEOS REGIONAIS - DIRETORES

BA - ROBERTO DE OLIVEIRA FACCHINETTI

CE - VANDA TEREZA COSTA MALVEIRA

GO/DF - LÚCIO EDUARDO LIMA DE SOUZA

MG - ADELAIDE LINHARES DE CARVALHO CARIM

PR - ADRIANA VERCHAI DE LIMA

PE - GUILHERME ROCHA PEPLAU

NR NORTE - ADRIANO FRUTUOSO DA SILVA

RJ - LUDMA H. THOMÉ FERREIRA

RS - ROBERTO ARSEGO ZUCH

SC - JOAO RAPHAEL LEAL

SP - SIDNEI ONO

REVISTA BRASILEIRA DE

ENGENHARIA DE BARRAGENS

Publicação de responsabilidade do CBDB
COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS

A Revista Brasileira de Engenharia de Barragens (RBEB) é uma publicação técnica aperiódica do Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB), distribuída em todo o território nacional e direcionada aos profissionais que atuam na Engenharia de Barragens em geral e em obras associadas. Os artigos assinados são de expressa responsabilidade de seus autores e não refletem, necessariamente, a opinião do CBDB.

Todos os direitos reservados ao CBDB. Nenhuma parte de seus conteúdos pode ser reproduzida por qualquer meio sem a autorização, por escrito, dos editores.

A Revista Brasileira de Engenharia de Barragens (RBEB) tem por objetivo a publicação de artigos científicos e de relatos técnicos inerentes à Engenharia de Barragens em geral, de modo a explicitar os conhecimentos técnicos atualizados, que sejam úteis tanto para a operação das empresas que projetam, constroem ou operam barragens, como para os centros de pesquisa e as universidades que se dedicam ao desenvolvimento da Engenharia de Barragens.

O Conselho Editorial, listado na próxima página, é o órgão responsável pela definição da linha editorial e pela qualidade técnica dos trabalhos. Está composto por membros selecionados entre os sócios do Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB) com comprovada experiência profissional ou acadêmica em cada um dos 23 temas a seguir relacionados.

COMITÊ EXECUTIVO

MIGUEL AUGUSTO ZYDAN SÓRIA

JOSÉ MARQUES FILHO

DIEGO ANTÔNIO FONSECA BALBI

COORDENAÇÃO EDITORIAL

DIEGO ANTÔNIO FONSECA BALBI

JORNALISTA RESPONSÁVEL

CLÁUDIA RODRIGUES BARBOSA

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

URSULA FUERSTENAU

FOTOLITO / IMPRESSÃO

GRÁFICA REDE

TIRAGEM

700 EXEMPLARES

CBDB - Comitê Brasileiro de Barragens

Av. Rio Branco, 124 | 13º andar

Centro - Rio de Janeiro/RJ - Brasil

CEP 20040-001 **TELEFONE** 055 21 2286.8674

E-MAIL cdbb@cdbb.org.br **WEB** www.cdbb.org.br

COMISSÕES TÉCNICAS NACIONAIS - COORDENADORES

CT 01 - REGISTRO E DOCUMENTAÇÃO DE BARRAGENS	ÉTORE FUNCHAL DE FARIA
CT 02 - SEGURANÇA DE BARRAGENS	TERESA CRISTINA FUSARO
CT 03 - BARRAGENS DE CONCRETO	JOSÉ MARQUES FILHO
CT 04 - HIDRÁULICA EM BARRAGENS	DIEGO DAVID BAPTISTA DE SOUZA
CT 05 - BARRAGENS DE TERRA E ENROCAMENTO	VANDA TERESA COSTA MALVEIRA
CT 06 - BARRAGENS DE ENROCAMENTO COM FACE DE CONCRETO	FERNANDO DIAS RESENDE
CT 07 - BARRAGENS DE REJEITOS	JOAQUIM PIMENTA DE ÁVILA
CT 08 - FORMAS DE CONTRATAÇÃO DE SERVIÇOS DE ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO	RICARDO HEY ANDRZEJEWSKI
CT 09 - IMPACTO AMBIENTAL DE BARRAGENS E RESERVATÓRIOS	SANDRA ELISA FAVRETTO
CT 10 - PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO TÉCNICA	RICARDO AGUIAR MAGALHÃES
CT 11 - OBRAS DE PROTEÇÃO E CONTENÇÃO DE FLUXO DE DETRITOS	DIMITRY ZNAMENSKY
CT 12 - USOS MÚLTIPLOS DE RESERVATÓRIOS	MIGUEL AUGUSTO ZYDAN SÓRIA
CT 13 - CONDICIONANTES REGULATÓRIOS À REALIZAÇÃO DE BARRAGENS E RESERVATÓRIOS	RICARDO BARBOSA FERREIRA
CT 14 - ATUALIZAÇÃO DAS DIRETRIZES TÉCNICAS DE PROJETOS E CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS E ESTRUTURAS CONEXAS, ADAPTANDO-AS AO TEMA SEGURANÇA	JOSÉ BERNARDINO BOTELHO
CT 15 - HIDROLOGIA E GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS	LUCAS SAMUEL SANTOS BRASIL
CT 16 - LEGISLAÇÃO, PROJETO, CONSTRUÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE USINAS REVERSÍVEIS	GILBERTO TANNÚS ELIAS
CT 17 - OPERAÇÃO SEGURA DE ESTRUTURAS EM CASCATA E OUTROS ARRANJOS MULTIUSUÁRIOS	ADOLFO TRIBST CORRÊA
CT 18 - PROJETO, CONSTRUÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE OBRAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA, IRRIGAÇÃO E SANEAMENTO	ADRIANA VERCHAI DE LIMA
CT 19 - REPOTENCIAÇÃO, REVERSIBILIDADE E MODERNIZAÇÃO DE UHES	
CT 20 - COMISSÃO TÉCNICA ESPECIAL DE APOIO AO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL	JOSÉ MARQUES FILHO

COMISSÕES TÉCNICAS INTERNACIONAIS - REPRESENTANTES

A - COMPUTATIONAL ASPECTS OF ANALYSIS AND DESIGN OF DAMS	DANIELA GUTSTEIN
C - HYDRAULICS FOR DAMS	DIEGO DAVID BAPTISTA DE SOUZA
D - CONCRETE DAMS	JOSÉ MARQUES FILHO
E - EMBANKMENT DAMS	CÁSSIO BAUMGRATZ VIOTTI
G - ENVIRONMENT	SANDRA ELISA FAVRETTO
H - DAMS SAFETY	PATRICIA NEVES SILVA
HWS - HISTORICAL WATER STRUCTURE WATER HERITAGE	FLAVIO MIGUEZ DE MELLO
I - PUBLIC SAFETY AROUND DAMS	RICARDO AGUIAR MAGALHÃES
J - SEDIMENTATION OF RESERVOIRS	MARCOS CRISTIANO PALU
K - INTEGRATED OPERATION OF HYDROPOWER STATIONS AND RESERVOIRS	DIMILSON PINTO COELHO
L - TAILING DAMS AND WASTE LAGOONS	JOAQUIM PIMENTA DE ÁVILA
M - OPERATION, MAINTENANCE AND REHABILITATION OF DAMS	DIEGO ANTÔNIO FONSECA BALBI
N - PUBLIC AWARENESS AND EDUCATION	MIGUEL AUGUSTO ZYDAN SÓRIA
O - WORLD REGISTER OF DAMS AND DOCUMENTATION	ÉTORE FUNCHAL DE FARIA
P - CEMENTED MATERIAL DAMS	EDILBERTO MAURER
Q - DAM SURVEILLANCE	ÉTORE FUNCHAL DE FARIA
RE - RESETTLEMENT DUE TO RESERVOIRS	ANDERSON BRAGA MENDES
S - FLOOD EVALUATION AND DAM SAFETY	FELIPE GOBBI SILVEIRA
T - PROSPECTIVE AND NEW CHALLENGES FOR DAMS AND RESERVOIRS	FLAVIO MIGUEZ DE MELLO
TRS - TROPICAL RESIDUAL SOILS	LEONARDO DE OLIVEIRA GUERRA DEOTTI
U - DAMS AND RIVER BASIN MANAGEMENT	RENATO GRUBER
V - HYDROMECHANICAL EQUIPMENT	PAULO CEZAR FERREIRA ERBISTI
Y - CLIMATE CHANGE	DIEGO DAVID BAPTISTA DE SOUZA
Z - CAPACITY BUILDING AND DAMS	RICARDO AGUIAR MAGALHÃES
ZA2 - GENDER DIVERSITY AND INCLUSION	ADRIANA VERCHAI DE LIMA
ZX2 - YOUNG ENGINEERS	ALEXANDRA DA SILVA BELINI

TEMAS E COMPOSIÇÃO DO CONSELHO EDITORIAL

ANÁLISES ESTATÍSTICAS, NUMÉRICAS E COMPUTACIONAIS	ALBERTO JORGE COELHO TAVARES CAVALCANTI, DANIELA GUTSTEIN, LINEU JOSÉ PEDROSO, MARCUS PACHECO
ANÁLISES LABORATORIAIS HIDRÁULICAS, DE SOLOS E ROCHAS E DE CONCRETO	ERTON CARVALHO, WANDERLEY GUIMARÃES CORRÊA, WILLY ALVARENGA LACERDA
ASPECTOS LEGAIS E NORMAS TÉCNICAS	ADRIANA VERCHAI DE LIMA, JOSÉ MARQUES FILHO, NELSON AL ASSAL FILHO, RICARDO BARBOSA FERREIRA
BARRAGENS DE CONCRETO COMPACTADO A ROLO (CCR)	FRANCISCO GLADSTONE HOLANDA, FRANCISCO RODRIGUES ANDRIOLO, WALTON PACELLI DE ANDRADE
BARRAGENS DE FACE DE CONCRETO E DE NÚCLEO ASFÁLTICO	BAYARDO MATERÓN, CIRO HUMES, FERNANDO DIAS RESENDE
BARRAGENS DE REJEITO	JACQUELINE VERSIONI RAMOS MUSMAN, JOAQUIM PIMENTA DE ÁVILA, LEONARDO DE ALMEIDA FERREIRA, PAULO ROBERTO DA COSTA CELLA
BARRAGENS DE TERRA E DE ENROCAMENTO	ANTONIO NUNES DE MIRANDA, CASSIO BAUMGRATZ VIOTTI, CELSO JOSÉ PIRES FILHO, CIRO HUMES, HÉLIO MACHADO BAPTISTA, LEONARDO DE ALMEIDA FERREIRA, MARIA REGINA MORETTI, VANDA TEREZA COSTA MALVEIRA
CONCRETO, TECNOLOGIA E MATERIAIS	ALBERTO JORGE COELHO TAVARES CAVALCANTI, EDILBERTO MAURER, ÉTORE FUNCHAL DE FARIA, JOSÉ MARQUES FILHO, SELMO CHAPIRA KUPERMAN, WALTON PACELLI DE ANDRADE
CONTENÇÃO DE CORRIDAS DETRÍTICAS	ANNA LAURA LOPES DA SILVA NUNES, DIMITRY ZNAMENSKI, FELIPE GOBBI SILVEIRA, LEONARDO DE ALMEIDA FERREIRA, MARCELO FISCHER GRAMANI
ENERGIA	FLAVIO MIGUEZ DE MELLO, JERSON KELMAN, LEONARDO DE OLIVEIRA GUERRA DEOTTI, MIGUEL AUGUSTO ZYDAN SORIA
EQUIPAMENTOS HIDROMECAÂNICOS	JESIEL ADRIANO D'AVIZ, JOÃO CARLOS MATHEUS, PAULO CEZAR FERREIRA ERBISTI, TÍCAO SIGUEMOTO
ESTRUTURAS DE CONCRETO	ALBERTO JORGE COELHO TAVARES CAVALCANTI, EDILBERTO MAURER, JOSÉ BERNARDINO BOTELHO
GEOLOGIA DE ENGENHARIA	GUIDO GUIDICINI, PAULO ROBERTO COSTA CELLA, RICARDO ANTÔNIO ABRAHÃO
GEOTECNIA E FUNDAÇÕES	ALBERTO DE SAMPAIO FERRAZ JARDIM SAYÃO, ALEX MARTINS CALCINA, LEONARDO DE ALMEIDA FERREIRA, LUIZ GUILHERME DE MELLO, MARIA REGINA MORETTI, SANDRO SANDRONI
HIDRÁULICA E VERTEDORES	CELSE JOSÉ PIRES FILHO, DIEGO DAVID BAPTISTA DE SOUZA, MARCELO GIULIAN MARQUES, NELSON LUIZ DE SOUZA PINTO
HIDROLOGIA	ALOYSIO PORTUGAL MAIA SALIBA, HEINZ DIETER OSKAR AUGUST FILL, MÁRIO CICARELI PINHEIRO, ORLANDO VIGNOLI FILHO
INSTRUMENTAÇÃO	ADRIANA VERCHAI DE LIMA, ÉTORE FUNCHAL DE FARIA, JOÃO FRANCISCO ALVES SILVEIRA, PAULO AFONSO DE CERQUEIRA LUZ, PEDRICTO ROCHA FILHO
MEIO AMBIENTE	CYNTHIA ALMEIDA PINHEIRO MACHADO, MARÍLIA PIRONI SCOMBATTI, SANDRA ELISA FAVRETTO, SÔNIA SANTOS BAUMGRATZ
MEIO BIÓTICO E PATRIMÔNIO	ANTONIO CARLOS BEAUMORD, CYNTHIA ALMEIDA PINHEIRO MACHADO, GUSTAVO DUVAL LEITE, PAULO DOS SANTOS POMPEU
MUDANÇAS CLIMÁTICAS	CLEYTON MARTINS DA SILVA, LAÍS GONÇALVES FERNANDES, MARIA ASSUNÇÃO FAUS DA SILVA DIAS
RECURSOS HÍDRICOS	ANDRÉ MESQUITA, BENEDITO PINTO FERREIRA BRAGA JÚNIOR, LUCAS BRASIL, RODRIGO FLECHA FERREIRA ALVES, YVONILDE DANTAS PINTO MEDEIROS
SEGURANÇA DE BARRAGENS	ADRIANA VERCHAI DE LIMA, CELSO JOSÉ PIRES FILHO, ÉTORE FUNCHAL DE FARIA, LUCIA WILHELM VERAS DE MIRANDA, PATRÍCIA NEVES SILVA, RICARDO AGUIAR MAGALHÃES, TERESA CRISTINA FUSARO
TÚNEIS	ANDRÉ PACHECO DE ASSIS, LEONARDO DE ALMEIDA FERREIRA, LUIZ ALBERTO MINICUCCI, TARCÍSIO BARRETO CELESTINO



Por: Miguel Augusto Zydan Sória

Se estivéssemos diante do desafio de resumir em uma só palavra os propósitos do Comitê Brasileiro de Barragens, poderíamos apontar “conhecimento” como a síntese do que buscamos. Alguns

teóricos em gestão do conhecimento explicam que há um ciclo característico de produção de conhecimento pelo qual o mesmo é criado ou capturado, organizado e codificado, disseminado, avaliado e mensurado, e, de novo, retorna à criação ou captura - e, assim, sucessivamente.

Se admitirmos como válida esta interessante referência, veremos que o CBDB, ao longo de suas seis décadas de existência, vem percorrendo as fases desse ciclo de modo bastante consistente. Afinal, quando lançamos as chamadas de trabalhos para apresentação em nossos eventos ou publicação na revista, estamos estimulando a comunidade técnica a compartilhar conhecimentos, alguns deles inéditos (conhecimento novo).

Com esses conhecimentos organizados em artigos científicos e relatos técnicos, disseminamos amplamente tais conteúdos por intermédio de nossos eventos, revistas,

livros, boletins, palestras, cursos, vídeos e mídias. E, pela exposição e pelo debate nos eventos e nas comissões técnicas, também avaliamos estes mesmos conhecimentos, dentro de um processo que visa melhorias contínuas na Engenharia de Barragens como um todo.

A Revista Brasileira de Engenharia de Barragens se encaixa nesta concertação de maneira muito especial, pois, por meio de suas edições, concretiza o registro sistematizado do conhecimento relativo a barragens, que fica disponível aos interessados para reuso a qualquer tempo.

Nessa linha, a presente edição da revista apresenta oito artigos, sendo que mais da metade deles referem-se ao importante tema da segurança de barragens, envolvendo auscultação, métodos analíticos, plano de ação de emergência, níveis de controle para instrumentos e critérios gerais. Além disso, há artigos sobre os temas referentes à geologia de engenharia, meio biótico e patrimônio, e instrumentação e valores limites.

Desejamos, então, que os conhecimentos aqui explicitados sejam de utilidade às leitoras e aos leitores de mais esta edição de nossa revista técnica.

CAPA



Usina Hidrelétrica Belo Monte
Vitória do Xingu - Pará

Vista aérea das barragens que compõem o eixo Belo Monte (Tomada D'Água e Barragens de Fechamento Direita e Esquerda) em conjunto com a Casa de Força Principal com potência instalada de 11.000 MW, sendo a maior usina hidrelétrica 100% brasileira.

Foto: Roney Santana (Particular Filmes) / Norte Energia

10 O ALÍVIO DE TENSÕES EM VALES FLUVIAIS E SUA RELEVÂNCIA EM PROJETO E CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS

Tema: Geologia de Engenharia **País / Edição:** Brasil / 2024

Autor: Guido GUIDICINI

17 HYDRO 4.0 - A GESTÃO DE DADOS DE AUSCULTAÇÃO COM O EMPREGO DE DATA ANALYTICS

Tema: Segurança de Barragens **País / Edição:** Brasil / 2024 **Autores:**

Luis Fernando Pedrozo MELEGARI, Viviane Casacio de ALMEIDA, Helton Marinho de ÁVILA, Arthur Couto MANTESE, Felipe de Moraes ALVES

23 MÉTODO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS - AHP ADAPTADO PARA BARRAGENS DE PEQUENO PORTE

Tema: Segurança de Barragens **País / Edição:** Brasil / 2024 **Autora:**

Alessandra Almeida GONZAGA

31 MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARA ESTIMATIVA DE FAUNA DOMÉSTICA E DE PRODUÇÃO EM ZONA DE SEGURANÇA SECUNDÁRIA (ZSS)

Tema: Meio Biótico e Patrimônio **País / Edição:** Brasil / 2024 **Autores:**

Pedro AMONI, Sueli KAKINAMI, Marília TONIAL, Fernanda CORREA, Beatriz LEITE, Henrique RIBEIRO, Paulo PEIXOTO

38 ANÁLISE DA GAMIFICAÇÃO DE SIMULADOS DE MESA NA OPERACIONALIZAÇÃO DO PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA: ESTUDOS DE CASO

Tema: Segurança de Barragens **País / Edição:** Brasil / 2024 **Autores:**

Amanda de Moraes RICARDI, Pedro Afonso SISMOTO, Marielly ANACLETO Euclydes CESTARI

46 BARRAGEM RIO DESCOBERTO: ESTABELECENDO VALORES LIMITE PARA A INSTRUMENTAÇÃO

Tema: Instrumentação **País / Edição:** Brasil / 2024 **Autores:** Ivaldo

Rodrigues MATOS, Lúcio Eduardo Lima de SOUZA

52 PROPOSTA DE DEFINIÇÃO DE NÍVEIS DE CONTROLE PARA INSTRUMENTOS INSTALADOS EM FUNDAÇÃO DE BARRAGENS DE TERRA EM RELAÇÃO AO MODO DE FALHA EROSIÃO INTERNA

Tema: Segurança de Barragens **País / Edição:** Brasil / 2024 **Autora:**

Laura SANTANA

58 CRITÉRIOS GERAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

Tema: Segurança de Barragens **País / Edição:** Brasil / 2024 **Autores:**

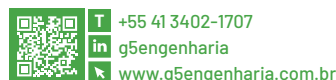
Luiz Sergio SIEBER PADILLA, Adriana Verchai de Lima

A
**energia
circula
com a Eletrobras.**

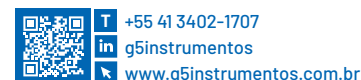
A Eletrobras lidera a geração de energia limpa e investe em soluções inovadoras para o uso responsável dos recursos naturais. A cada dia, reafirmamos nosso compromisso em fazer a energia circular com sustentabilidade para todo o Brasil.



Soluções únicas e precisas para grandes obras de engenharia: energia, mineração, obras industriais, transportes e logística.



Soluções para instrumentação geotécnica, estrutural, automação e monitoramento online de obras de infraestrutura e mineração.



A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: A NECESSIDADE DE DISCUTIR E SEDIMENTAR CONHECIMENTO

Por: José Marques Filho

Hoje, o Brasil passa por uma dificuldade de entendimento da necessidade de uma transição energética e seu arcabouço. Essa discussão deve ter uma liderança firme e argumentos sólidos, já que há uma clara confusão nos meios de comunicação e no ideário popular. Confunde-se como sustentáveis as energias eólica e solar, demonizando soluções hidráulicas por preconceitos politizados (em geral). A falta de entendimento do sistema por parte da comunidade tem dificultado o desenvolvimento de novos aproveitamentos hidráulicos de energia e de água para consumo, pois não há uma resposta técnica coerente em linguagem simples e que se dissemine na sociedade como um todo.

Nos últimos 30 anos, o aproveitamento da riqueza hídrica foi complexo, recheado de usinas a fio d'água que, apesar de importantes para cobrir a demanda energética, têm característica intermitente, sendo a antítese do conceito de reservação e amortecimento de cheias. A situação de desprestígio foi acentuada pelos infelizes acidentes em barragens de rejeito, que não são diferenciadas com facilidade pelo público das de reservação de água.

O sistema elétrico brasileiro, com o seu sistema interligado, é um dos mais eficientes do mundo. Hoje, necessita de um aumento da potência instalada para atendimento da ponta de consumo dentro das restrições operacionais, bem como de desenvolvimento de capacidade de estabilizar e firmar o sistema, e de soluções inéditas e inovadoras que gerem a capacidade de atender a demanda quando há diminuição de geração das usinas intermitentes.

Sem dúvida, as antigas energias alternativas são, agora, uma realidade, com incentivos fiscais para eólicas e solares, e fazem parte importante da energia elétrica do país. Elas, inclusive, devem aumentar para benefício dos consumidores. Pela característica de intermitência, possuem peculiaridade complementar em um país onde a energia predominante é a hidráulica, necessitando dela

para que o sistema seja firme e se equilibre.

Na configuração do sistema elétrico brasileiro em operação, o crescimento das modalidades de geração intermitentes e a manutenção em décadas da quantidade de armazenamento das usinas hidrelétricas diminuem significativamente a flexibilidade do referido sistema, aumentando o risco de fornecimento e impelindo à necessidade de geração térmica. Essa, para entrar imediatamente no sistema, requer usinas fast track de início de geração relativamente rápida, com a consequente emissão de gases causadores do efeito estufa. Usinas a gás natural são ambientalmente mais aceitáveis, mas pressionam a disponibilidade de fornecimento e importação num momento internacional complexo. E, além disso, realmente aumentariam bastante a emissão de CO₂ equivalente por MWh.

Assim sendo, soluções que otimizem o parque hidrelétrico são importantes para o setor elétrico, sem que haja a necessidade de grandes obras civis. A aplicação dos processos modernos de tecnologia da informação, internet das coisas, inteligência artificial, sistemas de controle eficazes, estudos hidráulicos de potência, monitoramento hidrometeorológico, dentre vários desenvolvimentos recentes, permitem uma melhoria operacional e de geração importantes.

As alterações no regime hidrológico, as mudanças climáticas e os novos regimes de carga do sistema aumentam a necessidade dos estudos de modernização e repotenciação, que podem também ampliar a segurança operacional das usinas existentes. As recentes cheias no Rio Grande do Sul e a seca intensa na região Norte do país em 2023 e 2024 são vetores que indicam a necessidade urgente de um estudo completo das bacias, gerando interação complexa entre a necessidade de proteção de vidas e patrimônio, a segurança hídrica, a segurança alimentar, a segurança energética e a manutenção da comunicação em comunidades que dependem do transporte

fluvial. Esse fato indica uma necessidade de alinhamento com visão holística quando dos estudos para otimização do sistema e para a indicação de proposição e implementação de novos reservatórios.

Complementando as possibilidades de migração para soluções energéticas otimizadas e prudentemente sustentáveis, em alguns países, estão se mostrando importantes as aplicações de usinas reversíveis, aproveitando horários com disponibilidade de energia sem consumo, criando um buffer de energia para os horários de pico e firmar o sistema.

Como processo de otimização geral do sistema, a geração de hidrogênio verde permite um acréscimo de energia limpa, utilizando energia que poderia estar sendo desperdiçada em vertimento, na falta de necessidade de despacho para o sistema.

Como foi mencionado, apesar da diminuição percentual da energia devido à reservação de água em relação ao total, o sistema de geração hidrelétrica ainda é uma base para firmar o sistema em função de sua capacidade de guardar energia e disponibilizá-la rapidamente. Assim sendo, também deve ser discutida, corajosamente, a geração de maior quantidade de água reservada, diminuindo a pressão por soluções com grande produção de gases causadores do efeito estufa.

De maneira óbvia, a segurança energética depende do desenvolvimento de todas as modalidades energéticas. A solução ótima, aparentemente, está fortemente interligada com a energia hidráulica, não sendo possível esquecê-la. A discussão deve incluir os marcos regulatórios e as concessões existentes, de forma a permitirem a aplicação dos desenvolvimentos tecnológicos atualmente disponíveis e a interação das modalidades de geração, considerando o sistema de transmissão e distribuição existentes. Essa tarefa depende muito da expertise eletromecânica existente, da modelagem do sistema elétrico como um todo e de análises precisas meteorológicas, hidrológicas e hidráulicas, complementadas pelas demais disciplinas técnicas, que permitem o ajuste dos empreendimentos.

Pelos motivos expostos, cabe ao CBDB promover a discussão corajosa do tema, amalgamando todas as disciplinas técnicas envolvidas e dialogando com todos os setores da sociedade organizada. Assim, foi criada a Comissão Técnica CT 19 - Repotenciação, Reversibilidade e Modernização de Usinas Hidrelétricas, que nucleará as discussões e o desenvolvimento de material técnico sobre o estado da arte do assunto, bem como auxiliará no follow up das atividades desenvolvidas pelo Comitê.

A questão de cheias e secas no Brasil foi abordada através de Position Paper divulgado pelo CBDB, colocando a preocupação e o indicativo de processo que leve até soluções necessárias ao país por meio da criação, dentro de entidade federal existente, de estrutura de governança que possa efetuar estudos e diretrizes para resolução

da questão e gerar o respectivo marco legal.

Infelizmente, após a manifestação do Comitê, houve, no Rio Grande do Sul, o fenômeno climático catastrófico que ceifou várias vidas e colocou uma grande parcela da população gaúcha em situação de risco, sem contar as perdas de infraestrutura inimagináveis e a dificuldade de acesso aos produtos básicos necessários à vida. Dentro de sua obrigação estatutária e social, o CBDB criou também a CT 20 - Comissão Técnica de Apoio ao Estado do Rio Grande do Sul, que envidará esforços para auxiliar nas discussões e soluções técnicas para enfrentar a situação e mitigar o efeito de cheias no futuro.

Assim sendo, através de suas prerrogativas estatutárias e contando com a expertise de seus associados, o CBDB atua, continuamente, no desenvolvimento de ferramentas, discussões de alto nível e mobilização da comunidade técnica para os grandes problemas atuais da nação.



José Marques Filho

é Doutor em Engenharia Civil, Professor da Universidade Federal do Paraná e sócio da Sustech Consultoria. Foi Vice-presidente do Comitê Brasileiro de Barragens, onde atua como Conselheiro, Diretor Técnico, Coordenador da Comissão de Uso de Concreto em Barragens e integrante do *Concrete Dams Committee*

na International Commission on Large Dams.

Foi Diretor de Desenvolvimento de Negócios da Companhia Paranaense de Energia (COPEL). Possui especialização em Desenvolvimento de Projetos de Geração de Energia, tendo realizado mais de 40 projetos desse tipo. Trabalha com consultoria em projetos de estruturas de grande porte e Segurança de Barragens, bem como desenvolve técnicas de inspeção, monitoramento e intervenção em barragens e seus órgãos complementares.

Ativo no desenvolvimento de novas tecnologias do concreto, com visão sustentável e abordagem holística do laboratório à obra, incluindo análise de riscos. É docente e orientador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná, com inúmeros orientados de mestrado e doutorado em suas áreas de expertise, com várias publicações em revistas nacionais, internacionais e anais de congressos.

Foi coordenador de vários cursos de especialização *strictu sensu* do Instituto IDD na área de Segurança de Barragens, onde é docente em várias disciplinas.

Ministrou cursos de Inspeção em Segurança de Barragens de Uso Múltiplo como consultor da UNESCO, em convênio com a ANA em todo o Brasil.

Foi presidente do Conselho de Administração das Centrais Elétricas do Rio Jordão (ELEJOR), Coordenador Geral do AHE São Jerônimo e Coordenador do Projeto da Derivação do Rio Jordão.

Possui atuação em Pesquisa e Desenvolvimento no Brasil, já tendo exercido a função de Conselheiro de Administração e de Diretor do Instituto de Pesquisa para o Desenvolvimento (LACTEC). Além disso, integrou o Conselho de Administração do Sistema Meteorológico do Paraná, a Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento da COPEL e a Coordenação do Laboratório de Materiais e Estruturas da UFPR.

Desenvolveu trabalhos para a questão de Segurança de Barragens no CONFEA e hoje nucleia a Comissão de Normalização de Barragens da ABNT.



O que o almoço de família
tem a ver com a Vale?

26

Ferro

Tem a ver com o ferro presente no fogão.

Olhando à nossa volta fica fácil perceber o quanto os minérios são essenciais para o nosso dia a dia, para a transição energética e para a descarbonização do planeta. Tem minério na cozinha, nos carros elétricos, na TV, nos aviões e navios, nos celulares e em quase todos os equipamentos.

Transformar o amanhã hoje.
Tem a ver com a Vale.

O ALÍVIO DE TENSÕES EM VALES FLUVIAIS E SUA RELEVÂNCIA EM PROJETO E CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS

Guido GUIDICINI | Geólogo - NEWTON CARVALHO Consultoria em Geologia Geotécnica

RESUMO

Ao longo de vales fluviais, o processo natural de evolução do relevo acarreta, entre outros aspectos, na redução de tensões confinantes, que pode se manifestar de inúmeras formas, desde o aparecimento generalizado de juntas de alívio em maciços rochosos próximo à superfície do terreno, até deslocamentos complexos. Embora o alívio de tensões tenha sido primeiramente identificado em rochas sedimentares, tem sido descrito também em rochas duras, como maciços basálticos e gnáissicos.

No projeto e construção de barragens, as manifestações e os aspectos associados ao processo de alívio de tensões têm motivado a adoção de medidas especiais na concepção das estruturas, no dimensionamento das escavações e no tratamento das fundações, com o propósito de eliminar eventuais efeitos negativos que tais elementos podem trazer em termos de segurança para o empreendimento.

ABSTRACT

Along river valleys, the natural process of relief evolution leads, among other aspects, to the reduction of confining tensions that can manifest themselves in numerous ways, from the widespread appearance of relief joints in rock masses close to the surface of the terrain, to conjugated displacements. Although stress relief was first identified in sedimentary rocks, it has also been described in hard rocks, such as basaltic and gneissic massifs.

In the design and construction of dams, the manifestations and aspects associated to the stress relief process have motivated the adoption of special measures in the design of structures, in the dimensioning of excavations and in the treatment of foundations, with the purpose of eliminating possible negative effects that such elements can bring in terms of security to the enterprise.

1. INTRODUÇÃO

Um meio rochoso submetido à remoção de parcelas significativas de sua massa reage às mudanças induzidas no estado de tensões, manifestando-se através de deslocamentos. Esse comportamento ocorre na condição natural, quando a evolução das formas de relevo impõe mudanças, mas pode também ser observado e documentado em escavações relacionadas à implantação de obras de engenharia, sendo mais facilmente perceptível em obras de grande porte. A implantação de barragens em vales fluviais é um dos eventos que mais evidências têm oferecido para a compreensão e caracterização do processo de alívio de tensões e de suas consequências.

2. ALÍVIO DE TENSÕES EM ESCAVAÇÕES LOCALIZADAS

Tome-se o exemplo de uma escavação em rocha basáltica para a implantação de uma estrutura de tomada d'água casa de força de dimensões significativas. O maciço rochoso é constituído, em sua condição original, por uma sucessão de derrames superpostos, portadores de extensas descontinuidades sub-horizontais em seu interior, que atuam como estratos individualizados. Para fins de projeto, o modelo geológico estrutural (Figura 1) é dotado de parâmetros geomecânicos característicos para cada um dos horizontes.

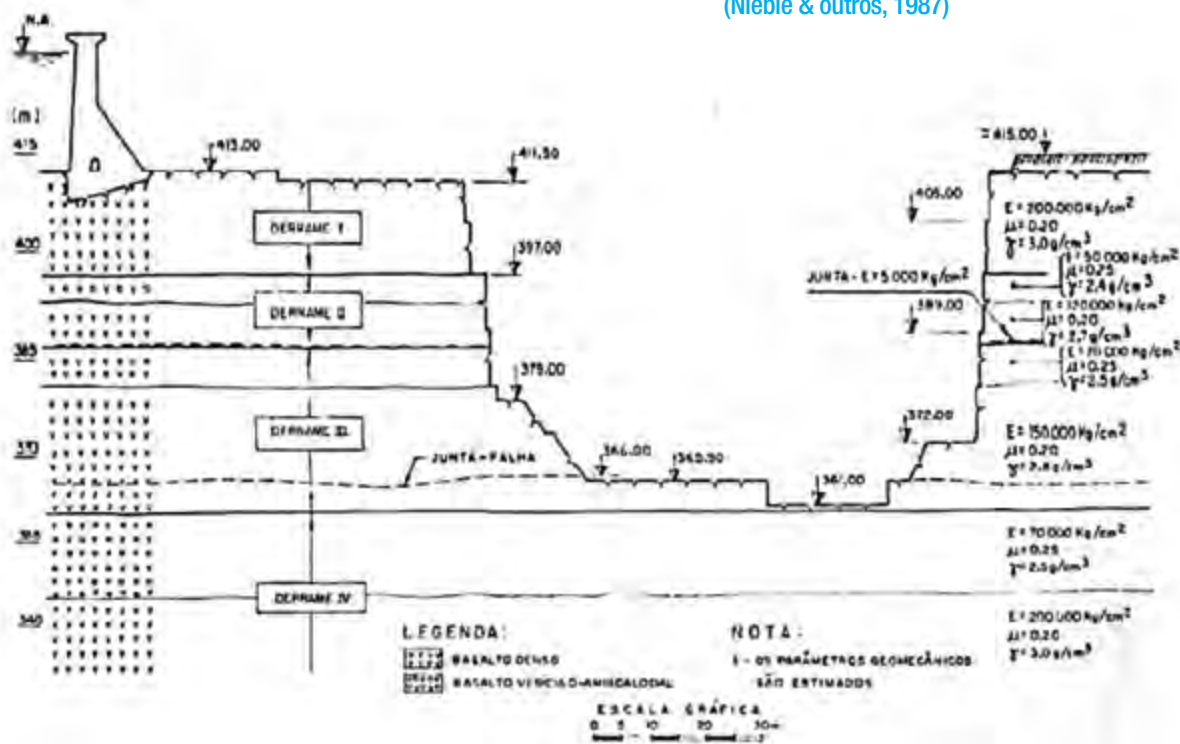


Figura 1 – Seção geológica esquemática e parâmetros geomecânicos (Nieble & outros, 1987)

Após a atribuição de parâmetros, o modelo do maciço original é submetido à remoção gradual do material rochoso da cava projetada para implantação das estruturas, avaliando-se as consequências dessa remoção sobre o maciço circundante remanescente. O estudo, realizado por elementos finitos, permite acompanhar a evolução de tensões e deslocamentos induzidos no maciço adjacente à cava, à medida em que as escavações avançam, servindo de base para a comparação entre as previsões e os eventos reais do protótipo.

A Figura 2 mostra a previsão de deslocamentos obtida pelo MEF ao término das escavações, podendo-se observar que, dentre as manifestações, ocorre um deslocamento das bordas da cava no sentido ascendente. Constata-se, também, uma tendência ao embarrigamento do piso das escavações, refreada pelo confinamento lateral da cava.



Figura 2 – Previsão de deslocamentos ao término das escavações (Nieble & outros, 1987)

No caso descrito, coube ao conjunto de extensômetros e marcos triortogonais de juntas, implantados nas estruturas vizinhas de barramento, a função de verificar a aderência dos deslocamentos previstos aos reais, com resultados coerentes.

3. ALÍVIO DE TENSÕES NO MEIO FÍSICO NATURAL

Ao longo de um vale fluvial, o processo natural de evolução do relevo acarreta na redução de tensões confinantes e pode se manifestar de inúmeras formas, desde o aparecimento generalizado de juntas de alívio no maciço rochoso próximo à superfície do terreno, até deslocamentos conjugados ao longo das paredes do vale. A intensidade dessas manifestações é diretamente proporcional com a velocidade com que o alívio de tensões se processa. Na natureza, o fenômeno de relaxação em maciços rochosos adquire a escala dimensional proporcionada pela liberdade de manifestação disponível. Ao longo de um vale fluvial, os reflexos de um processo erosivo ocorrem com maior grau de liberdade, sem as restrições volumétricas do caso da cava acima citado.

O tema tem sido historicamente estudado por vários autores, em campo internacional e nacional. Em 1974, Ferguson apresentou a seção idealizada de um vale fluvial com indicação das feições que podem ser observadas como resultado do processo de entalhamento do próprio vale, decorrentes de mudanças no estado de tensões (Figura 3).

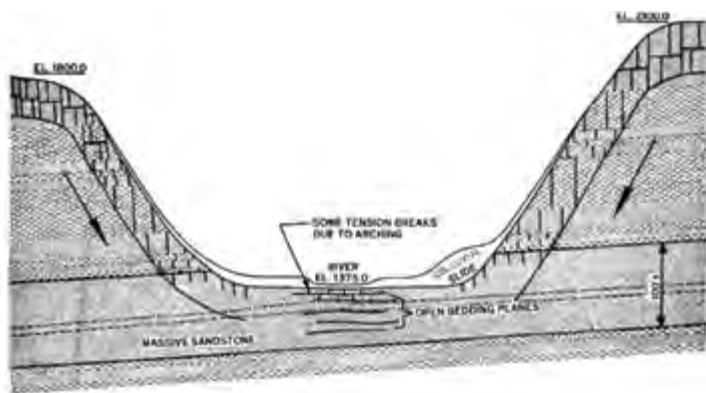


Figura 3 – Seção idealizada mostrando as feições resultantes do alívio de tensões em vale fluvial (Ferguson, 1967)

Esse modelo foi consolidado por Patton & Hendron (1974), que acrescentaram outras feições identificadas ao longo das encostas laterais e sob o talvegue do rio, graças a observações feitas em escavações de barragens (Figura 4).



Figura 4 – Estruturas relacionadas com o alívio de tensões em vales fluviais, em rochas acamadas (Patton & Hendron, 1974)

O avanço no conhecimento dos reflexos do alívio de tensões em vales fluviais ocorreu, primeiramente, em maciços sedimentares. Os modelos registraram as respostas dessas rochas às novas condições impostas pelo progressivo desconfinamento. Dentre os reflexos sobressaem os seguintes aspectos:

a) abertura de juntas nas encostas laterais

Com a evolução e aprofundamento do vale fluvial, o desconfinamento lateral nas camadas sedimentares se reflete na geometria das encostas. Isso ocorre em função das características de elasticidade das camadas, da presença de mergulhos para o interior do vale e da intensidade do alívio de tensões pretéritas. Nas encostas laterais, as mudanças podem adquirir dimensões relevantes, com a formação de fendas paralelas às faces, que podem alcançar dezenas de metros de altura e centenas de metros de extensão, com abertura até métrica. A frequência e abertura das fendas diminuem com o aumento da distância da borda e com o aprofundamento do vale.

b) movimentação ascendente da orla do vale

Nas bordas superiores do vale fluvial, o desconfinamento acarreta uma movimentação da orla no sentido ascendente, que pode ser de magnitude não desprezível, a ponto de interferir no fluxo das águas superficiais, fazendo com que pequenos cursos de água se desenvolvam paralelamente ao vale principal, antes de conseguirem desaguar nele.

Um caso real dessa peculiar condição de drenagem superficial foi documentado na região de implantação da barragem de Itaipu, onde o curso do rio Paraná se encaixa em um estreito vale escavado em rocha basáltica, à guisa de um canyon, com profundidade superior a 150 metros. Antes do enchimento do reservatório, era possível observar que pequenos afluentes na margem brasileira corriam paralelos ao curso do rio Paraná, conforme documenta

a Figura 5, antes de conseguirem despejar suas águas no grande rio. Já na margem direita do rio Paraná, que se situa no Paraguai, este aspecto relacionado ao curso de pequenos rios podia ser observado, embora em menor intensidade, o que levanta a questão a respeito das possíveis causas da aparente assimetria.

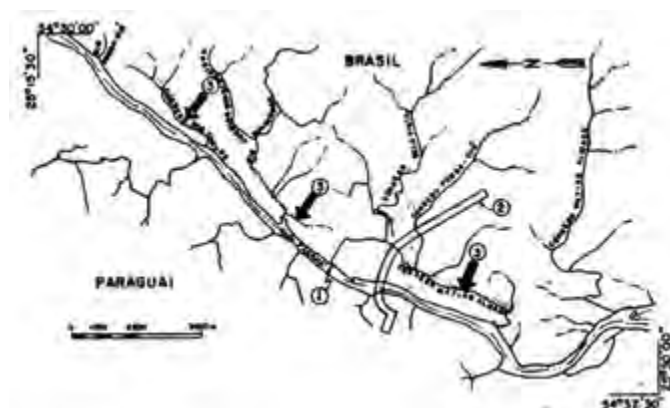


Figura 5 – Itaipu – Drenagem superficial em paralelismo com o rio
Legenda: 1) Rio Paraná; 2) Eixo da barragem; 3) Cursos d'água mantendo paralelismo com o rio (Guidicini, 1982)

c) soerguimento do fundo do vale

Na base do vale, camadas menos rígidas (siltitos, argilitos, margas) tendem a se deformar plasticamente, enquanto camadas de materiais mais competentes (arenitos) atuam como corpo rígido, respondendo às solicitações através do soerguimento do fundo, à guisa de um anticlinal. O soerguimento do fundo varia em intensidade, em função da geometria do vale, das características de elasticidade das diferentes camadas e da eventual presença de tensões horizontais atuantes, podendo alcançar magnitude da ordem de 10% da profundidade do vale (Matheson & Thomson, 1973).

d) falhamentos cruzados

Nas camadas de materiais mais competentes (arenitos, por exemplo), o desequilíbrio no quadro de tensões sob o leito do rio pode fazer com que se alcance o limite de resistência, com aparecimento de superfícies de cisalhamento que se entrecruzam e afloram à superfície do terreno. Um exemplo de falhas de baixo ângulo geradas pelo processo de alívio de tensões consta na Figura 6, que documenta uma parede de escavação em arenitos brandos, com cruzamento das superfícies de movimentação. A imagem foi tirada nas escavações da PCH Balsas Mineiro, no rio das Balsas (TO). O geólogo George Simmons observa a parede de escavação da bacia de dissipação do vertedouro, onde o fenômeno foi registrado.

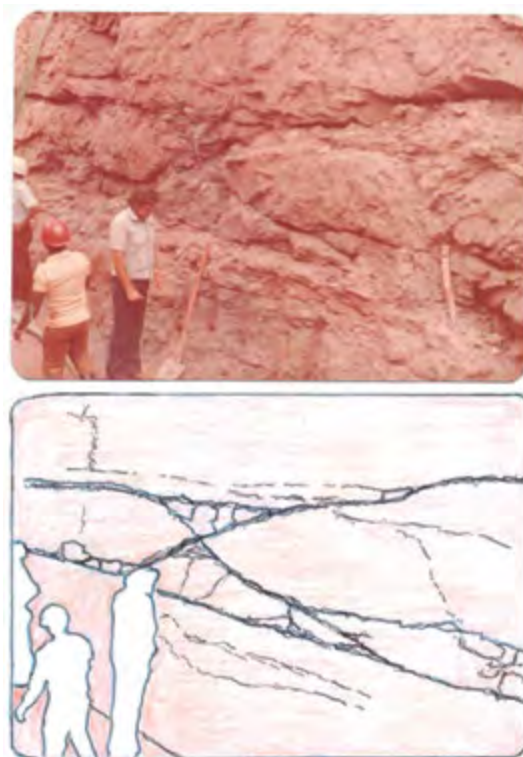


Figura 6 – Falhas cruzadas em arenitos

Já, em materiais de comportamento plástico, a resposta aos esforços tangenciais, em fundos de vale, se manifesta na forma de deformações da estrutura sedimentar original, num processo denominado *squeezing*, que pode ser descrito como a extrusão do material no sentido ascendente, exemplificado na Figura 7, a seguir.

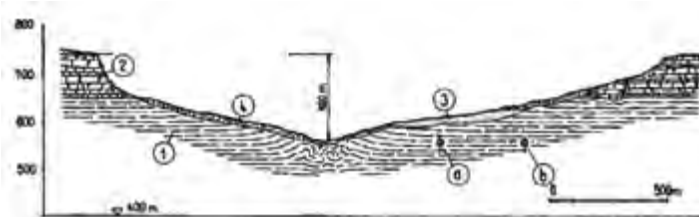


Figura 7 – Extrusão por plastificação no vale do rio Arges, nos montes Cárpatos

Legenda: 1) Argilas holocênicas; 2) Arenitos; 3) Depósitos de terraço; 4) Detritos e escorregamentos; a e b) Alternativas de posicionamento de um túnel (Záruba, 1958)

e) cataclase e estrias de fricção

Os deslocamentos relativos entre camadas superpostas induzem o aparecimento de estrias de fricção ao longo das superfícies de movimentação, bem como a fragmentação e moagem (cataclase) do material das paredes das juntas, resultando no preenchimento das discontinuidades com características geotécnicas pobres.

4. O PROCESSO OCORRE TAMBÉM EM ROCHAS ÍGNEAS E METAMÓRFICAS

O processo de alívio de tensões em vales fluviais, cujo conhecimento foi adquirido e documentado em meio rochoso sedimentar, pode ser observado também em rochas ígneas e metamórficas, sobretudo quando estas apresentam estruturação similar ao acamamento. É o caso das rochas basálticas da bacia do Paraná, onde os derrames configuram uma sucessão de camadas superpostas, graças também à presença de extensas discontinuidades de andamento sub-horizontal no interior dos corpos basálticos - que contribuem para ressaltar esse aspecto estratificado.

Em basaltos, os reflexos do alívio de tensões têm sido documentados com alguma frequência em sítios de empreendimentos hidrelétricos, onde as extensas paredes de escavações têm propiciado observações reveladoras. Marques Filho & Levis (1978) documentaram o complexo sistema de zonas fraturadas e alteradas encontrado nas escavações no leito do rio Iguaçu no sítio da UHE Foz do Areia, com cruzamento das discontinuidades, descritas como zonas cisalhadas sub-horizontais (Figura 8). Aqueles autores revelaram que feições similares pareciam ocorrer nos locais das UHEs Itá e Machadinho, indicando ser o fenômeno bastante comum em vales fechados e profundos..

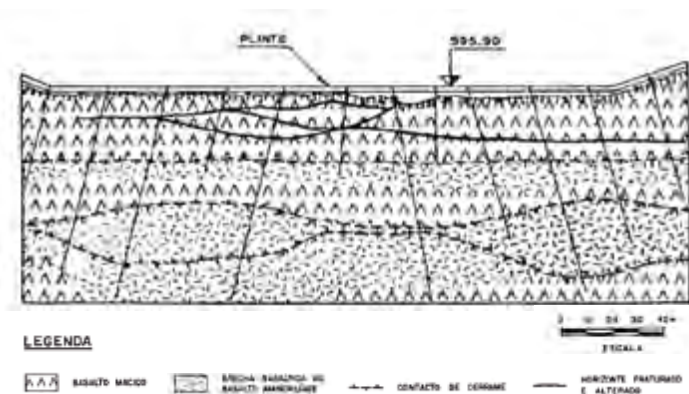


Figura 8 – Foz do Areia – Zonas fraturadas por descompressão no leito do rio (Marques Filho & Levis, 1978)

Zonas de falhamentos sub-horizontais entrecruzados foram encontradas nas escavações da UHE Itaipu, em rocha basáltica, em correspondência aos blocos do barramento, localizados no leito do rio, caracterizadas pelo preenchimento por material rochoso cataclásico e decomposto, com nítidas evidências de movimentação.

A Figura 9 traz uma seção geológica simplificada do sistema de falhas cruzadas, que recebeu no local a denominação de “falhamentos em bigode”. As superfícies de movimentação coincidem com extensas discontinuidades pré-existentes no

interior de cada derrame. No fundo do *canyon*, o alívio de tensões verticais equivale à remoção de uma cobertura de, pelo menos, 150 metros de espessura.

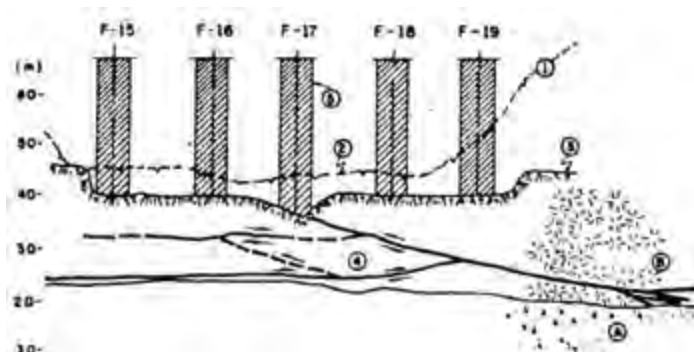


Figura 9 – Itaipu - Seção geológica simplificada no talvegue do rio Paraná, mostrando o sistema de falhas cruzadas

Legenda: 1) Margem esquerda; 2) Talvegue natural do rio; 3) Escavação; 4) Falhamentos cruzados; 5) Estruturas de desvio; A, B) Derrames basálticos (Barros & Guidicini, 1981)

Em galerias abertas na fundação basáltica de Itaipu foi possível observar os deslocamentos ocorridos ao longo das extensas discontinuidades portadoras de material rochoso cataclásico e parcialmente decomposto (*gouge*). Constatou-se que a movimentação era maior nas vizinhanças das encostas do vale, diminuindo à medida que as observações se afastavam das referidas encostas.

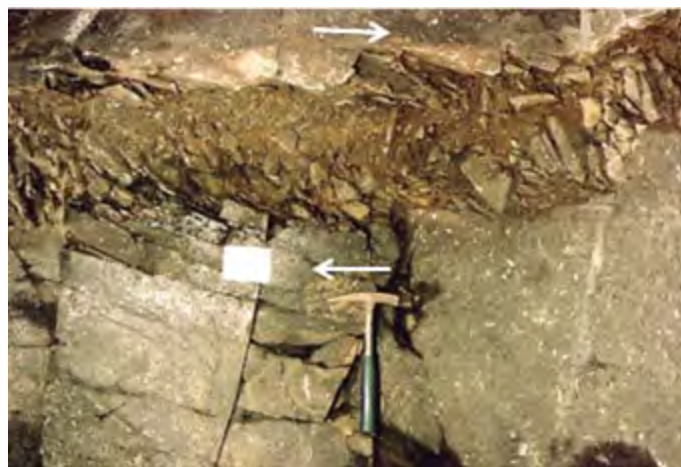


Figura 10 – UHE Itaipu - Fragmentos de rocha iso-orientados preenchem uma caixa da junta-falha e revelam o sentido de movimentação (Itaipu Binacional, 1982)

O quadro de movimentação relativa dos estratos basálticos superpostos observado em Itaipu aparenta seguir o modelo apresentado por Matheson (1972), com deslocamentos cumulativos no sentido ascendente da topografia (Figura 11).

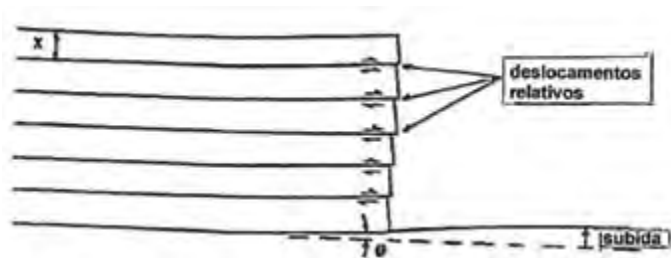


Figura 11 – Modelo de deslocamentos relativos por alívio de tensões em vale fluvial (Matheson, 1972)

Em Itaipu, os deslocamentos relativos horizontais medidos entre estratos sucessivos variaram, mesmo ao longo de uma só feição, desde poucos centímetros até algumas dezenas de centímetros, não ultrapassando 40 cm (Itaipu, 1980). A direção predominante de deslocamento, coincidente com a das estrias de fricção, era ENE-WSW, ou seja, quase normal ao eixo do rio Paraná.

f) cavidades

O modelo da Figura 3 indica, dentre as feições neoformadas em decorrência do alívio de tensões, a presença de cavidades, que seriam consequência de movimentos diferenciais entre estratos geológicos superpostos. Este gênero de feição foi observado pelo autor em escavações em rochas metamórficas de alto grau. Durante a execução das escavações para a UHE Candonga (hoje, Risoleta Neves) no rio Doce, apareceu momentaneamente a cavidade da Figura 12. Logo em seguida, ela foi destruída pelo prosseguimento das escavações, mas, felizmente, documentada. O maciço rochoso local é constituído por um paragnaisse bandeado, formado pela alternância de estratos de coloração clara (quartzo-feldspáticos) com outros de coloração escura (minerais ferromagnesianos), ambos com espessura decimétrica a métrica. A foliação gnáissica é sub-horizontal, o que traz semelhança com rochas acamadas.



Figura 12 – UHE Candonga – Cavidade dômica associada com alívio de tensões, nas escavações do maciço gnáissico

Na imagem, o geólogo Marcelo Lucena Duarte se encontra agachado ao lado da cavidade, que possuía forma dômica alongada, à guisa de um pequeno anticlinal, com dimensão métrica (largura) no plano horizontal e altura máxima de 0,40 m. Não foi possível averiguar a terceira dimensão (extensão).

A estrutura foi interpretada como sendo reflexo de movimentação diferencial ao longo de planos de foliação superpostos, concomitante à redução das tensões normais confinantes, sob a atuação de esforços horizontais. O mecanismo guarda semelhança com o que ocorre com as folhas de um caderno quando submetidas a esforços tangenciais que causam deslocamentos diferenciais entre estratos de folhas sucessivos (Figura 13).

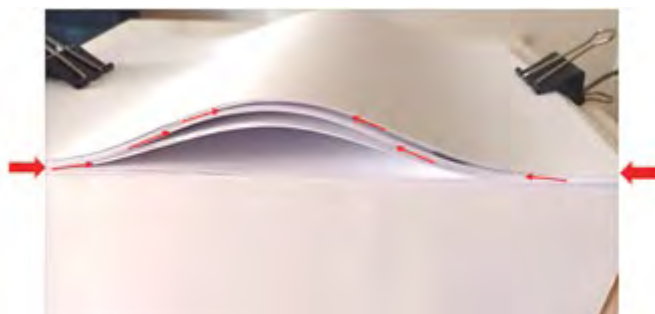


Figura 13 – Movimentação diferencial em folhas de papel, simulando o processo natural de formação de vazios sob o talvegue do rio

Os resultados do processo de alívio de tensões têm reflexos importantes sobre as características geomecânicas do maciço rochoso, visto que a movimentação relativa entre estratos sucessivos rompe os elos coesivos, reduzindo o maciço à condição de resistência residual.

Por ocasião da execução de cortinas de vedação, a eventual presença de volumosos espaços vazios na fundação de uma barragem resulta em elevado consumo de material injetado, o que, no caso da UHE Candonga, pode servir de explicação para a detecção de grandes quantidades de cimento injetadas em determinados setores da fundação das estruturas do barramento. Em todos os casos documentados, a tendência geral dos deslocamentos observados dentro do quadro de análise aparenta ser condizente com os deslocamentos previstos pela teoria da elasticidade.

5. CONCLUSÕES

Nos casos de alívio de sobrecarga em vales fluviais em rochas sedimentares, ígneas extrusivas ou metamórficas, apresentados nos itens anteriores, a complexidade do quadro estrutural levanta a questão a respeito da capacidade de todas as feições

neoformadas terem sido geradas, exclusivamente, pela busca de uma nova situação de equilíbrio de tensões durante a formação do vale, sem o auxílio de agentes externos ao quadro. É provável que as manifestações de alívio de tensões observadas em vales fluviais e descritas ao longo do presente texto ocorram com a participação de forças geradas por neotectonismo, particularmente em rochas duras.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, F.P. & GUIDICINI, G. (1981) – Um processo natural de alívio de tensões e o projeto de drenagem das fundações da barragem de Itaipu. In: XIV Seminário Nacional de Grandes Barragens. Recife. CBGB. Anais: Vol. 1, Tema 1. Pág. 519-539.

FERGUSON, H.F. (1967) – Valley stress release in the Allegheny Plateau. Bulletin of the Association of the Engineering Geologists, Vol.4, nº 1, pág. 63-68.

GUIDICINI, G. (1982) – Discussão. In: XIV Congresso Internacional de Grandes Barragens, Rio de Janeiro. CBGB/ICOLD. Anais ... Vol. V, pág. 307-310.

MARQUES FILHO, P.L. & LEVIS, P. (1978) – Aspectos geológicos de barragens de enrocamento com face de concreto. In: II Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. São Paulo. ABGE. Anais ... pág. 105-117.

MATHESON, D.S. (1972) – Geotechnical implications of valley rebound. Tese de Doutorado. Alberta, Canadá. 587 páginas.

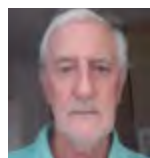
NICHOLS, JR., T.C. (1980) – Rebound, its nature and effect on engineering

works. In: Quarterly Journal of Engineering Geology. Vol. 13, pág. 133-152.

NIEBLE, C.M., GUIDICINI, G. & LOUSA, J. (1987) – Segurança das estruturas de concreto nas vizinhanças das escavações: o caso da Usina Hidrelétrica de Cachoeira Dourada, Brasil. In: I Conferência Ibero-Americana sobre Aproveitamentos Hidráulicos, Lisboa. LNEC. Anais... Vol. 1, pág. C-9-22.

PATTON, F.D. & HENDRON JR., A.J. (1974) – General report on mass movements. In: II Congresso Internacional da IAEG. São Paulo. Anais ... Vol. 2, Tema V. 57 páginas.

ZÁRUBA, Q. (1958) – Bulged valleys and their importance for foundation of dams. In: VI Congresso Internacional de Grandes Barragens. New York. ICOLD. Anais ... Vol. IV, C.30, pág. 509-515.



Guido GUIDICINI

É Geólogo Especialista em Geologia de Engenharia, com experiência profissional ininterrupta desde março de 1964. Participou de cerca de 200 estudos e projetos de barragens, em sua maioria associados com aproveitamentos hidrelétricos e construção de açudes no Nordeste. Sua experiência cobre as etapas típicas destes gêneros de empreendimentos, desde as primeiras avaliações de inventário até a análise do comportamento de obras. É autor de diversos livros sobre barragens, túneis, encostas naturais e de escavação, além de levantamentos bibliográficos sobre a Geotecnia no Brasil. Atua na Newton Carvalho - Consultoria em Geologia Geotécnica Ltda.

HYDRO 4.0 - A GESTÃO DE DADOS DE AUSCULTAÇÃO COM O EMPREGO DE *DATA ANALYTICS*

Luis Fernando Pedrozo MELEGARI | Engenheiro Civil | CPFL Energia

Viviane Casacio de ALMEIDA | Estatística | CPFL Energia

Helton Marinho de ÁVILA | Estatístico | CPFL Energia

Arthur Couto MANTESE | Engenheiro Civil | CPFL Energia

Felipe de Moraes ALVES | Engenheiro Civil | CPFL Energia

RESUMO

A CPFL tem, em seu portfólio, barragens de todos os tipos, graus de instrumentação, alturas e idades instaladas em todo o Brasil. A gestão dessas barragens demanda, além da rotina de inspeções presenciais, análise e acompanhamento de um grande volume de dados. Com o objetivo de proporcionar um melhor gerenciamento de riscos e suporte às decisões técnico-gerenciais, foi idealizado e desenvolvido o Hydro 4.0, a plataforma digital de segurança de barragens da CPFL. Esse sistema opera a partir do Centro de Gestão de Barragens (CGB), onde monitoramos, de forma contínua e sistemática, o comportamento das barragens, bem como a previsão meteorológica, com atenção especial para situações de alta afluência, gestão à vista de segurança e acompanhamento de indicadores de segurança das barragens.

ABSTRACT

CPFL has in your portfolio dams of all types, degrees of instrumentation, heights, ages installed throughout the country. The management of these dams requires, in addition to routine in-person inspections, analysis and monitoring of a large volume of data. With the aim of providing better risk management and support for technical-managerial decisions, Hydro 4.0 was designed and developed, the digital dam safety platform of CPFL. This system operates from the Dam Management Center - CGB, where we continuously and systematically monitor the behavior of dams, as well as the weather forecast, with special attention to high-flow situations, management with a view to safety and monitoring of safety indicators of the dams.

1. O PROJETO HYDRO 4.0

A CPFL possui, atualmente, em seu portfólio, 55 usinas hidrelétricas com barragens de todos os tipos, graus de instrumentação, alturas e idades instaladas em todo o país. Para atender a demanda regulatória e garantir a segurança das barragens, contamos com um time de engenharia que atua no monitoramento constante destas estruturas, considerando, além da rotina de inspeções visuais presenciais, análise e acompanhamento de um grande volume de dados de, aproximadamente, 1.800 instrumentos de auscultação.

Tendo por base o grande volume de dados e com o objetivo de proporcionar um melhor gerenciamento de riscos e suporte às decisões técnico-gerenciais, foi idealizado e desenvolvido o Projeto Hydro 4.0, o Sistema de Gestão de Segurança de Barragens (SGSB) da CPFL, garantindo:

- Disponibilização de dados em tempo real;
- Previsão de eventos meteorológicos (como grandes cheias);
- Monitoramento da bacia hidrológica;
- Dados operacionais;
- Informações de comportamento das barragens através dos dados de instrumentação;
- Imagens do sistema de câmeras.

O Projeto Hydro 4.0 está estruturado com três frentes:

- área unificada de dados (*data lake*);
- *dashboards*;
- aplicação.

Área unificada de dados

Foi desenvolvido um *data lake*, baseado no *Microsoft Azure* e em ferramentas complementares, com o objetivo de aquirir, processar e armazenar dados de diferentes fontes.

Dashboards

Para a gestão das informações disponibilizadas no *data lake*, foram criados painéis, *dashboards* e alertas utilizando os dados de diferentes fontes para a gestão à vista. Como premissa de projeto, aproveitando a interconectividade do ecossistema das ferramentas *Microsoft*, esses *dashboards* foram desenvolvidos em *Power BI*.

Aplicação

Para otimizar a apresentação dos dados e facilitar a experiência do usuário, foi implementada a aplicação para visualização de todas as informações unificadas, contemplando:

- Cadastros e configurações;
- Apresentação dos *dashboards*;
- Apresentação de mapas meteorológicos;
- Apresentação e gestão de imagens de sistema interno de TV das usinas em tempo real e gravadas (CITV).

O desenvolvimento desta solução no monitoramento de barragens partiu da criação de um *data lake* como primeiro passo para estabelecer uma governança de informações, proporcionando a construção de uma plataforma integrada de Gestão e Análise de Segurança de Barragens. Com apoio de tecnologias de processamento como *big data*, *machine learning* e *analytics*, a plataforma armazena e avalia em tempo real, de forma centralizada, dados sobre as barragens.

1.1 TELA PRINCIPAL DO SISTEMA

O Hydro 4.0. possui uma tela principal onde é possível ter uma visão geral da condição de todas as barragens, a partir do *Health Index*. O *Health Index* é um indicador que apresenta a condição geral de cada barragem, baseada em quatro indicadores:

- Alertas diários: com base na aplicação de modelos baseados em *data analytics* e *machine learning*, aplicados aos registros dos instrumentos de auscultação, são emitidos alertas que possibilitam a identificação de qualquer leitura anômala. O detalhamento das soluções desenvolvidas pela CPFL é apresentado no Item 3;
- Frequência de medições: indica se as leituras estão sendo realizadas dentro da periodicidade estabelecida;
- Telemetria: indica se os dados das estações telemétricas ultrapassaram valores de referência pré-estabelecidos ou se há problemas com a conexão e a fonte de dados;
- Inspeções: indica se as inspeções regulares foram realizadas dentro da periodicidade programada.

Esta tela apresenta, também, o nível de segurança de cada barragem e possibilita, a partir do cards, acessar os *dashboards* específicos com as informações de cada uma.

1.2 DASHBOARDS

Para a visualização e gestão dos dados, foram desenvolvidos *dashboards*, baseados no *Microsoft Power BI*, que apresentam as informações agrupadas de acordo com as fontes de dados. Os grupos de *dashboards* apresentados no Hydro 4.0 são os seguintes:

- **Dashboard Meteorologia:** O sistema se utiliza das previsões elaboradas pelo site *Meteoblue* (Meteoblue, 2024), que apresenta os resultados considerando vários modelos de previsão. A ferramenta disponibiliza várias informações como: temperatura, precipitação, vento, entre outros. Os dados de previsão meteorológica são importantes para a gestão das barragens, pois permitem, em conjunto com os dados das estruturas, antecipar o comportamento do rio a montante e projetar cenários de afluência para a usina - e, dessa forma, os carregamentos para as estruturas.
- **Dashboard Telemetria:** As estações meteorológicas, que são implantadas durante a construção das usinas e têm a função de monitorar os níveis e vazões dos rios afluentes ao reservatório, fornecem informações relevantes que permitem antecipar cenários de cheias e carregamentos nas estruturas. O sistema coleta e disponibiliza no *data lake* os dados atualizados de todas as estações dessa usina com informações coletadas no sistema oficial de telemetria da Agência Nacional de Águas (ANA).
- **Dashboard Instrumentação:** Os dados da instrumentação são fundamentais para o Hydro 4.0, pois possibilitam monitorar o desempenho da estrutura frente aos carregamentos impostos por níveis de reservatório e defluência de cheias. Com alguns instrumentos automatizados, podemos acompanhar em tempo real a condição da estrutura. O sistema aquisita os dados diretamente do SGSB.

1.3 MAPAS METEOROLÓGICOS

É possível navegar pelo mapa e alterar os parâmetros que são apresentados, tais como temperatura, precipitação, vento, entre outras informações. Há também a possibilidade de apresentar as imagens atualizadas de satélites e as informações de radares meteorológicos.

1.4 CÂMERAS

A funcionalidade 'Câmeras' permite o acesso às imagens em tempo real do sistema de monitoramento do circuito interno de TV da usina para observar as condições das estruturas. Essa funcionalidade é importante porque, em situações de cheias, nem sempre a estrutura está acessível para fazer leituras na instrumentação. Afinal, ter um monitoramento visual ajuda na verificação da condição da estrutura. A ferramenta permite visualizar as imagens em tempo real e fazer buscas com imagens gravadas no servidor do circuito interno de TV da usina.

2. O CENTRO DE GESTÃO DE BARRAGENS (CGB)

Apesar do sistema Hydro 4.0 ser uma ferramenta que pode ser acessada no navegador web, foi idealizado e implantado o Centro de Gestão de Barragens (CGB), em funcionamento na sede da CPFL em Campinas (SP). O CGB tem o objetivo de proporcionar um centro de gestão à vista para o monitoramento das barragens. Em períodos de eventos críticos, como cheias extraordinárias, esse centro funciona como uma sala de crise para apoio técnico e discussões durante o acompanhamento e gestão da situação. A Figura 1 abaixo apresenta uma vista geral da sala.



Figura 1 – Sala do Centro de Gestão de Barragens (CGB)

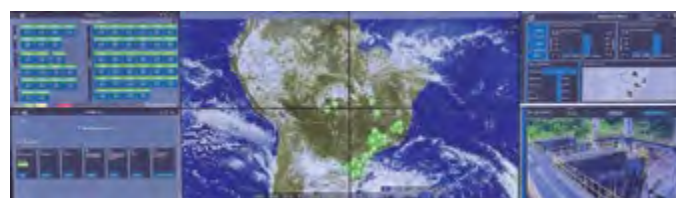


Figura 2 – Composição das telas do Centro de Gestão de Barragens

3. MONITORAMENTO DE INSTRUMENTOS DE AUSCULTAÇÃO COM RECURSOS DE DATA ANALYTICS

Com o objetivo de otimizar a análise e aplicar ferramentas que agreguem valor ao monitoramento das barragens, as áreas de Segurança de Barragens e Centro Analítico da CPFL atuaram em conjunto para o desenvolvimento de solução baseada em data analytics aplicada à instrumentação de auscultação das barragens, proporcionando maior controle e atuação ativa por parte da engenharia no que tange a auscultação de barragens instrumentadas. Nessa iniciativa, foram utilizadas as metodologias

de Controle Estatístico de Qualidade e modelo de série temporal Prophet para desenvolvimento de limites estatísticos das leituras históricas de mais de 1.800 equipamentos. Este produto possibilita o monitoramento contínuo e sistemático das estruturas, com a identificação de leituras anômalas para cada instrumento individualmente.

3.1 CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE (CEQ)

O Controle Estatístico de Qualidade (CEQ) é uma metodologia robusta que tem sido aplicada em diversas indústrias para monitorar e melhorar a qualidade dos processos. No contexto das usinas hidrelétricas, o CEQ oferece uma abordagem sistemática para a análise e controle de dados de leitura dos instrumentos de auscultação das estruturas de barragens, possibilitando a identificação de quaisquer desvios significativos de maneira sistêmica. Além disso, permite que as devidas medidas corretivas sejam tomadas, garantindo, assim, a segurança e a eficiência das barragens.

A aplicação do CEQ neste projeto envolveu a criação de intervalos de confiança baseados no histórico de cinco anos de leituras dos instrumentos de auscultação. Para essa aplicação, as séries históricas dessas leituras foram diferenciadas para serem ajustadas com os objetivos de remover o efeito da tendência e proporcionar uma análise mais precisa dos dados.

Os limites estatísticos foram construídos a partir da seguinte equação:

$$L = X \pm 2\sigma$$

onde L são os intervalos de confiança, X é a média da série de leituras e σ é o desvio padrão da série de leituras. Este critério, conhecido como regra dos dois desvios padrões, é comumente utilizado no CEQ para identificar variações significativas nos dados (Montgomery, 2020).

A Figura 3 indica, à esquerda, a série histórica de leituras de um medidor de vazão para uma das barragens do grupo sem nenhum tratamento prévio. À direita, é indicado o gráfico de controle para este equipamento, devidamente ajustado para remover a tendência dos dados da série e com os limites estatísticos calculados pelo CEQ. Foi verificado que os pontos que estão fora desses limites indicados eram *outliers* gerados em função da transcrição dos dados. Então, ações foram tomadas para evitar esse tipo de problema, promovendo uma melhoria na confiabilidade dos dados.

3.2 MODELO PROPHET

O modelo *Prophet* é uma técnica automatizada para previsão de dados de séries temporais baseada em um modelo aditivo que se ajusta bem em séries com fortes efeitos sazonais e várias temporadas de dados históricos. O modelo também é considerado robusto para dados faltantes e mudanças na tendência, além de possuir capacidade para lidar com a presença de *outliers* nos dados. *Prophet* é um modelo preditivo amplamente utilizado no mercado para previsão de séries temporais. Seu *framework open-source* foi desenvolvido, inicialmente, pela empresa Facebook. O modelo *Prophet* pode ser expresso pela seguinte fórmula:

$$y(t) = g(t) + s(t) + h(t) + \epsilon t$$

Onde: $y(t)$ é a previsão; $g(t)$ representa a tendência de mudanças não periódicas; $s(t)$ representa a sazonalidade de mudanças periódicas; $h(t)$ representa os efeitos dos feriados; e ϵt é o erro (Taylor, 2018).

No produto Monitoramento de Instrumentos, o modelo *Prophet* foi aplicado de maneira estratégica junto à técnica de CEQ para prever as leituras de cada série temporal associada para cada instrumento monitorado individualmente. Com essa técnica,

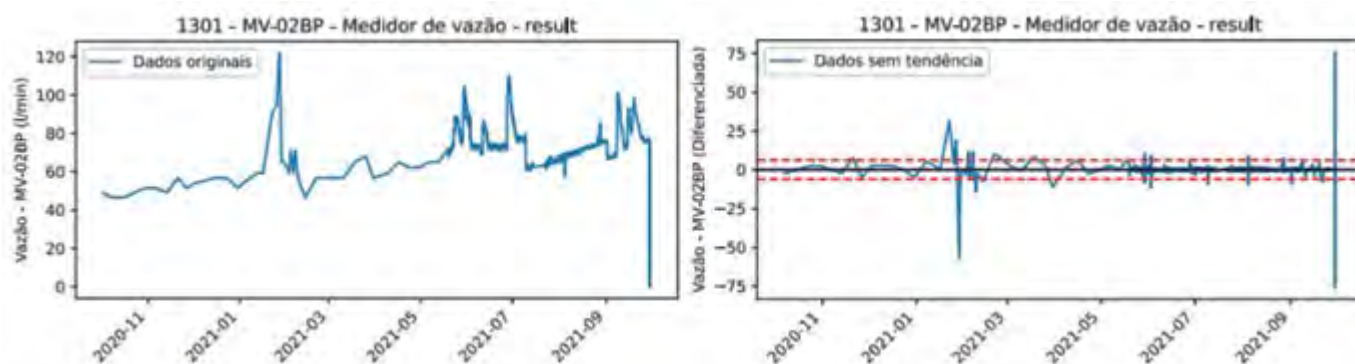


Figura 3 – Comparação entre série histórica de leituras de um medidor de vazão (à esquerda) e seu gráfico de controle ajustado (à direita)

foram ajustados modelos massivos para todos os instrumentos abordados no projeto, levando em consideração as características individuais dos equipamentos, como suas tendências históricas e sazonalidades. O *Prophet*, com sua capacidade de lidar com tendências não-lineares e efeitos sazonais, provou ser uma ferramenta valiosa para essa tarefa.

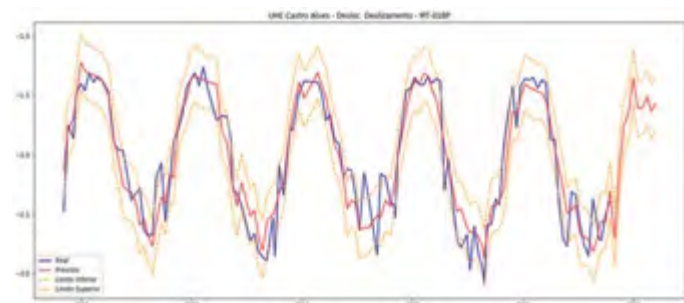


Figura 4 – Modelo ajustado para sensor de uma barragem específica

Após o ajuste dos modelos, foram geradas previsões para as leituras futuras de cada instrumento, individualmente. Com esses resultados gerados, foram criados intervalos de predições, indicando uma zona de aceitabilidade para as leituras esperadas dos equipamentos. Esses intervalos de predição são exemplificados na Figura 4, a qual exibe o modelo ajustado para um medidor triortogonal. Note-se que o modelo identificou que todas as leituras do período estavam dentro dos limites de predição calculados.

Por fim, quando é identificado que alguma leitura ultrapassou os limites definidos pelo método de CEQ ou pelo modelo *Prophet*, ela é considerada um valor anômalo na série temporal do instrumento em questão e um aviso é enviado automaticamente por e-mail para os engenheiros responsáveis pelo monitoramento das barragens. Este sistema de alerta precoce permite que os engenheiros e técnicos possam checar/verificar as leituras e/ou, eventualmente, tomar medidas corretivas em tempo hábil, garantindo a segurança e a eficiência da instrumentação das barragens nas usinas da CPFL.

4. SISTEMA DE ALERTAS

Esse sistema foi gerado com o objetivo de avaliar a integridade física das estruturas das barragens através da análise do comportamento conjunto das leituras dos equipamentos. Para isso, foram mapeados cenários definidos pelas leituras derivadas de equipamentos localizados fisicamente no mesmo bloco ou seção de cada barragem. Esse mapeamento está exemplificado na Figura 5, em que foram mapeados os instrumentos (extensômetros, medidores ortogonais e piezômetros) localizados em cada bloco da estrutura da barragem.

Assim, para cada um dos 319 cenários de blocos ou seções levantados, foi construída uma base de dados para treinamento dos modelos. Nesta iniciativa, foram aplicados dois modelos de

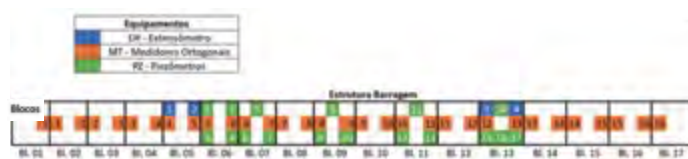


Figura 5 – Exemplo de agrupamento de equipamentos na barragem

aprendizagem não supervisionada de *Machine Learning* para detecção de anomalias: o *One Class Support Vector Machine* e o *Isolation Forest*. As anomalias são pontos de dados que não estão em conformidade com o comportamento geral do restante (Tian, 2010).

Ambos os modelos geram inferência diariamente, considerando os dados inseridos de cinco anos atrás até o dia anterior. Quando os dois modelos, separadamente, detectam uma anomalia no dia anterior, um alerta é enviado por e-mail para os engenheiros responsáveis verificarem a estrutura.

4.1 MODELO ISOLATION FOREST

O *Isolation Forest* é um algoritmo não supervisionado de *Machine Learning* para detecção de anomalias através do isolamento de valores discrepantes observados nos dados. No algoritmo, a decisão dos valores a serem isolados se baseia em uma lógica de árvore: partições são geradas recursivamente a partir da seleção aleatória de cada variável e de um valor de corte de acordo com a amplitude dessa variável. A premissa é a de que as anomalias precisam de menos partições aleatórias para serem isoladas em comparação com pontos regulares no conjunto de dados (Liu, et al, 2012).

4.2 MODELO ONE-CLASS SUPPORT VECTOR MACHINE

Por sua vez, o *One-Class Support Vector Machine (OCSVM)* é um algoritmo não supervisionado de *Machine Learning* para detecção de anomalias através da definição de uma fronteira em torno da classe majoritária, formada pelos dados considerados dentro do padrão. Este limite cria uma região de normalidade e deixa os pontos anômalos de fora. Para essa determinação, a partir dos dados de treino, o OCSVM utiliza uma função Kernel para encontrar um hiperplano otimizado, maximizando a margem entre o hiperplano e os valores normais, permitindo uma separação mais robusta entre pontos de dados regulares e anômalos (Erfani, et al., 2016).

4.3 TESTES DE ESTRESSE

Após o treino dos modelos, foram realizados testes de estresse para calibração. Os testes consistiam na simulação de valores considerados aberrantes para o padrão histórico dos dados para realizar a inferência dos modelos treinados, avaliando e calibrando, assim, a identificação correta de anomalias.

A Figura 6 traz um exemplo do teste de estresse performedo para um dos cenários mapeados. Foi simulado um valor considerado aberrante para uma leitura de 2020 do equipamento MV-01BP (medidor de vazão). Os modelos treinados geraram inferência para esse período e foi verificado que ambos os modelos identificariam o ponto simulado como anomalia (revelado pela linha tracejada vermelha).



Figura 6 – Exemplo de teste de estresse com simulação de ponto aberrante em 2020

5. CONCLUSÕES

A coleta, organização e armazenamento dos dados relevantes para o monitoramento das barragens permitem que sejam aplicadas e desenvolvidas ferramentas baseadas em análise de dados, como aquelas aplicadas à instrumentação de auscultação das barragens.

Vale destacar que a análise de dados aplicada à instrumentação permite que uma análise sistemática e recorrente seja realizada tão breve a leitura seja realizada, sendo de grande relevância quando se considera uma quantidade significativa de dados, como por exemplo, os registros de instrumentos de auscultação automatizados.

O Hydro 4.0, em conjunto com o Centro de Gestão de Barragens, representa uma solução inovadora e inédita no setor elétrico brasileiro, agregando valor significativo à gestão das barragens na CPFL.

Essas ferramentas possibilitam um melhor gerenciamento de riscos e suporte às decisões técnico-gerenciais, bem como o monitoramento de forma contínua e sistemática de todas as barragens, incluindo o comportamento em tempo real e a previsão meteorológica.

6. PALAVRAS-CHAVE

Monitoramento de barragens, sistemas, *big data*, *machine learning*

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Site Meteoblue. Disponível em: <https://www.meteoblue.com/pt/>. Acessado em 24/02/2024.

MONTGOMERY, D. C. (2020) – “Introduction to Statistical Quality Control”, livro editado pela John Wiley & Sons, Inc., New York.

TAYLOR, S. J., & Letham, B. (2018) – “Forecasting at scale”, Volume 72 (1) publicado pela The American Statistician.

TIAN, J., and H. Gu. (2010) – “Anomaly detection combining one-class SVMs and particle swarm optimization algorithms”. Dalian, China: Springer.

LIU, Fei Tony, Kai Ming Ting, and Zhi-Hua Zhou. (2012) – “Isolation-based anomaly detection.” ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data (TKDD) 6.1.

ERFANI, Sarah M., et al. (2016) – “High-dimensional and large-scale anomaly detection using a linear one-class SVM with deep learning.” Pattern Recognition 58.



Luis Fernando Pedroso MELEGARI

É Engenheiro Civil graduado pela UFSC (1995) e Pós-graduado em Engenharia Civil pela UNICAMP (2020). Trabalha como Engenheiro de Segurança de Barragens na CPFL Energia.



Viviane Casacio de ALMEIDA

É Estatística formada pela UNICAMP (2019). Atua como Cientista de Dados Sênior no Centro Analítico da CPFL Energia.



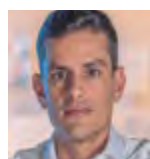
Helton Marinho de ÁVILA

Estatístico formado pela UNICAMP e Pós-graduando em *Data Science* e *Analytics* pela USP/ESALQ. Atua como Cientista de Dados na CPFL Renováveis, possuindo experiência no desenvolvimento de algoritmos de Inteligência Artificial.



Arthur MANTESE

É Engenheiro Civil graduado pela EESC/USP (2011) e Mestre em Geotecnia pela EESC/USP (2021). Possui Especialização em Empreendedorismo e Inovação Tecnológica nas Engenharias pela UNIVESP (2021) e MBA em Gestão de Projetos pela ESALQ/USP (2023). Trabalha como Gerente de Segurança de Barragens na CPFL Renováveis.



Felipe de Moraes ALVES

Engenheiro Civil graduado pela Universidade Federal de Goiás e possui MBA em Gerenciamento de Projetos pela FGV. Trabalha como Gerente Sênior CPFL Renováveis.

MÉTODO *ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)* ADAPTADO PARA BARRAGENS DE PEQUENO PORTE

Alessandra Almeida GONZAGA | Engenheira Civil | Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística (SEMIL)

RESUMO

O estudo propõe adaptações nos critérios de classificação de barragens da Portaria DAEE nº 3318/2022 [1], utilizando o Método *Analytic Hierarchy Process (AHP)* e visando uma avaliação mais justa e precisa para as barragens de pequeno porte. A aplicação do AHP permitiu recalibrar os pesos dos parâmetros analisados, promovendo uma avaliação mais abrangente das barragens. Os resultados indicam que, embora haja uma menor rigidez nas classificações, o método AHP adaptado demonstrou ser eficaz para as barragens do Estado de São Paulo. Juridicamente, o DAEE pode atuar de forma distinta da legislação nacional, contanto que as adaptações estejam alinhadas com os princípios da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e justificadas tecnicamente, conforme previsto na Resolução CNRH nº 143/2012 [2].

ABSTRACT

The study proposes adaptations to the dam classification criteria of DAEE Ordinance nº 3318/22 [1], using the Analytic Hierarchy Process method in order to provide a fairer and more accurate assessment for small dams. The application of the AHP made it possible to recalibrate the weights of the parameters analyzed promoting a more comprehensive assessment of the dams. The results indicate that, although there is less rigidity in the classifications, the adapted AHP method proved to be effective for dams in the state of São Paulo. Legally, DAEE can act differently from the national legislation, as long as the adaptations are in line with the principles of the National Dam Safety Policy and are technically justified, as provided for in CNRH Resolution 143/2012 [2].

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional tem gerado uma maior demanda por recursos naturais, resultando em um aumento nas construções de barragens, especialmente, as de menor porte, muitas vezes, feitas de maneira empírica e sem supervisão técnica adequada.

A Lei Federal nº 12.334/2010 [3], conhecida como Lei de Segurança de Barragens, que instituiu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), estabelece princípios e diretrizes para a segurança dessas estruturas, sendo revisada pela Lei Federal nº 14.066/2020 [4] para fortalecer a prevenção de acidentes como os de Mariana e Brumadinho, em Minas Gerais (MG).

Embora baseados na legislação federal, cada Estado possui autonomia para desenvolver sua própria legislação sobre segurança de barragens. Os estados devem considerar as particularidades de seus territórios e estabelecer normas que atendam às suas necessidades específicas, desde que estejam em conformidade com as obrigações definidas na legislação federal.

No Estado de São Paulo, a regulamentação das barragens de usos múltiplos é estabelecida pela Portaria DAEE nº 3318/2022 [1]. No entanto, as leis federal e estadual não abordam, adequadamente, as barragens de menor porte, que são 207 de um universo de 261 no Estado de São Paulo, e não são classificadas corretamente em relação ao risco e dano potencial associado pelo critério de classificação vigente através da Resolução CNRH nº 143/2012 [2].

O objetivo deste trabalho é ajustar os parâmetros de classificação para analisar melhor as barragens de menor porte, especialmente, as localizadas em áreas rurais, levando em consideração seu real potencial de risco ou dano associado.

2. CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS

Conforme estabelecido na Lei nº 12.334/2010 [3] e na Resolução CNRH nº 143/2012 [2], as barragens são classificadas de acordo com o risco e Dano Potencial Associado (DPA). Essa classificação é feita através de uma matriz que combina a Categoria de Risco (CRI) e o DPA, fornecendo uma avaliação detalhada do potencial de risco e das consequências associadas à estrutura.

A Portaria DAEE nº 3318/2022 [1] estabelece categorias de classificação de A a D, orientando empreendedores e órgãos fiscalizadores sobre as medidas a serem adotadas. Essa classificação influencia as responsabilidades desde o projeto até a manutenção da barragem, incluindo a elaboração do Plano de Segurança de Barragens (PSB) e a Revisão Periódica de Segurança de Barragens (RPSB), realizadas por equipes multidisciplinares de engenharia

e áreas técnicas. Essas diretrizes são essenciais para a gestão da segurança das barragens, garantindo um gerenciamento eficaz e a mitigação dos riscos associados.

3. MÉTODO AHP

O *Analytic Hierarchy Process (AHP)* é uma técnica estruturada de análise de decisão e planejamento em ambientes complexos em que diversas variáveis e critérios são considerados para a priorização e seleção de alternativas ou projetos [4].

Desenvolvido por Thomas L. Saaty na década de 1970, este método utiliza-se de comparações paritárias baseando-se em experiência, intuição e dados físicos [5].

O método foi aplicado em um conjunto de 30 barragens de usos múltiplos localizadas no Estado de São Paulo, com alturas entre 5,80 a 28 metros, e volumes de reservatórios variando de 0,04 a 60,60 hm³, abarcando uma variedade de tamanhos e volumes. Embora o objetivo fosse garantir uma classificação mais justa para as barragens menores, a abordagem foi projetada para evitar qualquer viés decorrente de uma amostra predominantemente composta por essas barragens, garantindo uma representação equilibrada de todas as barragens analisadas. Assim, a nova classificação será aplicável não apenas às barragens menores, mas também às barragens com mais de 15 metros.

Com o propósito de assegurar uma distribuição mais equitativa dos pesos atribuídos, o método *AHP* foi aplicado em cada critério de classificação, a saber: (i) características técnicas; (ii) estado de conservação; (iii) plano de segurança; e (iv) dano potencial associado.

A aplicação do método *AHP*, geralmente, envolve três fases principais: hierarquização, definição de prioridades e verificação da consistência lógica. Na fase de hierarquização, o problema é estruturado em níveis hierárquicos, identificando a relação de influência entre as alternativas e os critérios do sistema. Em seguida, na fase de definição de prioridades, são feitas comparações paritárias entre os elementos, construindo uma matriz de comparação que atribui valores de acordo com a importância relativa de cada elemento. Essa etapa permite medir o grau de importância de cada alternativa em relação aos critérios estabelecidos. Por fim, na fase de verificação da consistência lógica, são realizados testes para garantir a consistência dos resultados obtidos, validando, assim, as conclusões do processo [6].

Complementarmente, as faixas de valores para classificar uma barragem como “alto”, “médio” ou “baixo” também foram alteradas utilizando a formulação estatística baseada na média aritmética e no desvio padrão [7].

$$IP = \bar{X} \pm \frac{1}{2} S$$

Compreende-se, dessa forma, não somente a quantificação individual de cada parâmetro, como a proposição de adaptação de uma metodologia existente AHP para uma metodologia para ilustrar, em termos acessíveis, o resultado final da integração de todos os parâmetros atribuídos.

4. RESULTADOS

A implementação do Método *AHP* propiciou a recalibração dos pesos atribuídos aos parâmetros analisados, culminando na configuração dos quadros de classificação constantes nas Tabelas 1 a 4.

Essas tabelas fundamentam-se nos quadros classificatórios estipulados pela Portaria DAEE nº 3318/2022 [1]. Para harmonizar-se com os objetivos deste estudo, alguns parâmetros foram sujeitos a modificações baseadas em investigações conduzidas por alguns estudos, dentre eles, o do CNRH [8], aliados à expertise profissional da autora.

Ao empregar o Método *AHP* adaptado, proposto para a avaliação da Categoria de Risco (CRI), comparado com as barragens anteriormente classificadas através da Resolução CNRH 143/2012 [2], foi observado um notável incremento na proporção de barragens classificadas como “baixo”, enquanto as classificadas de “alto” e “médio” decresceram em consonância (Figura 1).

Similarmente, em relação ao Dano Potencial Associado (DPA), registrou-se uma considerável ampliação das barragens classificadas como “baixo” (Figura 2).

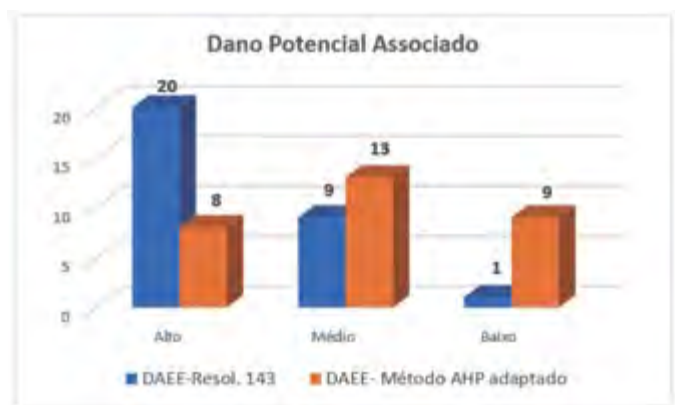


Figura 1 - Comparação da Categoria de Risco

Fonte: A autora

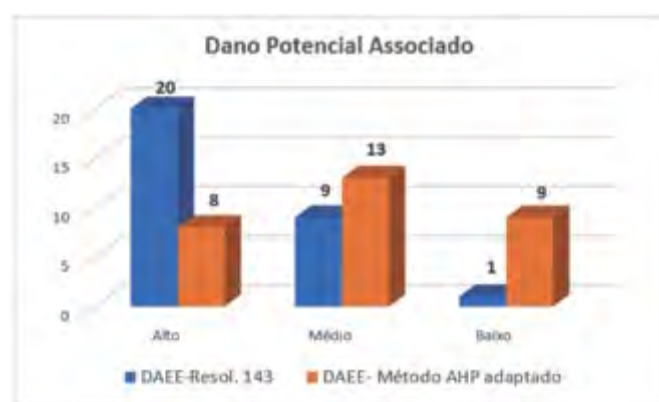


Figura 2 - Comparação do Dano Potencial Associado

Fonte: A autora

Características Técnicas (CT)	Discriminação	Pontos
Altura (H)	$H < 5 \text{ m}$	0
	$5 \text{ m} \leq H < 10 \text{ m}$	1
	$10 \text{ m} \leq H < 15 \text{ m}$	2
	$15 \text{ m} \leq H < 30 \text{ m}$	3
	$30 \text{ m} \leq H \leq 60 \text{ m}$	4
	$H > 60 \text{ m}$	5
Comprimento (L)	$L \leq 50 \text{ m}$	0
	$50 < L \leq 200 \text{ m}$	2
	$200 < L \leq 600 \text{ m}$	4
	$L > 600 \text{ m}$	6

Características Técnicas (CT)	Discriminação	Pontos
Tipo de Barragem quanto ao material de construção	Concreto convencional/ concreto rolado (CCR)	1
	Alvenaria de pedra/concreto ciclópico	4
	Enrocamento/ Enrocamento com face de concreto	7
	Enrocamento + terra	10
	Terra	13
Tipo de fundação	Rocha sã	0
	Rocha alterada dura com tratamento	5
	Rocha alterada dura sem tratamento/rocha alterada mole com tratamento	12
	Rocha alterada mole sem tratamento/saprolito/solos impermeáveis	18
	Solo residual/aluvião/ solos permeáveis/ solos compressíveis/ desconhecido	23
Idade da Barragem (I) em anos	$30 \leq I \leq 50$	1
	$10 \leq I < 30$	3
	$5 \leq I < 10$	5
	$I < 5$ ou $I > 50$ ou sem informação	8
Estruturas Extravasoras	Possui vertedor/monge, descarregador de fundo e canais de aproximação e restituição construídos	1
	Ausência parcial das estruturas extravasoras	12
	Ausência total de estruturas extravasoras	23
Vazão de cheia de projeto	Vazão de projeto calculada através de estudos hidráulico-hidrológicos, os quais consideram período de retorno maior ou igual ao período de retorno especificado em norma.	1
	Vazão de projeto calculada com tempo de retorno menor às especificações de normas normas ou vazão de projeto desconhecido	22

Tabela 1 - Pontuação das características técnicas | Fonte: Portaria DAEE 3318/2022 adaptado

Estado de conservação (EC)	Discriminação	Pontos
Confiabilidade das estruturas extravasoras	Estruturas civis e os equipamentos hidroeletromecânicos em condições adequadas de funcionamento e desobstruídos.	0
	Estruturas civis e os equipamentos hidroeletromecânicos com anomalias, porém sem comprometer a estabilidade ou a capacidade de carga da estrutura	3
	Estruturas civis e os equipamentos hidroeletromecânicos com anomalias e com medidas corretivas em andamento.	7
	Estruturas civis e os equipamentos hidroeletromecânicos com anomalias, sem medidas corretivas em andamento.	12
Confiabilidade das estruturas de adução	Estruturas civis e dispositivos hidroeletromecânicos em condições adequadas de manutenção e funcionamento ou inexistência de estruturas adutoras	0
	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução da capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação.	5
	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos sem controle e/ou com problemas identificados, com redução da capacidade de vazão e sem medidas corretivas.	10

Estado de conservação (EC)	Discriminação	Pontos
Percolação	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem, conforme o projeto ou presença de umidade insignificante	0
	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras estabilizadas ou monitoradas	10
	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem intervenções ou em fase de diagnóstico, não estabilizadas e não monitoradas	20
	Surgência nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras com carreamento de material ou vazão crescente	30
Deformações e recalques	Inexistente ou existente de impacto nulo, ou conforme prevista em projeto	1
	Existência de trincas ou abatimentos de pequena magnitude com necessidade de avaliação ou monitoramento	10
	Existência de trincas ou abatimentos gerando a necessidade de estudos adicionais ou medidas de controle	20
	Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos expressivos, com potencial de comprometimento da segurança	30
Deterioração dos taludes / paramentos	Inexistente ou existente de impacto nulo	0
	Falhas na proteção dos taludes ou presença de vegetação de pequeno porte ou paramentos com desagregação de pequena magnitude (com bicheiros, ferragem de pele exposta)	5
	Erosões superficiais localizadas ou crescimento de vegetação de médio porte, paramentos com desagregação localizada (ferragem exposta), sem comprometimento estrutural	8
	Erosões acentuadas ou crescimento de vegetação de grande porte, ou paramentos com desagregação generalizada (ferragem exposta), sem comprometimento estrutural	12
	Erosões acentuadas generalizadas, escorregamentos com potencial comprometimento da segurança, ou paramentos com desagregação ou deslocamento em estrutura de concreto, com comprometimento estrutural	15
Acesso à barragem	Fácil acesso à barragem	0
	Dificuldades de acesso à barragem	2
	Impossibilidade completa de acesso à barragem	3

Tabela 2 - Pontuação do Estado de Conservação | Fonte: Portaria DAEE 3318/2022 adaptado

Plano de Segurança da Barragem (PS)	Discriminação	Pontos
Existência de documentação de projeto	Projeto básico, executivo e “como construído”	0
	Projeto executivo ou “como construído” ou RPSB (incluindo Reconstituição do Projeto - “como está”)	4
	Projeto básico ou RPSB	8
	Anteprojeto ou projeto conceitual/ Levantamento topográfico cadastral das estruturas	13
	Inexiste documentação de projeto	19
Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem	Possui estrutura organizacional e responsável técnico	0
	Possui apenas responsável técnico	6
	Possui estrutura organizacional sem responsável técnico	12
	Não possui estrutura organizacional nem responsável técnico	18

Plano de Segurança da Barragem (PS)	Discriminação	Pontos
Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento	Possui e aplica procedimentos de inspeção e monitoramento	0
	Possui e aplica apenas procedimentos de inspeção	3
	Possui e não aplica procedimentos de inspeção e monitoramento	5
	Não possui procedimentos de inspeção e monitoramento ou possui procedimentos em desconformidade com a PNSB e suas regulamentações	8
Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem	Possui e aplica regra operacional para todos os dispositivos de descarga ou não há necessidade de regra operacional	0
	Possui e aplica regra operacional somente para alguns dispositivos de descarga	8
	Possui e não aplica regras operacionais de dispositivo de descarga	16
	Não possui regras operacionais de dispositivo de descarga	24
Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação	Emite relatórios de monitoramento e inspeção	0
	Emite apenas relatórios de inspeção ou monitoramento	2
	Emite relatórios, porém em desconformidade com a PNSB e suas regulamentações	5
	Não emite os relatórios	8
Plano de Ação de Emergência	Não é exigido ou PAE elaborado, disponibilizado e implantado	0
	PAE elaborado, disponibilizado e em fase de implantação	3
	PAE elaborado e disponibilizado	7
	PAE em elaboração ou existência de rotina de comunicação simplificada	10
	Não possui PAE (quando exigido)	13
Instrumentação	Instrumentação existente sem falhas na coleta de dados e sem erros nas leituras realizadas	0
	Instrumentação existente com identificação de falhas na coleta de dados e/ou erros nas leituras realizadas	3
	Instrumentação existente, porém, insuficiente para monitoramento dos indicadores necessários para a verificação da segurança do barramento	6
	Não há qualquer forma de instrumentação ou instrumentação instalada não condizente com os possíveis modos de falha da barragem	8
Existência de barragens em cascata	Não	0
	Sim	2

Tabela 3 - Pontuação do Plano de Segurança | Fonte: Portaria DAEE 3318/2022 adaptado

Dano Potencial Associado (DPA)	Situação	Pontos
Volume	Muito baixo ($VT \leq 3 \text{ hm}^3$)	1
	Baixo ($3 \text{ hm}^3 < VT \leq 10 \text{ hm}^3$)	2
	Médio ($10 \text{ hm}^3 < VT \leq 75 \text{ hm}^3$)	3
	Alto ($75 \text{ hm}^3 < VT \leq 200 \text{ hm}^3$)	4
	Muito alto ($VT > 200 \text{ hm}^3$)	5

Dano Potencial Associado (DPA)	Situação	Pontos
Potencial de perdas de vidas humanas	Baixo (Não existem pessoas permanentes / residentes ou temporárias na área a jusante da barragem, exceto aquelas indispensáveis à operação da barragem)	1
	Médio (Existem locais de ocupação temporárias, rodovia/ferrovia, estrada e acessos de uso local, mas não existem pessoas ocupando permanentemente/residentes na área a jusante da barragem, além daquelas indispensáveis à operação da barragem)	20
	Alto (Existem edificações ocupadas permanentemente/residentes ou temporárias na área potencialmente atingida, somente em zonas rurais)	39
	Muito alto (Existem edificações ocupadas permanentemente/residentes ou temporárias na área potencialmente atingida, incluindo zonas urbanas)	58
Impacto ambiental	Baixo (Quando a área a jusante da barragem não representa área de interesse de qualquer natureza ou um eventual rompimento não implica danos ambientais superiores aos relacionados a eventos hidrológicos naturais e frequentes)	1
	Médio (A área afetada a jusante da barragem não atinge patrimônios históricos, sítios arqueológicos ou áreas ambientalmente sensíveis, áreas protegidas em legislação específica superiores aos relacionados a eventos hidrológicos naturais e frequentes, possui barragens à jusante ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais)	8
	Alto (Quando a área afetada a jusante da barragem atinge patrimônios históricos, sítios arqueológicos, áreas de proteção de uso sustentável superiores aos relacionados a eventos hidrológicos naturais e frequentes, quando possui barragens à jusante ou quando for área de interesse ambiental encontrada pouco descaracterizada de suas condições naturais)	17
	Muito alto (Quando a área afetada incluir áreas de proteção integral, inclusive terras indígenas, quilombolas, superiores aos relacionados a eventos hidrológicos naturais e frequente ou de grande interesse ambiental no seu estado natural)	26
Impacto socioeconômico	Inexistente (Sem possibilidade de afetar serviços públicos, instalações ou qualquer tipo de infraestrutura na área atingida pelo eventual rompimento da barragem)	0
	Baixo (Com possibilidade de afetar até 5 instalações residenciais, comerciais, agropecuárias, industriais ou qualquer tipo de infraestrutura de serviços na área atingida pelo eventual rompimento da barragem)	3
	Médio (Com possibilidade de afetar entre 5 e 30 instalações residenciais, comerciais, agropecuárias, industriais ou qualquer tipo de infraestrutura de serviços na área atingida pelo eventual rompimento da barragem)	7
	Alto (Possibilidade de afetar serviços públicos essenciais ou acima de 30 instalações de qualquer tipo na área atingida pelo eventual rompimento da barragem)	11

Tabela 4 - Pontuação do Dano Potencial Associado | Fonte: Portaria DAEE 3318/2022 adaptado

A pontuação máxima atribuível a cada critério de análise (CT, EC, PS e DPA) é de 100 pontos, conforme as novas propostas. Isso

levou à necessidade de reajustar os valores para determinar o nível de periculosidade da estrutura, como indicado nas Tabelas 5 e 6.

Categoria de Risco (CRI)	Grau de Perigo
$CRI > 155$	Alto
$116 \leq CRI \leq 155$	Médio
$CRI < 116$	Baixo

Tabela 5 - Distribuição de valores para a Categoria de Risco
Fonte: Portaria DAEE 3318/2022 adaptado

Dano Potencial Associado (DPA)	Grau de Perigo
$DPA > 62$	Alto
$45 \leq DPA \leq 62$	Médio
$DPA < 45$	Baixo

Tabela 6 - Distribuição de valores para o Dano Potencial Associado
Fonte: Portaria DAEE 3318/2022 adaptado

A análise da Figura 3 mostra uma redução significativa das barragens classificadas como Classe A que demandam intervenções de alto custo e complexibilidade; enquanto a metodologia AHP adaptada para barragens menores no Estado de São Paulo aumentou as barragens classificadas como Classes C e D. Isso sugere que a abordagem é menos rigorosa para empreendedores de menor porte, mas ainda cumpre os requisitos da Resolução nº 14/2012 e da Lei Federal nº 12.334/2010.

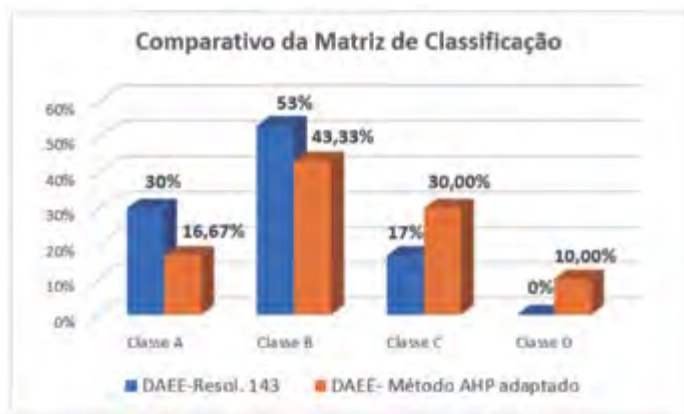


Figura 3 - Comparativo da Matriz de Classificação | Fonte: A autora

5. CONCLUSÕES

A aplicação do Método AHP adaptado para barragens de pequeno porte na revisão dos critérios de classificação definidos pela Portaria DAEE nº 3318/2022 foi bem-sucedida, ajustando os pesos dos parâmetros analisados, para uma avaliação mais justa das barragens. A classificação de uma barragem como “baixo” ou “médio” para o dano potencial associado não indica ausência de impacto em caso de rompimento, mas permite comparar os diferentes níveis de risco e identificar as barragens com maior potencial de impacto, facilitando o direcionamento de medidas preventivas e de resposta em caso de emergência. Esta abordagem oferece uma base sólida para futuras revisões dos sistemas de classificação de barragens, promovendo uma gestão mais eficiente e responsável dos recursos hídricos.

6. PALAVRAS-CHAVE

Segurança de barragens, método AHP, classificação de barragens, riscos, dano potencial associado, legislação de barragens

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SÃO PAULO, (2022) – “Portaria DAEE nº 3318, de 30 de maio de 2022”, regulamenta a Lei de Segurança de Barragens no estado de São Paulo.
- [2] BRASIL, (2012) – Resolução CNRH nº 143, de 10 de julho de 2012, estabelece critérios gerais de classificação de barragens.
- [3] BRASIL, (2010) – “Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010”, estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens.
- [4] BRASIL, (2020) – “Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020”, altera a Lei nº 12.334/2010.
- [5] ANDRADE, G.S. (2021) – “Análise de risco integrada à gestão de segurança de barragens”, Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC.
- [6] CARVALHO, G.B.; CORTELETTI, R.C. (2021) – “Proposta metodológica para previsão de impactos decorrentes de acidentes com barragens de rejeito”, revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 6., ed. 03, pág. 525-534.
- [7] FARIA, D.G.M. (2021) – “Mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas precárias brasileiras com a incorporação do Processo de Análise Hierárquica – Vol. 1”, Universidade de São Paulo – USP.
- [8] CNRH (2021). “Informe nº 01/2021 – Condução dos trabalhos do GTSB sobre a proposta de alteração da Resolução nº 143 do CNRH”. Brasília, 2021.



Alessandra Almeida GONZAGA

É formada em Tecnologia em Hidráulica e Saneamento Ambiental pela FATEC-SP e em Engenharia Civil pela PUC-SP. Também cursou Especialização em Segurança de Barragens no IPT. Atuou por 10 anos com outorga de recursos hídricos no DAEE e, ainda nesta instituição, passou a dedicar-se à área de segurança de barragens, a partir de 2020. Atualmente, desempenha suas funções sobre o tema na Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística (SEMIL) e é membro do Comitê de Acompanhamento de Segurança de Barragens de São Paulo (CASB/SP), onde, dentre outros projetos, organizou a elaboração do Boletim de Segurança de Barragens 2023 do Estado de São Paulo.

MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARA ESTIMATIVA DE FAUNA DOMÉSTICA E DE PRODUÇÃO EM ZONA DE SEGURANÇA SECUNDÁRIA (ZSS)

Pedro AMONI | Geógrafo - Arcadis

Sueli KAKINAMI | MSc Ciências Ambientais – Arcadis

Marilia TONIAL | MSc Biologia - Arcadis

Fernanda CORREA | MSc Gestão de Políticas Públicas – Arcadis

Beatriz LEITE | MSc Epidemiologia Experimental Aplicada a Zoonoses - Arcadis

Henrique RIBEIRO | Geógrafo – Vale

Paulo PEIXOTO | PhD Ecologia - UFMG

RESUMO

O presente artigo descreve duas metodologias com base em aplicações estatísticas desenvolvidas para analisar o potencial de ocorrência de fauna de produção e doméstica em áreas de Zona de Segurança Secundária (ZSS). O objetivo é obter estimativas representativas dessas populações em áreas de risco, com base em dados primários de censos realizados nas Zonas de Autossalvamento (ZAS) de diversas barragens, a fim de mensurar os esforços necessários para o resgate, salvamento e manejo da fauna em situações emergenciais. Estes estudos visam o cumprimento de uma série de normas estipuladas no contexto dos estudos que compõem os Planos de Ação Emergencial para Barragens de Mineração (PAEBM).

ABSTRACT

This article describes two methodologies developed to statistically analyze the potential occurrence of production and domestic fauna in Secondary Safety Zone (in Portuguese ZSS) areas. The objective is to obtain representative estimates of these populations in high-risk areas, based on primary census data collected in the Dam Autossalvage Zones (in Portuguese ZAS) of various dams, to measure the efforts required for rescue, salvage, and management of fauna in emergency situations. These studies aim to comply with a series of regulations established in the context of the Emergency Action Plans for Mining Dams (PAEBM in Portuguese).

1. INTRODUÇÃO

Os rompimentos das barragens do Fundão, em Mariana (2015) e em Brumadinho, na B1 (2019), no Estado de Minas Gerais (MG), demonstraram que os impactos gerados por estes eventos catastróficos são de elevada significância e o processo de recuperação ou compensação são complexos e de difícil mensuração.

A partir de 2019, Minas Gerais publicou uma série de normativas com o objetivo de produzir informação de base para as áreas potenciais das manchas de inundação das barragens de rejeito de mineração. Estas normativas estão alinhadas ao conceito dos Planos de Ação de Emergência das Barragens de Mineração (PAEBM) e no contexto do licenciamento ambiental do Estado. Dentre os estudos que devem ser realizados para estabelecer os *baseline*, destaca-se a Fauna de Produção e Doméstica, cujas normas associadas são a portaria nº 2.047/2021, do Instituto Mineiro de Agropecuária (IMA), e a nota técnica nº 5/SEMAD/DIAE – NUFAP/2021. Estes estudos também seguem o estipulado na Política Estadual de Segurança de Barragens (PESB), que são regulamentados pela Resolução Conjunta Semad/Feam/IEF/Igam nº 3.181/2022, versam sobre o escopo dos PAEBMs (o compilado de legislações relativas aos PAEBMs pode ser acessado via: <http://www.feam.br/gestao-de-barragens/-plano-de-acao-de-emergencia-pae-e-procedimentos-para-barragens-em-situacao-de-emergencia>).

Segundo essas normas, é necessário identificar, para cada mancha de inundação potencial, o número de animais de produção e doméstico. Assim, a Fauna de Produção (FP) refere-se aos animais criados e utilizados para fins comerciais e econômicos, tais como alimentação, fibra, trabalho ou outros produtos de origem animal. Estes animais são criados e manejados para atender demandas do mercado regional ou local. No contexto deste estudo, a FP foi agrupada da seguinte maneira: Perissodactyla (cavalos), Artiodactyla (bovinos, suínos, caprinos e ovinos), Rodentia (roedores), Lagomorpha (coelhos), Galináceos (galinhas), Não-galináceos (patos, gansos, papagaios, passarinhos etc.), Reptilia (tartarugas, jabutis), Teleostei (peixes) e Apoidea (abelhas).

A Fauna Doméstica (FD) é composta por animais que foram domesticados e criados pelo ser humano para diferentes propósitos. Tais animais, geralmente, possuem características adaptadas à convivência com os humanos, como comportamento dócil, facilidade de manejo e reprodução controlada. Para agrupar os mamíferos integrantes da FD utilizou-se as seguintes ordens taxonômicas: Carnívora (cachorros e gatos), Perissodactyla (cavalos), Artiodactyla (bovinos, suínos, caprinos e ovinos), Rodentia (roedores) e Lagomorpha (coelhos). Para agrupar as aves foi necessário adotar níveis mais amplos, como Galináceos e Não-

galináceos, visto que as categorias e quantidades autodeclaradas durante os levantamentos de campo não permitem individualização dos animais em ordens taxonômicas.

Ao se propor métodos de levantamento destes grupos faunísticos, deve-se considerar que as manchas potenciais de inundação são divididas em duas zonas: a Zona de Autossalvamento (ZAS), definida pela distância que corresponda a um tempo de chegada da onda de inundação igual a 30 minutos ou 10 km; e Zona de Segurança Secundária (ZSS), ou seja, toda a mancha delimitada no Mapa de Inundação não definida como ZAS (Resolução AMN n. 95/2022).

Como observado nos rompimentos citados acima, o desafio de realizar levantamentos para a produção de *baseline* em ZSS é enorme, uma vez que são territórios extensos e diversos.

O objetivo deste artigo é descrever as metodologias desenvolvidas para realizar análises estatísticas preditivas de Fauna de Produção e Doméstica em áreas de Zona de Segurança Secundária (ZSS). O propósito desta abordagem é obter estimativas representativas destas populações em áreas de risco para mensurar os esforços necessários ao resgate, salvamento e manejo da fauna em situações emergenciais. O foco destes trabalhos é a construção de um *baseline* representativo de áreas que, potencialmente, podem ser afetadas pela ocorrência de eventos extremos.

Para alcançar este objetivo, a partir de levantamento de campo nas ZAS, foi realizada a estimativa da população dos grupos de fauna para a ZSS. Assim, foram desenvolvidas metodologias distintas, baseadas em métodos estatísticos consolidados, para o adequado atendimento a cada um dos dois diferentes grupos da fauna abordados nestes estudos.

2. METODOLOGIA

Serão abordadas duas metodologias, que são utilizadas em conjunto para entender o território, baseando-se em banco de dados unificado, de forma que se faz necessária a individualização em duas seções metodológicas específicas, onde serão descritas as particularidades dos métodos estatísticos para a estimativa de FP e FD.

Para as duas metodologias utilizou-se o mesmo banco de dados, compilando 88 censos realizados em 88 ZAS, perpassando duas sub-bacias hidrográficas do rio São Francisco e cinco sub-bacias do rio Doce, na região central de Minas Gerais, e que representam 15,07% da área de estudo total (Figura 1).

Ressalta-se que todos os arquivos vetoriais de delimitação de ZAS e ZSS encontram-se disponíveis em

<https://app.anm.gov.br/sigbm/publico>.



Figura 1 – Localização das ZAS e ZSS
Fonte: ANM, 2024 - Organização do Autor

Estes dois métodos pretendem estabelecer a distribuição qualitativa da ocorrência de espécies da FP e FD nas ZSS, utilizando as informações das áreas onde foram realizados censos extensivos nas ZAS.

Observa-se na Figura 1 que, na área de estudo, os polígonos equivalentes aos cenários hipotéticos de ZAS e ZSS encontram-se, por vezes, sobrepostos. No entanto, os cálculos preditivos devem ser realizados individualmente para cada barragem, mesmo que existam manchas de inundação para mais de uma barragem na calha do mesmo rio. Deste modo, durante o processamento dos dados, cada metodologia não considerou o mesmo espaço do território por mais de uma vez no cálculo final das estimativas.

Todas as análises estatísticas foram realizadas com o emprego do software Rstudio (R Core Team 2019), tendo sido utilizados os pacotes *stats*, *nlme* (PINHEIRO et al., 2019) e *MASS* (VENABLES & RIPLEY, 2002).

2.1 METODOLOGIA DE ESTIMATIVA DE FAUNA DOMÉSTICA (FD)

Este método possui três etapas principais:

1. compilação dos dados censitários e formação de banco de dados único;
2. geoprocessamento e análise espacial para gerar mapeamento de uso e cobertura da terra, definindo padrões construtivos das áreas urbanizadas;
3. análises estatísticas.

O mapeamento de uso e cobertura da terra se deu por meio de aplicações e softwares de geoprocessamento, tendo como método a fotointerpretação sobre imagens de satélite (SPOT 6 e CBERS 4^a). É gerado um mapeamento em escala de 1:5.000, utilizado como base para a análise estatística, que, por fim, gerou as análises espacializadas, que indicam a densidade/probabilidade de ocorrência de cada grupo de FD analisado. O mapeamento de uso e cobertura da terra foi realizado com base na chave de classificação encontrada na Tabela 1.

Classe de uso e cobertura da terra	Padrão de imagem representativo
- Baixa densidade e padrão construtivo alto - Casas maiores, muitas com piscina, áreas livres, alinhamentos bem definidos	
- Baixa densidade e padrão construtivo baixo - Casas pequenas, sem acabamento, sem áreas de lazer, sem alinhamento padronizado, maioria em ruas não pavimentadas	
- Baixa densidade e padrão construtivo médio - Construções térreas, assobradadas ou com três pavimentos, maioria com acabamento, muro, alinhamento, vias pavimentadas, poucas piscinas	
- Chácaras de pequena produção - Pequenas glebas com uma ou duas construções e pequenos cultivos	
- Média densidade e padrão construtivo médio - Edificações com mais de três pavimentos (quatro em diante). Prédios.	

Tabela 1 – Chave de classificação para a realização do mapeamento de uso e cobertura da terra

Após o mapeamento de uso e cobertura da terra, observou-se que algumas categorias de uso do solo na Zona de Segurança Secundária (ZSS) não estavam presentes na Zona de Autossalvamento (ZAS). Além disso, houve variação significativa no número de residências amostradas entre as diferentes ZAS, o que impossibilitou o uso exclusivo dos dados de cada ZAS para estimar a quantidade de animais domésticos na respectiva ZSS. Para superar esse obstáculo, optou-se por integrar os dados das 88 ZAS com residências amostradas em banco de dados único, permitindo análises estatísticas representativas da paisagem como um todo.

Outro procedimento realizado foi a integração de grupos de animais que demandam a mesma dinâmica de remoção ou tratamento. Por exemplo, uma residência com dois cachorros e um gato: considerou-se como três indivíduos pertencentes à ordem Carnívora. Esse agrupamento permitiu aumentar a quantidade de amostras disponíveis para cada grupo.

Tendo como norteador a base de dados integrada, foram realizadas análises para desenvolver modelos que descrevessem melhor a variação da quantidade de animais de cada categoria em relação ao número de residentes e à classe de uso do solo.

Os modelos lineares generalizados (GLMs) com distribuição de erros binomial foram utilizados para prever a probabilidade de uma residência ter animais de cada ordem com base no número de ocupantes fixos e na classe de uso do solo (QUINN & KEOUGH, 2002; GOTELLI & ELLISON, 2004; ZUUR et al., 2009).

Para calcular a quantidade total de domicílios, considerando os censos das 88 ZAS, foram considerados tanto os domicílios entrevistados, quanto aqueles que possuíam moradores, mas não foram entrevistados. Optou-se por considerar ambos, pois o intuito, nesta etapa, é obter um dado censitário do número de domicílios por classe de uso do solo. Em seguida, foi calculada a área total de cada classe de uso do solo considerando as mesmas ZAS para as quais o número total de domicílios foi contabilizado. Com base no total de domicílios e de área, foi calculada a quantidade de domicílios por hectare de cada classe de uso do solo para todas as ZAS.

Em seguida, calculou-se a média e o intervalo de confiança de 95% por residência na ZAS, considerando apenas as residências com pelo menos um animal da ordem analisada em cada classe de uso do solo.

Para as estimativas da quantidade de animais domésticos na ZSS, foi utilizado o modelo binomial. O primeiro passo foi definir o número de residências na ZSS em cada classe de uso do solo, obtido pelo produto da densidade de domicílios na ZAS pela área correspondente de cada classe de uso do solo na ZSS.

Considerando os resultados obtidos na média e intervalo

de confiança no ZAS, esses valores foram multiplicados pelo número estimado de residências com animais na ZSS para obter o número total de animais em cada classe de uso do solo.

O procedimento foi repetido separadamente para cada ordem de animais nas ZAS. Quando não havia registros de animais em uma classe de uso do solo específica na ZAS, utilizou-se como referência a classe "Baixa densidade - padrão construtivo médio", visto tratar-se da mais similar e, consistentemente, apresentar animais amostrados.

Para grupos de animais raros nas ZAS, em que a quantidade de animais detectados foi muito baixa, nenhum modelo estatístico foi ajustado devido à falta de residências com animais. Em tal situação, a estimativa de animais para a ZSS foi calculada com base na densidade média de animais por domicílio em cada classe de uso do solo na ZAS, multiplicada pelo número estimado de domicílios na ZSS.

Tanto para a abordagem de estimativas de animais domésticos, utilizando o modelo binomial, quanto para a abordagem, utilizando a quantidade média de animais por domicílio, foi necessário fornecer um número total de domicílios esperado para cada classe de uso do solo de cada ZSS.

2.3 METODOLOGIA DE ESTIMATIVA DE FAUNA DE PRODUÇÃO (FP)

A estimativa de FP para as ZSS foi estruturada em três etapas metodológicas distintas:

1. compilação da informação formada por banco de dados único;
2. geoprocessamento, correlacionando o banco de dados e o uso e cobertura da terra;
3. análise estatística.

O banco de dados foi formado com os dados coletados em campo para as 88 ZAS. Baseado nos dados de campo, se estabeleceu as seguintes premissas para a espacialização:

- i. considerou-se todos os estabelecimentos nos quais foram registrados, ou não, animais de produção durante os levantamentos em campo;
- ii. os grupos de animais foram segregados em categorias maiores devido à existência de espécies raras;
- iii. os dados foram agregados por sub-bacia hidrográfica e extrapolados estatisticamente para cada ZAS e ZSS;
- iv. cada estabelecimento amostrado foi considerado como uma unidade amostral.

Na etapa seguinte, para estimar o número de animais de produção (de acordo com os grupos citados na introdução), utilizou-se uma abordagem baseada na densidade de animais encontrada nas áreas amostradas. No entanto, para evitar subestimativas para a ZSS, calculou-se o intervalo superior de 95% de confiança para a densidade de animais nas áreas amostradas (ZAS). Esse valor estima o limite superior de animais esperado nas áreas amostradas, reduzindo o risco de subestimação.

Considerando que os dados de campo demonstraram alta concentração de locais sem registro de animais de produção, utilizou-se uma técnica de aleatorização para calcular o intervalo de 95% de confiança para cada grupo de animais e sub-bacia, seguindo o protocolo sugerido por Waguespack et al. (2020). Tal valor foi multiplicado pelo total de amostras usado em seu cálculo e dividido pela área amostrada da sub-bacia, obtendo-se a densidade superior (com 95% de confiança) de animais das áreas amostradas. Em seguida, multiplicou-se esse valor pela área de ZSS de cada barragem para estimar a quantidade superior de animais presentes, chegando, assim, à estimativa de FP em ZSS.

3. RESULTADOS

Como resultados obtidos na aplicação dos métodos estatísticos para estimativa de fauna doméstica e de produção, apresenta-se, a seguir, resultados para uma barragem hipotética.

3.1 ESTIMATIVA DE FAUNA DOMÉSTICA (FD)

Para demonstrar os resultados potenciais da aplicação deste método, apresenta-se um estudo de caso. A ZSS da barragem hipotética Primavera tem área de 6.127,93 ha e 240,08 km de perímetro. Baseado na classe de uso do solo, obteve-se o número de domicílio, conforme demonstra a Tabela 2.

Classes de Padrões Construtivos	Área Total (ha)	Nº de domicílios
Baixa Densidade - padrão alto	0,002	0
Baixa Densidade - padrão baixo	0,030	1
Baixa Densidade - padrão médio	0,520	13
Chácaras	1,110	9
Média Densidade - padrão médio	0,000	0
Total	1,662	23

Tabela 2 – Classes de padrões construtivos e número de domicílios estimados na ZSS da barragem hipotética Primavera

Aplicando-se a análise estatística para a estimativa e considerando-se o valor médio, obteve-se 462 indivíduos (Tabela 3). E, ao aplicar o intervalo de confiança superior de 95%, o resultado foi de 772 animais (Tabela 4).

Categorias de animais	Baixa Densidade - Padrão Alto	Baixa Densidade - Padrão Baixo	Baixa Densidade - Padrão Médio	Chácaras	Média Densidade - Padrão Médio	Total
Artiodactyla (bovinos, suínos, caprinos e ovinos)	0	0	1	213	0	214
Perissodactyla (equinos)	0	0	0	12	0	12
Carnivora (cães e gatos)	0	0	10	24	0	34
Rodentia* (roedores)	0	0	0	0	0	0
Lagomorpha (coelhos)	0	0	0	1	0	1
Aves Galináceas (galinhas e galinhas-d'angola)	0	0	23	158	0	181
Aves Não-Galináceas*(patos, gansos, perus, papagaios, passarinhos etc.)	0	0	10	10	0	20
TOTAL						462

Tabela 3 - Número total de animais domésticos estimado para a ZSS, considerando o valor médio obtido nos modelos

Categorias de animais	Baixa Densidade - Padrão Alto	Baixa Densidade - Padrão Baixo	Baixa Densidade - Padrão Médio	Chácaras	Média Densidade - Padrão Médio	Total
Artiodactyla (bovinos, suínos, caprinos e ovinos)	0	0	1	463	0	464
Perissodactyla (equinos)	0	0	1	16	0	17
Carnivora (cães e gatos)	0	0	10	27	0	37
Rodentia* (roedores)	0	0	0	0	0	0
Lagomorpha (coelhos)	0	0	0	1	0	1
Aves Galináceas (galinhas e galinhas-d'angola)	0	0	25	204	0	229
Aves Não-Galináceas* (patos, gansos, perus, papagaios, passarinhos etc.)	0	0	11	13	0	24
TOTAL						772

Tabela 4 - Número total de animais domésticos estimado para a ZSS, considerando o intervalo superior de 95% de confiança

3.2 ESTIMATIVA PARA FAUNA DE PRODUÇÃO (FP)

Para a estimativa da fauna de produção, foram considerados dados em sub-bacia. Apresenta-se, a seguir, a materialidade da aplicação do método para a mesma barragem hipotética Primavera. Portanto, o território sob o qual a ZSS perpassa é representado por 27,6% de área rural, incluindo o campo antrópico com árvores isoladas, 6,6% de área urbana, 48,8% de áreas verdes - sendo estas correspondentes à tipologia

de Formação Florestal (estágio inicial) e Formação Florestal (estágio médio/avançado), e 17% das demais classes de uso do solo. A estimativa da fauna de produção na ZSS foi realizada a partir da avaliação dos dados do levantamento censitário das Zonas de Autossalvamento (ZAS) da sub-bacia em questão. Assim, obteve-se como resultado 52.244 animais distribuídos em 9 grupos diferentes (Tabela 5).

Sub-bacia	Grupos de animais	Número estimado de animais na ZSS
Rio Primavera	Artiodactyla (bovinos, suínos, caprinos e ovinos)	2.569
	Perissodactyla (equinos)	1.057
	Rodentia (roedores)	293
	Lagomorpha (coelhos)	267
	Aves Galináceas (galinhas e galinhas-d'angola)	7.138
	Aves Não-galináceas (patos, gansos, perus, papagaios, passarinhos etc.)	2.615
	Teleostei (peixes)	31.439
	Reptilia (répteis)	2
	Apoidea (abelhas)	6.864
TOTAL		52.244

Tabela 5 – Número de animais de produção estimado para a ZSS da barragem, considerando o intervalo superior de 95% de confiança

4. CONCLUSÕES

A aplicação de métodos estatísticos para fazer a estimativa da fauna doméstica e de produção em grandes territórios de ZSS, considerando a sobreposição de áreas e a associação com o levantamento de campo com dados primários das ZAS, se mostrou aplicável e com resultado satisfatório, permitindo o planejamento das atividades de resgate e salvaguarda em caso de entrada em nível e/ou rompimento da barragem.

Ressalta-se que os métodos analisados apresentam como principais limitações a redução da confiabilidade dos modelos (quanto maior a distância da área estimada em relação ao conjunto de dados), devido à baixa correlação espacial da informação e a limitada aplicabilidade em longas escalas temporais - em função do comportamento dinâmico dos alvos das análises (fauna).

Como próximos passos, os resultados das estimativas deverão ser checados com dados diretos para permitir melhoria das premissas de tratamento dos dados e na aplicação do teste estatístico. Além disso, serão integrados com outras metodologias como uma etapa de validação cruzada, associada a análise comparativa com outros métodos estatísticos. O objetivo é alcançar um melhor ajuste para as respostas destes estudos.

5. PALAVRAS-CHAVE

PAEBM; Análise de estimativa; fauna doméstica; fauna de produção

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Mineração (ANM) - SIGBM - Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor de Mineração. Ministério das Minas e Energia / Disponível em: <https://app.anm.gov.br/sigbm/publico>. Acesso em: fevereiro de 2024.

FEAM (Fundação Estadual do Meio Ambiente). Plano de ação de emergência (PAE) e procedimentos para barragens em situação de emergência. Disponível em: <http://www.feam.br/gestao-de-barragens/-plano-de-acao-de-emergencia-pae-e-procedimentos-para-barragens-em-situacao-de-emergencia>. Acesso em: maio de 2024.

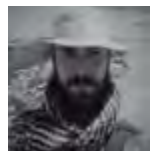
GOTELLI, N. J. & ELLISON, A. M. 2004. A Primer of Ecological Statistics. Sinauer Associates, 2nd Edition, Sunderland, Massachusetts.

PINHEIRO, J., BATES, D., DEBROY, S., SARKAR, D., R CORE TEAM. 2019. Nlme: linear and nonlinear mixed effects models. R package version 3.1–140 <https://cran.rproject.org/package=nlme>.

VENABLES, W.N. & RIPLEY, B.D. 2002. Modern Applied Statistics Statistics with S. 4th Edition, Springer, Berlin. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-21706-2>.

ZUUR, A., IENO, E. N., WALKER, N., SAVELIEV, A. A. & SMITH, G. M. 2009. Mixed effects models and extensions in ecology with R. Biometrics 65, 992-993.

WAGUESPACK, D; KRISHNAMOORTHY, K. & LEE, M. 2020. Tests and Confidence Intervals for the Mean of a Zero-Inflated Poisson Distribution. American Journal of Mathematical and Management Sciences, 39:4, 383-390, DOI: 10.1080/01966324.2020.1777914



Pedro AMONI

É Coordenador de Transformação e Inovação Digital, graduado em Geografia (UFMG), com mais de 10 anos de experiência em geoprocessamento, sensoriamento e análise espacial aplicados ao contexto de estudos ambientais. Atua como Geógrafo na Arcadis.



Sueli KAKINAMI

É Doutoranda e Mestre em Ciências Ambientais, Especialista em Saneamento Básico e Gestão de Projetos, e Bióloga. É Gerente Técnica na Arcadis, com 30 anos de experiência em Avaliação de Impacto Ambiental, Sustentabilidade e Biodiversidade, gerenciando equipes em projetos de alta complexidade.



Marília TONIAL

É Bióloga (PUC - GO/1999) e Mestre em Biologia (UFG/2005). Tem experiência na área Ambiental com ênfase em estudos faunísticos, principalmente, em coordenação de Projetos Ambientais. Atua na Arcadis.



Fernanda CORREA

É Arquiteta e Urbanista e Mestre em Gestão e Políticas Públicas. Possui 18 anos de experiência em Consultoria. É a Gerente responsável pelo desenvolvimento dos negócios em Planejamento Territorial e Urbano-ambiental na Arcadis. Liderou mais de 40 Planos Diretores Municipais e 110 Planos de Ação Emergencial de Barragens de Mineração.



Beatriz LEITE

É Bióloga (Uniban-SP/2007) e Mestre em Epidemiologia Experimental Aplicada a Zoonoses (USP-SP/2015). Também possui Especialização em Manejo de Animais Silvestres (PUC-Sorocaba/2010). Atua como Gerente de Projetos na Arcadis.



Henrique RIBEIRO

É Geógrafo, Especialista em Gestão Ambiental, Ms.p. "Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais" (ITV-Vale). Possui experiência em Planos de Ação de Emergência para Barragens (PAEBM) e Estudos e Monitoramento Ambiental.



Paulo PEIXOTO

É Biólogo (UFV-MG), Mestre e Doutor em Ecologia (Unicamp-SP). Atua como Professor na Universidade Federal de Minas Gerais, coordenando o Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre da UFMG.

ANÁLISE DA *GAMIFICAÇÃO* DE SIMULADOS DE MESA NA OPERACIONALIZAÇÃO DO PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA: ESTUDOS DE CASO

Amanda de Moraes Ricardi | Consultora - Geometrisa Serviços de Engenharia LTDA

Pedro Afonso SISMOTO | Consultor - Geometrisa Serviços de Engenharia LTDA

Marielly ANACLETO | Consultora - Geometrisa Serviços de Engenharia LTDA

Euclydes CESTARI | Diretor - Geometrisa Serviços de Engenharia LTDA

RESUMO

Neste trabalho, são discutidos os desafios específicos associados à implementação do PAE, como a *gamificação* pode confrontá-los e quais as suas vantagens quando comparado aos métodos convencionais. Este artigo é produto de um estudo de caso da *gamificação* de simulados internos para implantação de Planos Emergenciais no setor de hidrelétricas brasileiras e contribui para a compreensão do potencial da *gamificação* como uma ferramenta poderosa e inovadora para aprimorar a preparação e resposta às emergências em barragens, oferecendo insights valiosos para profissionais, gestores e pesquisadores envolvidos nos projetos de implementação.

ABSTRACT

In this paper, the specific challenges associated with the implementation of Emergency Action Plans (EAP) are discussed and how gamification can address them, as well as the advantages compared to conventional methods. This article results of experiments on gamified internal simulations of EAP implementation in Brazilian hydroelectric power plants and contributes to understanding the potential of gamification as a powerful and innovative tool to enhance dam emergency preparedness and response, offering valuable insights for professionals, managers, and researchers involved in this critical field of dam safety.

1. INTRODUÇÃO

Desde a década de 90, com a globalização e o avanço tecnológico, os jogos (games) foram e estão sendo incorporados ao mundo do trabalho, dada sua vasta aceitação (MATOS, CARMO, ASSIS, 2018). Com isso, os jogos de estratégia têm sido amplamente utilizados em organizações e empresas para a tomada de decisão de trabalhadores e seus gestores (BEZERRA; MOZZATO, 2021), tornando-se uma tendência global que atinge ocupações com diferentes qualificações e rendimentos (DARDOT; LAVAL, 2016).

Na *gamificação*, utiliza-se de métodos de jogos em contextos que não são relacionados, necessariamente, com diversão (INSLEY; NUNAN, 2014; KOIVISTO; HAMARI, 2019), como é o caso dos ambientes corporativos e organizacionais. Sua abordagem está relacionada com inclusão de entretenimento, reconhecimento e/ou competição em atividades habituais do trabalho, utilizando técnicas e estratégias dos jogos para resoluções de problemas práticos e para atingir metas e objetivos do dia a dia (CAMENISCH, 2012).

Essa metodologia, assim como citam Robson et al. (2016), pode ser uma maneira de atrair e engajar os colaboradores para a melhoria de desempenho organizacional. Além disso, a *gamificação*, quando bem implementada e trabalhada, enaltece o sentimento de pertencimento dos trabalhadores na organização, aumentando a motivação e o engajamento e, por consequência, traz ganhos organizacionais, podendo ser utilizada nas práticas de gestão de pessoas e de processos, junto às demais práticas de gestão (BEZERRA; MOZZATO, 2021).

Sendo assim, considerando o Plano de Ação de Emergência (PAE) um documento fundamental na gestão de segurança de barragens, a Geometrisa Serviços de Engenharia Ltda. utilizou a metodologia de *gamificação* na etapa de operacionalização do PAE, no tabletop exercise (simulado de mesa), em âmbito interno, em diversos empreendimentos, para verificar sua eficácia perante as etapas de preparação, resposta e gestão relacionadas aos cenários emergenciais em barragens - para fins comparativos com as metodologias convencionais de simulados de mesa.

2. OBJETIVO

O presente artigo visa apresentar as principais percepções obtidas por meio de estudos de caso e os principais benefícios desta *gamificação* na melhoria da conscientização e tomada de decisão rápida e eficaz, bem como na promoção da colaboração entre as partes envolvidas.

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada baseou-se na modalidade de jogo conhecida como *Role Play Game* (RPG) de mesa e a técnica de gerenciamento ágil de projetos conhecida como *Planning Poker*. Os jogos de RPG são atividades em que um grupo de quatro a dez jogadores utiliza uma narrativa não-linear que pode ser oral, escrita ou animada (Schmit, 2008).

Este tipo de jogo é pautado em interpretação e caracteriza-se pela atribuição de papéis aos jogadores, a partir de um livro de regras, e pela condução de uma jornada de desafios a partir da perspectiva de um narrador (ou “mestre”). À medida em que o narrador apresenta desafios e questões, os jogadores tomam decisões de acordo com suas funções (ROSA et. al, 2021). Desde sua origem, o RPG sofreu diversas modificações, porém, desde a sua concepção, busca associar-se à aquisição de conhecimento (VASQUES, 2008).

Por fim, o *Planning Poker* (COHN, 2006) consiste em uma técnica que objetiva realizar a estimativa, em conjunto, podendo ser feita como em um jogo, onde todos os componentes de uma equipe participam de forma democrática para chegar a um consenso de estimativa de esforço e tempo sobre determinadas ações de resposta.

3.1 ANÁLISE DOS RECURSOS ENVOLVIDOS

A partir da definição da metodologia, o primeiro passo foi identificar os recursos humanos e materiais envolvidos na gestão de emergência, tanto em nível interno, quanto externo ao empreendimento, principalmente, considerando o pior cenário identificado para as barragens. O público-alvo era composto não só pelas diversas áreas dos empreendimentos, mas também por representantes dos órgãos de proteção e defesa civil e poder público dos municípios e estados inseridos na área potencialmente impactada por uma eventual emergência nos barramentos.

3.2 NARRATIVA

As atividades foram consubstanciadas na progressão dos níveis de segurança do empreendimento, conforme estabelecido na Resolução Normativa ANEEL nº 1.064/2023 (BRASIL, 2023) – normal, atenção, alerta e emergência –, a partir de um cenário que levou a equipe de segurança de barragens e a coordenação do PAE a atuarem para prevenção e controle da situação.

Os narradores, compostos pela equipe técnica da Geometrisa, foram os responsáveis pela apresentação dos cenários aos participantes por meio das cartas de evento, personalizadas de acordo com a realidade de cada empreendimento. A carta

de evento representa uma situação de perturbação para o barramento e/ou suas atividades. A partir de cada cenário, os jogadores atuaram de acordo com suas respectivas funções, narraram suas ações em voz alta para todos os demais e interagiram com as peças do jogo.

As consequências da ação tomada foram decididas com auxílio do dado de probabilidade, que tem como objetivo indicar seu sucesso ou falha. Ressalta-se que as ações de um jogador poderiam implicar na necessidade de resposta de outro jogador. Neste momento, poderia ocorrer a articulação entre diferentes áreas do empreendimento.

Durante tais articulações, houve momentos em que as equipes apresentaram percepções distintas sobre determinadas ações de resposta. Para fomentar a discussão e permitir que as diversas áreas expusessem suas percepções, a fim de gerar um ambiente sinérgico, nestas situações, foram realizadas rodadas do *Planning Poker*.

Por se tratar de uma atividade cujo objetivo é a gestão de risco, é fundamental que todo o contingente de pessoas envolvido nos processos tenha conhecimento de todas as etapas (desde o nível normal até o nível de emergência). Sendo assim, o exercício teve como marco final a declaração de emergência, após a progressão de todos os níveis, acionamento do PAE e evacuação de todos os colaboradores.

3.3 MATERIAIS

Para a realização dos exercícios simulados, foram elaborados elementos necessários para o desenvolvimento e a visualização de suas etapas. Os materiais utilizados foram (Figura 1):

- 01 mapa-banner (tabuleiro);
- 03 ampulhetas;
- 02 dados probabilísticos;
- totens de identidade;

- totens de ação;
- cartas de evento;
- cartas de dificuldade (*Planning Poker*);
- cartas de ação.

4. ESTUDOS DE CASO

Os simulados foram conduzidos em salas de conferências, reunindo representantes-chave dos órgãos de proteção e defesa civil estaduais e municipais e de diferentes departamentos do empreendimento, tais como: centro de operação, segurança de barragens, segurança do trabalho, manutenção, gestão de crises, comunicação, jurídico, regulatório, ambiental, entre outros. As simulações envolveram cenários em que a progressão dos níveis de segurança da barragem resultou na necessidade de evacuação preventiva da área e acionamento do Plano de Ação de Emergência. Os itens a seguir apresentam alguns dos casos aplicados.

4.1 PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS (PCHS) AREIA, ÁGUA LIMPA E BOA SORTE

Os simulados realizados nas PCHs Areia (Areia Energia S.A.), Água Limpa (Água Limpa Energia S.A) e Boa Sorte (Boa Sorte Energética S.A.), do Estado de Tocantins, permitiram que os participantes avaliassem vários riscos e emergências potenciais, entendessem a dimensão dos diferentes cenários e se preparassem para responder de forma eficaz, sendo o grande diferencial quando comparado aos simulados convencionais realizados anteriormente. Pôde-se notar a excelente gestão da emergência realizada pelos coordenadores dos PAEs e que os fluxogramas de comunicação estabelecidos em todos os níveis de segurança estão devidamente delineados. Nas PCHs, a coordenação dos gestores contempla uma grande gama de responsabilidades que abrangem diversas áreas. Neste sentido, a metodologia se destacou, pois garantiu que todos participassem nas tomadas de decisão e ações, desde a equipe técnica de manutenção até a diretoria.



Figura 1 - Registros das peças utilizadas no tabletop gamificado | Fonte: Autor



Figura 2 - Registros da execução do *tabletop gamificado* nas PCHs Areia e Água Limpa (a,b) e Boa Sorte (c) | Fonte: Autor

4.2 AES BRASIL

Os simulados foram aplicados em 10 usinas da AES Brasil: UHEs Nova Avanhandava; Ibitinga; Promissão; Barra Bonita; Bariri; Água Vermelha; Caconde; Euclides da Cunha; Limoeiro; e PCH Mogi Guaçu. Houve participação da defesa civil estadual (regionais), da Marinha, do Exército, do Corpo de Bombeiros Militar, da Guarda Municipal, de Prefeituras e da Neoenergia. Pôde-se verificar que os procedimentos de emergência são muito bem consolidados e amplamente difundidos entre os colaboradores.

A metodologia permitiu observar que, devido às singularidades operativas, há diferenças de interações entre os empreendimentos e as defesas civis e demais órgãos municipais. Isto permitiu a atuação significativa dos representantes municipais presentes e uma notável integração entre o PAE e os PLANCONs. Ademais, o tabuleiro e as peças asseguraram maior interação entre todos os participantes, e melhor visualização dos cenários e áreas de atuação.

4.3 ELETROBRAS ELETRONORTE

A metodologia foi aplicada nas UHEs de Tucuruí, Balbina, Coaracy Nunes, Curuá-Una e Samuel, da Eletrobras Eletronorte. A utilização do mapa como tabuleiro, das cartas de cenário e peças representativas - tanto do empreendedor, quanto das entidades municipais -, transformaram as simulações em uma experiência interativa para todos. As defesas civis puderam conhecer os procedimentos internos de gestão de risco das usinas e compreenderam suas verdadeiras responsabilidades. Ressalta-se a participação expressiva dos representantes municipais nos simulados das UHEs Tucuruí e Balbina (defesa civil e até secretarias municipais). Em ambos, foi evidente a sinergia entre as diversas áreas dos empreendimentos, que executaram com clareza e eficiência suas responsabilidades. Os exercícios despertaram particular interesse nas defesas civis estaduais, que consideraram o método inovador e eficaz para treinamento de gestores, otimização de processos e integração PAE e PLANCON.

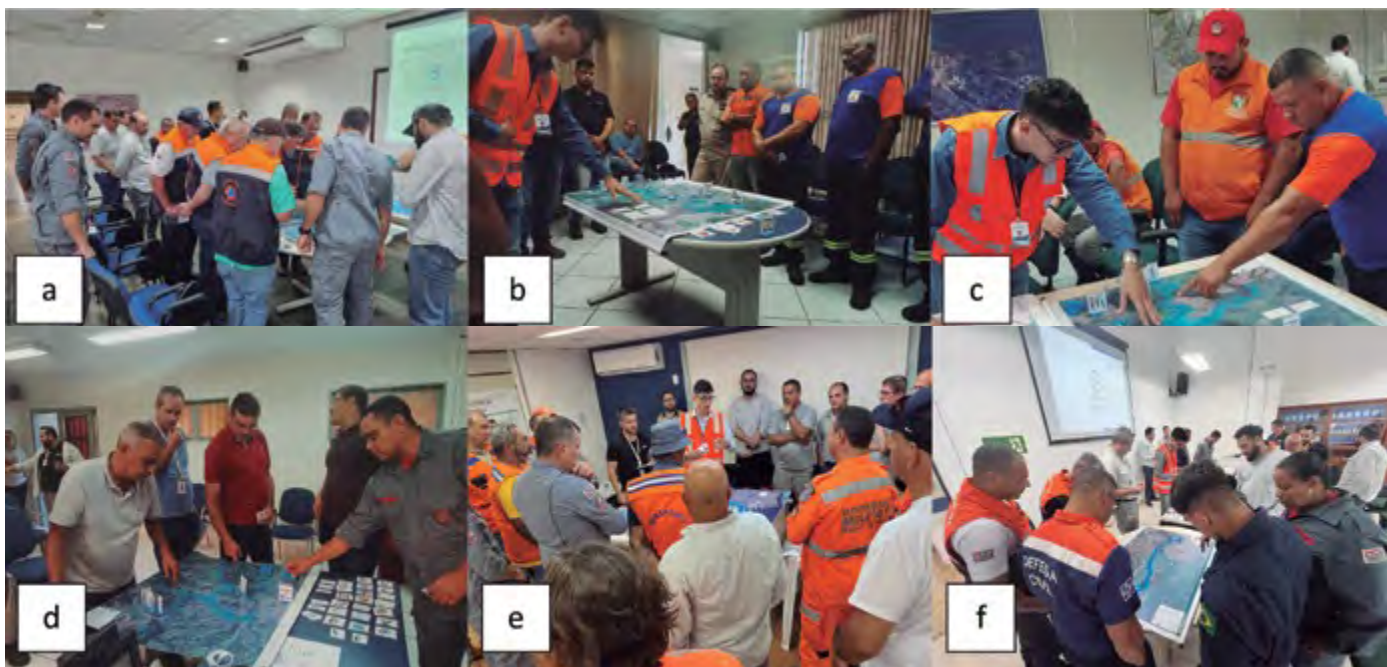


Figura 3 - Registros da execução do *tabletop gamificado* na UHE Promissão (a), UHE Euclides da Cunha (b), UHE Limoeiro (c), UHE Caconde (d), UHE Água Vermelha (e) e UHE Barra Bonita (f) | Fonte: Autor

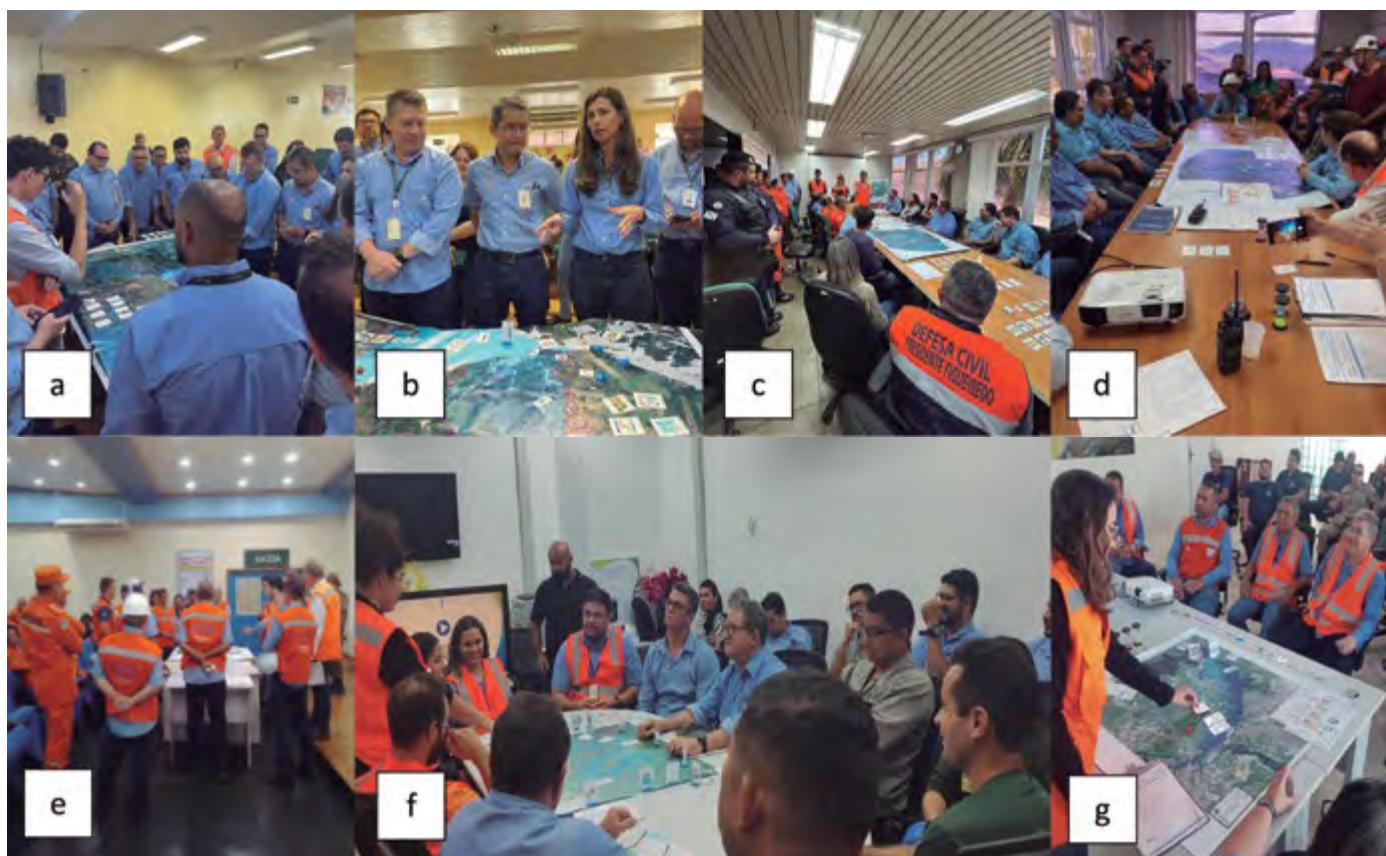


Figura 4 - Registros da execução do *tabletop gamificado* na UHE Tucuruí (a,b), UHE Balbina (c,d), UHE Samuel (e), UHE Curuá-Uma (f) e UHE Coaracy Nunes (g) | Fonte: Autor

4.4 ELETROBRAS CHESF

O *tabletop gamificado* foi implementado com êxito nas usinas hidrelétricas Xingó e Luiz Gonzaga, gestão da Eletrobras Chesf, e será aplicado nas UHEs do complexo hidrelétrico Paulo Afonso, Boa Esperança e Sobradinho. O jogo teve como foco eventos meteorológicos e a existência de patrimônio cultural, dada a relevância turística dessas cidades, dotadas de importantes monumentos históricos.

As atuações proeminentes da defesa civil e das demais pastas municipais, como Infraestrutura, Educação e Meio Ambiente, foram enfatizadas no jogo, com especial atenção para o enfrentamento das *fake news*, ocorrências como inundações e deslizamentos. O empreendedor direcionou seus esforços para garantir a segurança das barragens, com sucesso. O acionamento do PAE foi desencadeado pelo evento meteorológico excepcional, que representou riscos às populações a jusante.





Figura 5 - Registros da execução do *tabletop gamificado* na UHE Xingó (a,b,c) e UHE Luiz Gonzaga (d,e,f) | Fonte: Geometrisa (2024)

4.5 SANTO ANTÔNIO ENERGIA S.A.

O *tabletop gamificado* foi implementado na UHE Santo Antônio envolvendo todas as lideranças de equipes do empreendimento em uma situação hipotética de crise em prol de um objetivo comum. Nele, foi possível observar como o empreendedor tomaria suas decisões internas para preservar a integridade do barramento visando a segurança da comunidade e do meio ambiente, bem como apoiar os órgãos ambientais, de proteção e de defesa civil durante ações a jusante da UHE Santo Antônio. A metodologia empregada foi considerada inovadora pelos participantes e se consolidou como uma ferramenta versátil para mensurar a capacidade de resposta a situações extremas.

5.2 PRINCIPAIS DESVANTAGENS DO TABLETOP GAMIFICADO

- Exige que os participantes trabalhem com informações qualitativas, muitas vezes, dependendo da capacidade individual de abstração dos cenários, podendo prejudicar a progressão da atividade e, conseqüentemente, exigir maior versatilidade por parte dos condutores.
- Requer uma vasta abrangência dos cenários que podem ser simulados na atividade em razão do fator de sucesso ou fracasso intrínseco dos dados probabilísticos. A incerteza gerada pelo lançamento dos dados pode culminar em uma evolução muito rápida ou lenta dos níveis de segurança. A versatilidade e habilidade dos condutores torna-se um ponto chave para o sucesso da atividade.



Figura 6 - Registros da execução do *tabletop gamificado* na UHE Santo Antônio | Fonte: Geometrisa (2024)

5. CONCLUSÕES

5.1 PRINCIPAIS PONTOS EM COMUM

- **Ênfase na Discussão:** tanto o exercício convencional, quanto o *gamificado* focam na discussão de planos de ação, procedimentos e comunicação durante uma situação simulada de emergência.
- **Abordagem:** apesar de o *tabletop exercise* convencional seguir uma abordagem mais formal e estruturada, ambas as metodologias demonstraram participação ativa dos colaboradores por meio de discussões e debates.

5.3 PRINCIPAIS VANTAGENS DO TABLETOP GAMIFICADO

- **Engajamento aprimorado:** o *tabletop gamificado* incorpora elementos lúdicos, como simulações interativas, tornando o exercício mais envolvente e estimulante para os participantes.
- **Aprendizado ativo:** os participantes são desafiados a tomar decisões em tempo real dentro do contexto do jogo, que depende das probabilidades intrínsecas da própria metodologia, promovendo o aprendizado ativo e prático.

- **Feedback imediato:** os *tabletops gamificados* oferecem feedback imediato sobre as ações dos participantes, permitindo que eles vejam as consequências de suas decisões em tempo real e aprendam com elas.
- **Variedade de cenários:** os *tabletops gamificados* podem simular uma ampla variedade de cenários de forma mais dinâmica e interativa, já que a evolução da atividade depende da narrativa e ações dos próprios participantes, preparando os colaboradores para uma gama mais ampla de situações possíveis. Já o simulado de mesa convencional possui temas pré-definidos para discussão durante a atividade.

Dentre os pontos de maior notoriedade no exercício *gamificado*, cabe mencionar:

- Mostrou-se uma excelente metodologia para avaliar e otimizar a comunicação interna do empreendimento frente aos eventos excepcionais;
- Aproximou, em uma mesma sala, diferentes setores do empreendimento para transparecer as ações de cada departamento em um cenário emergencial;
- Possibilitou a todos os participantes contribuírem em sua área de atuação e entenderem as dificuldades de interação entre as áreas em prol de um objetivo único;
- Na progressão dos níveis, foi possível elucidar a importância de conhecer e praticar os procedimentos previstos no Plano de Ação de Emergência;
- Durante a realização da atividade, notou-se que os participantes pensaram em soluções conjuntas, tanto para controle das anomalias propostas, quanto para mitigação de possíveis impactos no vale a jusante da barragem;
- O envolvimento dos órgãos de proteção e defesa civil nas simulações funcionou como peça fundamental na integração PAE x PLANCON e na articulação entre empreendedor e poder público.

5.4 COMENTÁRIOS GERAIS

Os estudos de caso exploraram os benefícios da *gamificação* na conscientização, tomada de decisão e colaboração em situações de emergência. A experiência interativa proporcionada pela metodologia tornou o treinamento mais eficaz, aumentando o envolvimento dos participantes, melhorando a compreensão dos procedimentos de segurança e promovendo a colaboração entre equipes e partes interessadas, aprimorando a coordenação e comunicação na gestão de segurança de barragens. Comparado ao *tabletop exercise* convencional, o *tabletop gamificado* oferece vantagens adicionais, como maior engajamento, aprendizado ativo e feedback imediato. A existência de peças representativas (totens) das partes envolvidas na gestão de emergência fez

com que cada participante se sentisse representado e parte do processo, tornando a experiência mais relevante e efetiva.

Por fim, segundo as devolutivas, tanto dos empreendedores, quanto dos órgãos de proteção e defesa civil, o *tabletop gamificado* destacou-se ao promover um treinamento mais dinâmico, interativo e otimizado, preparando melhor os colaboradores para lidar com uma variedade de cenários emergenciais e aprimorando a gestão de emergência em barragens.

6. PALAVRAS-CHAVE

Segurança de barragens, *gamificação*, simulado de mesa, plano de ação de emergência, operacionalização

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MATOS, B. A.; CARMO, L. J. O.; ASSIS, L. B. (2018) Quantas estrelas você vale? Uma análise da *gamificação* em um episódio da série Black Mirror. Farol - Revista de Estudos Organizacionais e Sociedade, v. 5, N. 13, P. 792-845, 2018.
- [2] BEZERRA, M. A.; MOZZATO, A. R. (2021) *Gamificação* nas Organizações: uma Revisão de Literatura. Revista UFG Goiânia. 2021. v.21: e21.68148. doi: 10.5216/REVUFG.V21.68138.
- [3] DARDOT, P.; LAVAL, C. (2016). A nova razão do mundo: Ensaio sobre a sociedade neoliberal. São Paulo, SP: Boitempo.
- [4] INSLEY, V.; NUNAN, D. (2014). Gamification and the online retail experience. International Journal of Retail & Distribution Management, 42(5), 340–351. <http://dx.doi.org/10.1108/IJRDM-01-2013-0030>
- [5] KOIVISTO, J.; HAMARI, J. (2019). The rise of motivational information systems: A review of gamification research. International Journal of Information Management, 45, 191-210. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.10.013>
- [6] CAMENISCH, J. (2012). Make it a game: using gamification to build your business. Disponível em <https://www.upwork.com/blog/2012/01/make-it-a-game-using-gamification-to-buildyour-business/>. Acesso em fev. 2024.
- [7] ROBSON, K. et. al (2016). Game on: Engaging customers and employees through gamification. Business Horizons, 59(1), 29-36. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2015.08.002>.
- [8] WAGNER, L. S. (2008). RPG e Educação: alguns apontamentos teóricos. Universidade Estadual de Londrina. 2008.
- [9] ROSA, A. B. (2012). RPG: uma proposta de *gamificação* para o novo ensino médio. n. 5 (2021): Anais do Seminário Regional de Extensão Universitária da Região Centro-Oeste (SEREX) (ISSN 2764-1570).
- [10] VASQUES, R. C. (2008) As potencialidades do RPG (Role Playing Game) na educação escolar. Dissertação (Mestrado em Educação Escolar) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Letras, Campus de Araraquara. 179 f. 2008.
- [11] COHN, M. (2006). Agile Estimating and Planning, Prentice Hall, 2006, 330 p.



Amanda de Moraes RICARDI

É Engenheira e Mestre em Engenharia Civil (UNESP/2011-2020). Atua como Consultora em Engenharia e Segurança de Barragens pela Geometrisa – Serviços de Engenharia, com ênfase na elaboração e implementação de PAEs, Relatórios de ISR e de Auscultação, dentre outros serviços relacionados com a PNSB. Cursa Especialização em Engenharia de Barragens (PUC-Minas).



Marielly Gonçalves ANACLETO

É Engenheira e Mestre em Engenharia Civil (UTFPR/2013-2020) e Especialista em Gestão de Projetos pela ESALQ (USP/2021-2023). Atua como Consultora em Engenharia e Segurança de Barragens pela Geometrisa – Serviços de Engenharia, com ênfase em estudo de rompimento e modelagem hidrodinâmica, elaboração de Planos de Ações Emergenciais e em outros serviços relacionados com a PNSB.



Pedro Afonso Barbosa SISMOTO

É Engenheiro Mecânico (UNESP/2013-2020). Atua como Consultor em Engenharia e Segurança de Barragens pela Geometrisa – Serviços de Engenharia, com ênfase na realização de avaliações hidromecânicas, eletromecânicas e na implantação de Planos de Ação de Emergência. Também é Coordenador do setor de Tecnologia da Informação da Geometrisa. Possui segunda graduação em andamento em Análise e Desenvolvimento de Sistemas (FIAP).



Euclydes Cestari JUNIOR

É Engenheiro Civil (Escola de Engenharia de Lins/1983-1987), Especialista em Segurança de Barragens (USP/2010) e Mestre em Engenharia Civil (UNESP/2011-2013). É sócio-diretor da Geometrisa – Serviços de Engenharia, atuando em serviços relacionados com a Política Nacional de Segurança de Barragens. Foi Engenheiro Especialista em Segurança de Barragem da CESP (1987-2017).



**Juntas pela
Sustentabilidade**

BARRAGEM RIO DESCOBERTO: ESTABELECENDO VALORES LIMITE PARA A INSTRUMENTAÇÃO

Ivaldo Rodrigues MATOS | Engenheiro Civil - Técnico em Sistemas de Saneamento
CAESB - Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal

Lúcio Eduardo Lima de SOUZA | MSc. Engenheiro Civil - Analista de Sistemas de
Saneamento - CAESB - Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal

RESUMO

A barragem de concreto do tipo gravidade do rio Descoberto foi construída entre 1971 e 1973 pelas empresas Servienge e CAESB. A partir de 2021, foram executados serviços de implantação de medidores de movimentação (extensômetros de hastes e medidores triortogonais de junta), medidores de infiltrações e vazamentos (calhas parshall) e instrumentação piezométrica para o monitoramento das subpressões nas fundações e juntas de concretagem. O presente trabalho apresenta os primeiros resultados do monitoramento das subpressões em alguns blocos da barragem e apresenta uma proposta de estabelecimento dos valores-limite de tais instrumentos.

ABSTRACT

The gravity concrete dam of the Descoberto River was built between 1971 and 1973 by the companies Servienge and CAESB. From 2021, services were conducted for the implementation of movement meters (rod extensometers and triorthogonal joint meters), infiltration and leakage meters (parshall flumes) and piezometric instrumentation, aiming at monitoring underpressures in foundations and concrete joints. The present work presents the first results of the monitoring of underpressures in some blocks of the dam and presents a proposal for the establishment of limit values of such instruments.

1. INTRODUÇÃO

A barragem Rio Descoberto foi construída entre 1971 e 1973 pelas empresas Serviente e Companhia de Saneamento Ambiental (CAESB), do Distrito Federal (DF). O enchimento do reservatório ocorreu em 1974. O sistema é hoje responsável por cerca de 60% do abastecimento do DF. A barragem Rio Descoberto está localizada no km 65 do rio homônimo, afluente pela margem esquerda do rio Corumbá, a aproximadamente 45 km da rodoviária do Plano Piloto de Brasília.

A barragem é constituída de 17 blocos de 15,00 m e um de 10,00 m, separados por juntas de contração, tendo um comprimento total de 265,00 m. A crista, com 3,00 m de largura, está situada na cota 1034,00 manm. A soleira do vertedouro está na cota 1030,30 manm. A altura máxima sobre a fundação é de 32,50 m, conforme apresentado nas Figuras 1, 2 e 3, ao lado.

2. IMPLANTAÇÃO DE INSTRUMENTOS

Em junho de 2022, foi concluída a instrumentação da barragem, consistindo na instalação de: terminais em TEE de PVC nos drenos de fundação-DR para medição de vazão individualizada; extensômetros de haste-EH; medidores triortogonais de juntas-MT; medidores de vazão tipo calha *parshall*-MV e piezômetros de tubo-PZ. É apresentado na Tabela 1 um resumo dos instrumentos previstos.

Instrumento	Quantidade
DR - TEE de PVC para os terminais em dreno de fundação	101
EH - Extensômetro de Haste	12
MT - Medidor Triortogonal	17
MV - Medidor de Vazão do tipo calha <i>parshall</i>	6
PZ - Piezômetro de Tubo	22

Tabela 1 – Instrumentos de auscultação implantados

Todo instrumento instalado em uma barragem deve ser selecionado e colocado para auxiliar na resposta a uma pergunta específica. Esta premissa objetiva atestar para a fase operativa o controle de comportamento das estruturas e suas fundações, segundo os critérios de segurança previstos em projeto, perante os carregamentos aplicados, bem como nos efeitos de longo

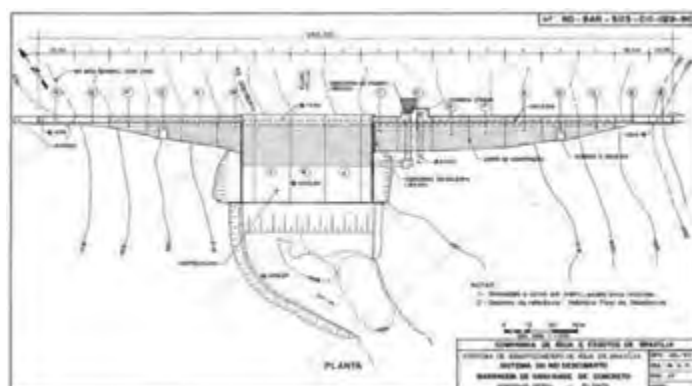


Figura 1 - Barragem Rio Descoberto - Arranjo Geral – Planta

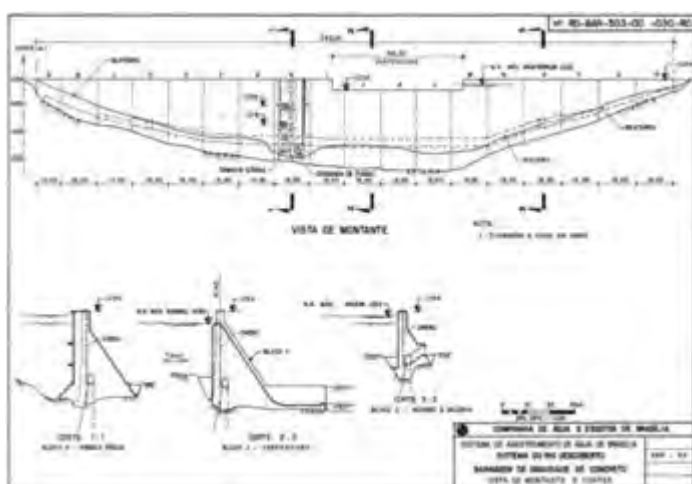


Figura 2 - Barragem Rio Descoberto – Vista de montante e cortes

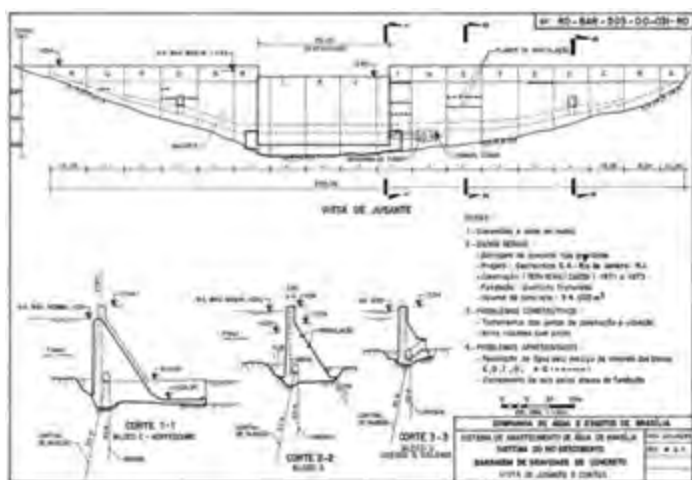


FIGURA 3 - Barragem Rio Descoberto – Vista de jusante e cortes

prazo decorrentes do processo de envelhecimento natural e consequente aumento progressivo de desgaste estrutural em seu corpo e fundação. O exame do acervo coletado de instrumentação, combinado com inspeção visual, pode decidir se uma tendência de comportamento é uma anomalia em desenvolvimento ou se possui probabilidade de se desenvolver.

O objetivo principal da instrumentação é fornecer dados que auxiliem na avaliação da segurança de uma estrutura e sua fundação através da coleta de dados quantitativos no seu desempenho e na detecção de problemas numa fase precoce e evitável.

Embora um problema possa parecer existir ou estar em desenvolvimento, as leituras do instrumento podem indicar

se a observação (por exemplo, aumento da infiltração) é normal (meramente o resultado de um nível mais alto do reservatório) e era esperada no projeto da barragem, ou se é resultado de alguma anomalia (por exemplo, a progressiva colmatação dos drenos de fundação).



Figura 4 – Gráfico piezômetro inclinado na crista

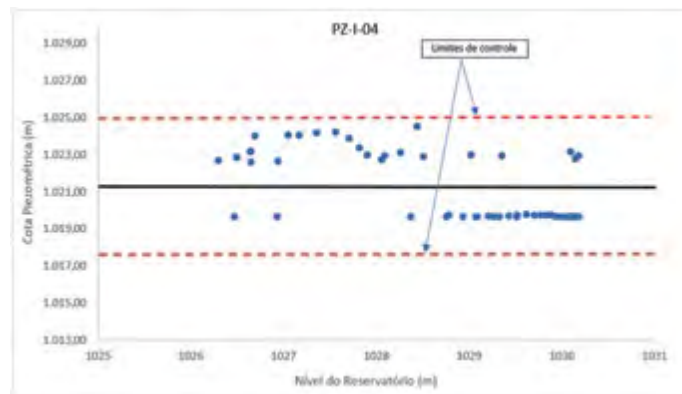


Figura 7 – Gráfico piezômetro vertical na crista

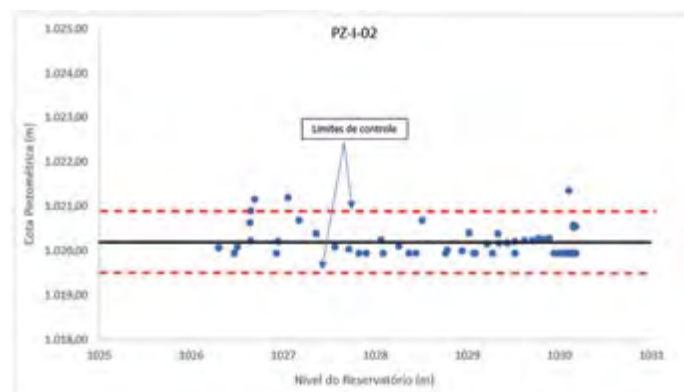


Figura 5 – Gráfico piezômetro inclinado na crista

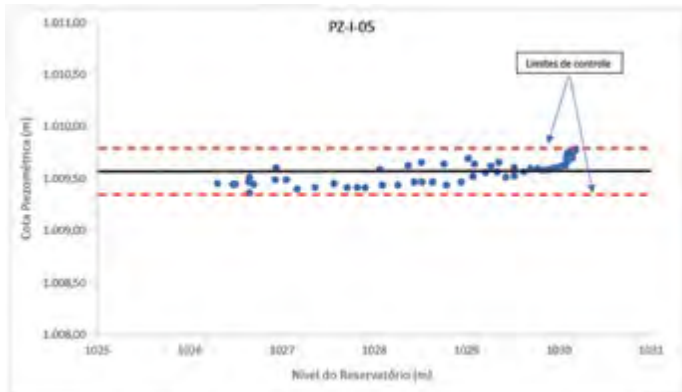


Figura 8 – Gráfico piezômetro de fundação na galeria de drenagem

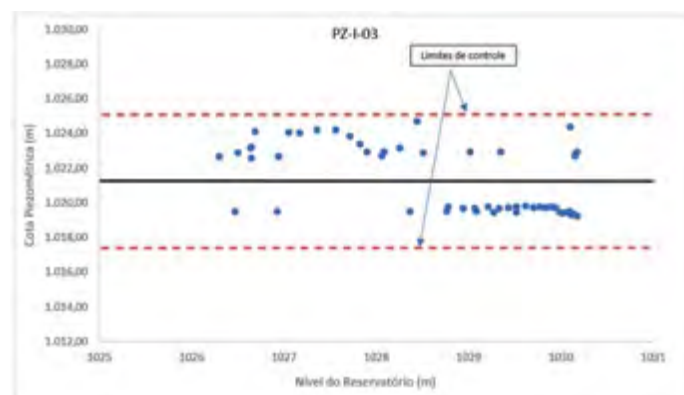


Figura 6 – Gráfico piezômetro vertical na crista

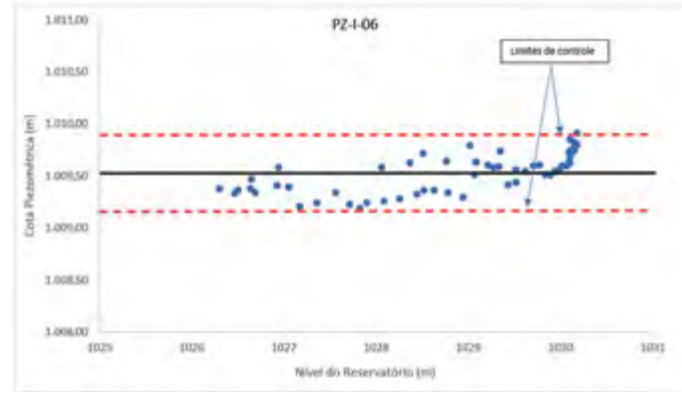


Figura 9 – Gráfico piezômetro de fundação na galeria de drenagem

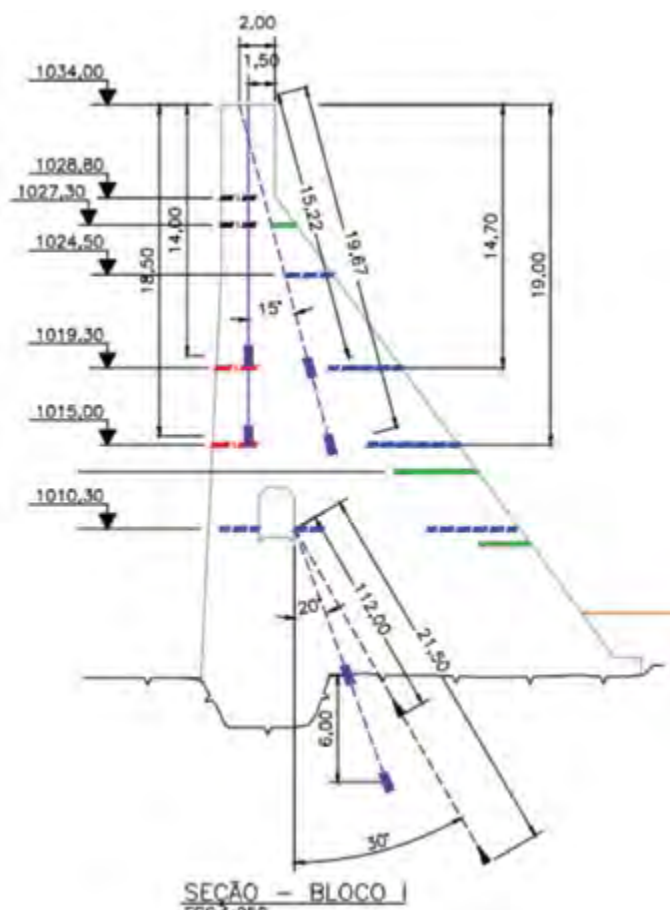


Figura 10 - Barragem Rio Descoberto – Seção transversal do bloco I mostrando as cotas de implantação dos piezômetros

3. ACOMPANHAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO DA BARRAGEM

A medição regular das subpressões da barragem do Descoberto teve início em 2022, quando foi concluída a instalação dos instrumentos anteriormente citados. Não existe, portanto, um longo registro histórico do comportamento da barragem. Porém, pela operação e pelo monitoramento contínuo, pode-se afirmar que ela possui um comportamento estável em relação aos deslocamentos e subpressões. Podemos atestar que as estruturas e suas fundações, neste período, foram submetidas às solicitações de carregamentos normais de projeto, previstas na fase operativa.

Com tais medições e com a observação da oscilação de nível de água do reservatório, foi possível plotar o gráfico para estabelecer relação com os efeitos na piezometria.

4. ESTABELECIMENTO DOS VALORES-LIMITE DA PIEZOMETRIA DA BARRAGEM

A determinação e a utilização de valores-limite podem ser de grande valor para a equipe de monitoramento da barragem na identificação de tendências no comportamento das estruturas e suas fundações, não compatíveis aos critérios de segurança do projeto, possibilitando observar um eventual indício de mau desempenho que pode afetar a operação, a funcionalidade e a segurança da barragem.

Os limites também servem para o estabelecimento de níveis de alarme e alerta para o acionamento do Plano de Ação de Emergência (PAE). Tais níveis podem ser alcançados se a leitura exceder ou cair abaixo dos máximos e mínimos históricos, variar acima de um valor fixado de uma leitura para a seguinte, ou diferir acima de um desvio padrão da média de leituras históricas. Salientamos que os históricos de leituras da instrumentação, usados como referência, estão no domínio de normalidade de resposta das estruturas e suas fundações, perante os carregamentos aplicados, e em conformidade com os critérios de projeto.

A medição da evolução dos níveis de pressão piezométrica no corpo da barragem e na fundação é um método direto para monitorar a pressão de elevação em barragens por gravidade. A pressão da água dos poros também pode ser diretamente correlacionada com a estabilidade da barragem, permitindo que valores-limite relativamente confiáveis sejam estabelecidos por um método analítico. A pressão de elevação em barragens por gravidade e o desempenho adequado dos drenos de fundação e da evolução de uma possível obstrução deles também podem ser verificados com piezômetros.

Pelos gráficos gerados na seção previamente definida, foi possível observar que há influência do nível do reservatório no comportamento das leituras dos piezômetros de fundação, sendo que a variação da carga hidráulica do reservatório condiciona a cota piezométrica nos instrumentos.

Observou-se que as leituras dos piezômetros instalados na estrutura da barragem tiveram um comportamento atípico em virtude dos serviços de recuperação do barramento no período de abril/2023 a novembro/2023, face a realização dos trabalhos de aplicação de gel poliuretano e a perfuração de nova cortina de drenos de paramento. Nesse evento, notou-se que parte do fluxo de água dos drenos de paramento foi direcionado para os piezômetros do maciço, elevando as leituras das cotas piezométricas.

O gráfico das leituras dos piezômetros na mesma seção do bloco I (Figuras de 4 a 9) mostra as mudanças na carga piezométrica com o nível do reservatório dentro do corpo da

barragem. A dissipação do potencial hidráulico do lado a montante para o lado a jusante pode ser facilmente observada e confirma que todos os valores estão abaixo do nível do reservatório. Os gráficos apresentados também mostram a influência do nível do reservatório na evolução da carga piezométrica. Piezômetros instalados próximos ao lado a montante mostram uma resposta mais pronunciada ao nível do reservatório do que piezômetros instalados próximos ao lado a jusante da barragem.

O nível piezométrico está amplamente relacionado à incerteza nos níveis do reservatório, na permeabilidade do material da barragem e da fundação. Em situações normais, as leituras dos instrumentos devem estar próximas às obtidas no passado, sob mesmas condições de carregamento.

Em razão de eventual não representatividade do estabelecimento de valores-limite para as leituras dos piezômetros, através de modelos determinísticos, os modelos estatísticos podem, por conseguinte, fornecer um melhor meio de estabelecer valores-limite.

Eles podem ser usados quando uma série temporal representativa, incluindo diferentes cenários de carga, estiver disponível.

Para a determinação das linhas de máximas e mínimas leituras admissíveis, utilizou-se basicamente o estudo estatístico das séries, conforme colocado por Selmo, C K e al. (2003), em que se fixou limites que abarcassem 95% das leituras da série histórica. Como tínhamos uma série com 58 dados, pela tabela de *Student* obtivemos um valor de P_r igual a 2,004. Desta forma, determinamos o limite superior igual a média das leituras + desvio padrão $\times$ 2,004 e o limite inferior igual a média das leituras - desvio padrão $\times$ 2,004.

Assim, os valores-limite (valores de referência) foram calculados e plotados nos gráficos acima.

5. CONCLUSÕES

A instrumentação, como referido, objetiva atestar, para a fase operativa, o controle de comportamento das estruturas e suas fundações, segundo os critérios de segurança previstos em projeto, perante os carregamentos aplicados, bem como nos efeitos de longo prazo decorrentes do processo de envelhecimento da estrutura da barragem. Da mesma forma, tem um papel fundamental em subsidiar o planejamento dos serviços de manutenção, estabelecendo prioridades e riscos, gerando uma redução da probabilidade de anomalias que

afetem sua operacionalidade e segurança. Devemos incorporar neste processo as inspeções visuais e testes das instalações.

A auscultação de um empreendimento exige um processo contínuo de coleta e tratamento de dados, segundo uma frequência compatível com as recomendações do projeto e as condições operativas, onde com o acoplamento das observações de inspeções e critérios de projeto constituam um acervo de informações básicas para análise, parecer e intervenção (se for o caso), de forma a garantir a segurança do empreendimento.

A determinação e a utilização de valores-limite podem ser de grande valor para a equipe de monitoramento da barragem na identificação de comportamento anômalo ao previsto para condição de normalidade da estrutura e sua fundação, perante as solicitações aplicadas.

Conforme comentado anteriormente, a leitura dos instrumentos da barragem do Descoberto teve início em 2022, com o objetivo de monitorar a movimentação dos blocos, acompanhar infiltrações e vazamentos, e avaliar subpressões nas fundações e juntas de concretagem.

Neste sentido, o acervo de dados sobre a quantidade, no presente, é reduzido, gerando alguma dificuldade na determinação de valores-limite por uso das metodologias encontradas na literatura.

Em que pese esta observação anterior, neste trabalho, concluímos que a aplicação de modelagem estatística do comportamento das medidas da instrumentação, a partir das solicitações de carregamento exercidas nas estruturas, define um procedimento que se enquadra, à princípio, dentro do objetivo “constatar rapidamente o comportamento anormal”.

6. PALAVRAS-CHAVE

Segurança de barragem, instrumentação, valores-limite

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAESB - Companhia de Água e Esgotos de Brasília. Barragem do Rio Descoberto. Relatório de Inspeção de Segurança da Barragem de Concreto Tipo Gravidade do Rio Descoberto. Brasília- DF. 2012.

CARDIA, R. J. R., “Barragem Descoberto - Inspeção Visual, 2009”, Relatório n. RJC/TRIER-003/09, RJC Engenharia, Bauru, SP, 02JUN09.

ENGE-RIO - Recuperação da Barragem do Rio Descoberto. Relatório Diagnóstico Preliminar. A.BAR.RD1.004 -CAESB - Companhia de Água e Esgotos

de Brasília. Rio de Janeiro, ago. 1988, 108p. il.

JUNTA DE CONSULTORES – Recuperação da Barragem do Rio Descoberto. Relatório Nº 2 - A.BAR.RD1.006.I.02 - Caesb - Companhia de Água e Esgotos de Brasília. São Paulo, 08 de fevereiro de 1999, 42p.

_____. Recuperação da Barragem do Rio Descoberto. Relatório Nº 02, A.BAR.RDE.001-D006.V01. T02-07, , São Paulo, SP, agosto de. 1999.

KFFURI, M. V, "A Recuperação da Barragem do Rio Descoberto", in Revista Recuperar, Ano 10 n. 53, Inst. De Patologias da Construção, São Paulo, SP, 2003;

SELMO, C. K., Moretti, M.R., CIFU, S., CELESTINO, T.B., RE, g., ZOELLNE, K, "Critérios para Fixação de Valores Limites da Instrumentação Civil de Barragens de Concreto e de Terra", in Anais do XXV Seminário Nacional de Grandes Barragens, Salvador, 2003.

SOARES, A. M; VIANA, M; CORREA, N. L de A; CORREA, S. F; CORREA, M. F; & ANDRIOLO, F. R, " Rio Descoberto Dam - Water Suplly System For Brasília City-Brazil Rehabilitation And Performance", in Congresso Internacional de Grandes Barragens, ICOLD, Montreal, CA, 2003;



Lúcio Eduardo Lima de SOUZA

É Engenheiro Civil (UnB/1987), Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos (The Birmingham University/1994) e Especialista em Reabilitação Ambiental (UnB/2014). Atua como Diretor Regional do Núcleo GO/DF do CBDB e é membro da Comissão de Inspeção Regular das Barragens da Companhia de Saneamento Ambiental (CAESB) do Distrito Federal. Desempenhou funções de diretoria em órgãos do governo do Distrito Federal e foi Professor do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília (UnB).



Ivaldo Rodrigues de MATOS

É Engenheiro Civil e Pós-graduado em Engenharia de Avaliação e Perícias, Pavimentação e Restauração Rodoviária, Geologia e Sistemas Construtivos de Edificações. Atua como Supervisor da área de Segurança de Barragens da Companhia de Saneamento Ambiental (CAESB) do Distrito Federal.

PROPOSTA DE DEFINIÇÃO DE NÍVEIS DE CONTROLE PARA INSTRUMENTOS INSTALADOS EM FUNDAÇÃO DE BARRAGENS DE TERRA EM RELAÇÃO AO MODO DE FALHA EROSÃO INTERNA

Laura SANTANA | Engenheira Civil

RESUMO

A instrumentação de barragens de terra é uma das principais ferramentas para o monitoramento de seu comportamento geotécnico, sendo a interpretação dos registros dos instrumentos realizada com base nos modos de falha credíveis para a estrutura. Embora haja quatro modos de falha mais comuns para barragens (instabilização, galgamento, liquefação e erosão interna), os níveis de controle dos instrumentos, geralmente, são definidos considerando apenas a instabilização, que pode não ser a condição mais crítica para o funcionamento da estrutura. Nesse contexto, este trabalho apresenta uma proposta para definição de níveis de controle para instrumentos localizados na fundação de uma barragem sujeita a elevadas subpressões, como forma de avaliar o modo de falha “erosão interna” em função do fenômeno denominado “levantamento de fundo”.

ABSTRACT

Earth dams instrumentation is one of the main tools for monitoring their geotechnical performance and their records are interpreted based on credible failure modes for the structure. Although there are four most common failure modes for dams (instabilization, overtopping, liquefaction and internal erosion), control limits are generally defined considering only instability, which may not be the most critical condition for the structure. This work presents a proposal for defining limits for instruments located in the foundation of a dam under high uplift pressures, as a way of evaluating the internal erosion failure mode due to the phenomenon called “heave”.

1. INTRODUÇÃO

O monitoramento de barragens de terra é fundamental para a avaliação de sua segurança geotécnica. Uma das principais ferramentas para tal é a instrumentação, que permite a análise do comportamento da estrutura frente aos modos de falha passíveis de ocorrerem. Segundo Matos [1], os modos de falha mais comuns para barragens de terra são instabilidade dos taludes, galgamento, erosão interna ou liquefação.

Atualmente, a avaliação da instrumentação é, muitas vezes, realizada somente quanto aos seus impactos no fator de segurança em relação à instabilidade do talude. Como exemplo, podem-se citar as orientações da Resolução nº 95/2022 da ANM [2], que correlacionam os níveis de segurança de barragens de mineração (emergência 1, 2 ou 3) ao fator de segurança nas condições drenada ou não drenada dos materiais existentes. Com base nesses fatores de segurança, geralmente, são estabelecidas leituras máximas admissíveis para piezômetros e medidores de nível d'água referentes a cada nível de segurança definido, as quais orientarão o monitoramento da estrutura.

Há, no entanto, a necessidade de avaliação do comportamento das barragens frente a outros modos de falha, como é o caso da erosão interna. De acordo com Pimenta Filho [3], esse fenômeno ocorre quando as partículas de um solo são carregadas pelo fluxo de percolação existente, isto é, quando as forças de percolação são superiores às forças gravitacionais do solo. Quatro processos podem caracterizar o início da erosão interna:

- Escoamentos concentrados: quando há vazios no solo por onde há concentração do fluxo de água;
- Erosões regressivas: quando o carreamento de partículas se inicia no ponto de saída do fluxo (no aterro ou na fundação) e a erosão ocorre de forma regressiva, isto é, de jusante para montante;

- Sufusões: quando o solo não é auto-estável, ou seja, as partículas finas não são contidas pela porção mais grosseira;
- Erosões de contato: correspondente à erosão de partículas finas em contato com uma camada mais grosseira.

Neste contexto, este trabalho apresenta um estudo de caso referente ao projeto de uma barragem de terra construída para uma hidrelétrica, aqui denominada PCH Energia (nome fictício), onde foram identificadas significativas subpressões na fundação, especificamente no contato solo-rocha, caracterizando um potencial para ocorrência de erosões de contato. Para monitoramento dessa condição foram especificados instrumentos geotécnicos na fundação, sendo a metodologia proposta para definição de seus respectivos níveis de controle, objeto de análise neste artigo.

2. PRINCIPAIS CONDICIONANTES DE PROJETO

2.1 DEFINIÇÃO DA SEÇÃO TÍPICA DA BARRAGEM

A geologia da região onde foi implantada a PCH Energia (nome fictício) é marcada pelos basaltos da Formação Serra Geral, apresentando, em superfície, os solos de origem coluvionar, caracterizados por Sallun [4] como pertencentes à Aloformação Paranaíba, conforme exemplificado na Figura 1. Tal como Sallun [4], ensaios de caracterização realizados com amostras coletadas na fundação da barragem de terra da PCH Energia, previamente à sua execução, indicaram material com granulometria predominantemente arenosa (superior a 80%), com porcentagem de finos passantes na peneira 200 inferior a 15%. Essa composição pode ser considerada como responsável pelos elevados valores de condutividade hidráulica obtidos em ensaios de infiltração realizados em furos de sondagem, os quais variavam de 5×10^{-5} a 1×10^{-3} cm/s.

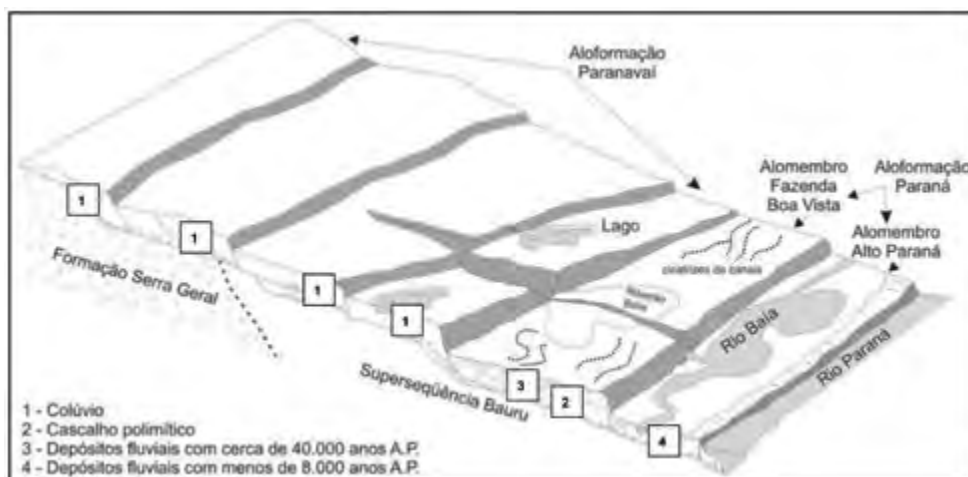


Figura 1 – Bloco-diagrama esquemático das unidades do Alogrupo Alto Rio Paraná (à esquerda, observa-se a Aloformação Paranaíba sobre a Formação Serra Geral) Fonte: Sallun, 2007 [4]

Consequentemente, tendo em vista se tratar de uma estrutura auxiliar ao funcionamento de uma hidrelétrica, foi previsto em projeto a execução de um cut-off total na fundação da barragem de terra, para garantir a remoção completa do material de alta permeabilidade, até o topo da rocha alterada. Para este horizonte, foi prevista a execução de uma cortina de injeção. Destaca-se que a largura do cut-off foi calculada a partir de análises de percolação, visando a ocorrência de perda de carga suficiente para evitar a concentração de fluxo percolado pelo solo de fundação.

A Figura 2 apresenta a seção típica da barragem na região da Aloformação Paranaíba. Destaca-se a considerável espessura deste material na fundação da estrutura, o que condicionou grandes volumes referentes às escavações obrigatórias.

Nota-se que, no maciço, foi previsto um sistema de drenagem interna composto por um filtro vertical e um tapete horizontal em areia, visando ao adequado direcionamento de eventuais fluxos percolados pelo aterro. Isso porque, em função da geometria do cut-off, que condiciona o assentamento do tapete horizontal sobre o aterro compactado, esse sistema de drenagem não teria influência sobre fluxos pela fundação. A jusante do cut-off, não foi prevista camada de areia pelo fato de o solo compactado atender aos critérios de filtro de Terzaghi [5] em relação à Aloformação, no que se refere ao risco de erosão pelo processo de sufusão. Além disso, durante o projeto, não havia indícios de que as subpressões na fundação fossem maiores que o nível do terreno a jusante, não sendo possível conduzir fluxos da porção jusante da Aloformação

2.2 PROGRAMA DE INSTRUMENTAÇÃO

Para permitir o monitoramento do fluxo de água na barragem da PCH Energia, foi proposto um programa constituído pelos seguintes instrumentos, para cada uma das seis seções instrumentadas ao longo de cerca de 600 m de barragem:

- 2 (dois) piezômetros no tapete drenante, para monitoramento de eventuais poropressões no maciço em função da sobrecarga do sistema de drenagem, que condicionem a estabilidade dos taludes;
- 2 (dois) piezômetros no contato solo-rocha, a jusante do cut-off, para monitoramento de subpressões, por constituir um ponto de atenção [6];
- 1 (um) medidor de nível d'água a jusante, para avaliação do impacto do enchimento do reservatório no nível freático pré-existente.

Além disso, foi instalado 1 (um) medidor de vazão, para coleta das vazões correspondentes à percolação pelo sistema de drenagem interna de todo o trecho onde foram identificados os solos coluvionares da Aloformação Paranaíba.

3. DEFINIÇÃO DOS NÍVEIS DE CONTROLE DA INSTRUMENTAÇÃO

3.1 NÍVEIS DE CONTROLE DE PROJETO

Para monitorar o comportamento da barragem durante o enchimento do reservatório, inicialmente foram definidos 3 (três) níveis de controle para os instrumentos, conforme indicado na Tabela 1.

Nível de controle	Fator de Segurança (FS) admissível
Normal	$FS \geq 1,5$
Atenção	$1,5 > FS \geq 1,4$
Alerta	$1,4 > FS \geq 1,3$

Tabela 1 – Níveis de controle inicialmente estabelecidos para os instrumentos da barragem da PCH Energia

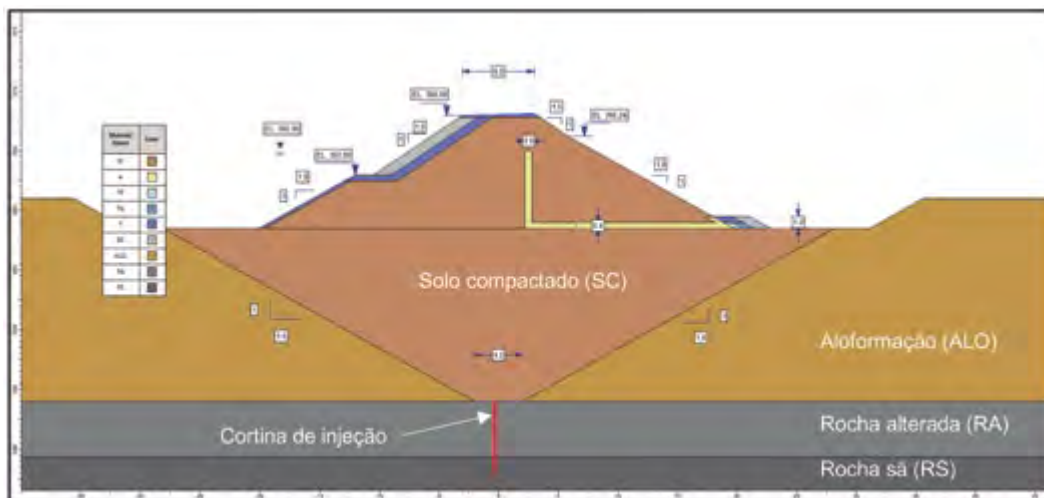


Figura 2 – Seção típica da barragem de terra da PCH Energia na região onde foram identificados os solos da Aloformação Paranaíba

Esses níveis foram definidos por meio da simulação de uma elevação hipotética do nível d'água no interior do maciço da barragem, análogo a uma condição de colmatção do sistema de drenagem interna. Com base na seção apresentada anteriormente na Figura 2, é razoável supor que a eventual colmatção do tapete drenante não causaria impactos sobre as subpressões da fundação, tendo em vista a distância entre eles. Desse modo, os níveis de controle inicialmente definidos para os instrumentos de fundação, com base nas premissas de projeto, eram muito próximos entre si, não havendo indício de uma potencial concentração de fluxo no contato solo-rocha.

Com o enchimento do reservatório, entretanto, observaram-se subpressões elevadas nos instrumentos no contato solo-rocha, que ultrapassaram os níveis de controle estabelecidos. Todavia, inspeções de campo não indicaram evidências de carreamento de materiais no medidor de vazão ou a jusante da barragem que caracterizassem um fenômeno de erosão interna ou “levantamento de fundo” (isto é, quando a subpressão existente é maior do que o peso próprio do material de uma camada de solo, levando ao deslocamento de partículas dessa camada). Além disso, na região de jusante, entre o pé da barragem e o talude de escavação natural, já havia sido prevista em projeto uma camada de transição, similar a um dreno invertido, devido ao nível freático local pré-existente, impedindo eventuais carreamentos de finos.

Ademais, os instrumentos do tapete drenante apresentaram leituras dentro da normalidade, de forma coerente com o fato de não se ter observado surgência de água no talude de jusante da

barragem, como esperado em função de sua concepção.

Desse modo, após a estabilização das leituras dos instrumentos, ocorrida cerca de 1 (um) mês depois do enchimento completo do reservatório, foram realizadas análises de percolação para definição dos coeficientes de permeabilidade dos materiais do aterro e da fundação que melhor reproduzissem os registros da instrumentação. A partir da rede de fluxo obtida para esse cenário, foram realizadas análises de estabilidade para confirmar se o fator de segurança permanecia dentro dos níveis normais.

A Figura 3 apresenta o resultado da análise realizada para uma das seções instrumentadas, que será utilizada como referência para este trabalho. Observa-se que, embora a condutividade hidráulica obtida para a camada de solo da fundação (identificada como “ALO”) tenha sido similar aos resultados dos ensaios de infiltração (5×10^{-5} m/s), o contato com a rocha alterada apresentou coeficiente de permeabilidade cerca de 10 vezes maior do que o obtido nos ensaios de campo, igual a 1×10^{-5} m/s. Este fato, aliado com as dificuldades observadas em campo para a aplicação de pressão durante a execução da cortina de injeção, sugere que este não é um procedimento eficiente para a redução da permeabilidade deste horizonte que caracteriza a interface entre solo de fundação e rocha.

Apesar disso, o fator de segurança se mostrou elevado, dado que o talude de jusante do aterro permanecia praticamente seco. Tem-se, assim, que o modo de falha “instabilização” não seria o mais credível ao se considerar os materiais de fundação, tornando necessária uma nova metodologia para definição dos níveis de controle dos instrumentos ali instalados.

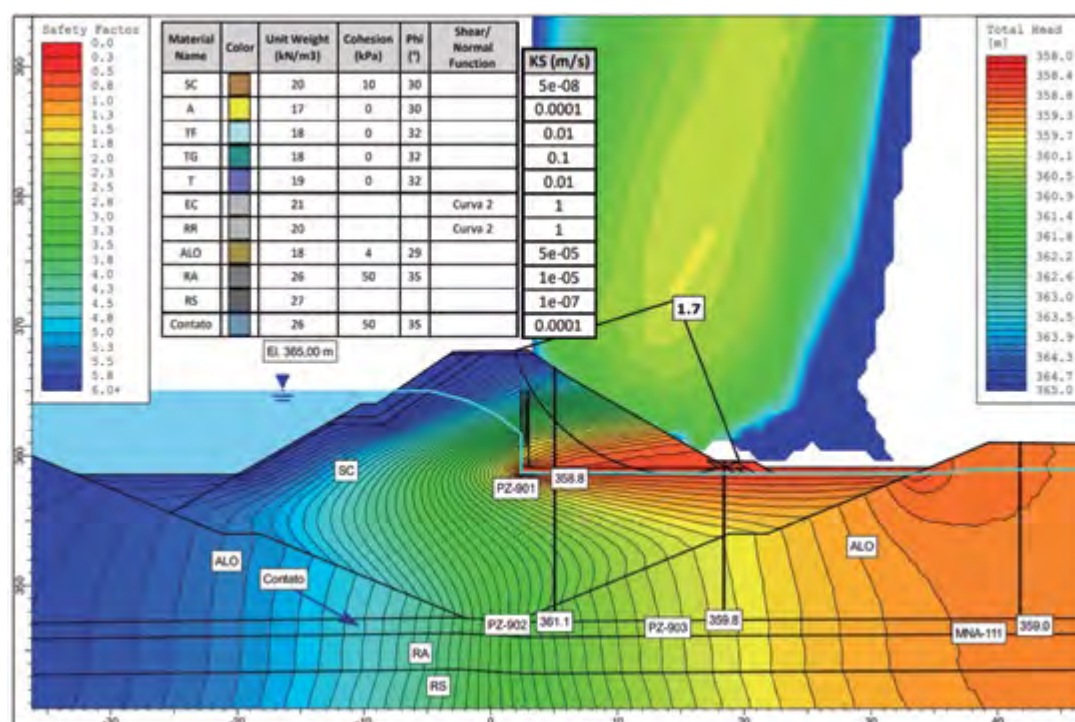


Figura 3 – Resultado da análise de estabilidade e percolação realizada para uma das seções instrumentadas da barragem da PCH Energia, considerando os coeficientes de permeabilidade dos materiais que melhor reproduziam as leituras da instrumentação após o enchimento do reservatório. A cortina de injeção não foi considerada por não ser um elemento contínuo ao longo do eixo da barragem e em função de sua baixa eficiência, indicada pelos registros dos instrumentos

3.2 METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia proposta para definição dos níveis de controle dos instrumentos de fundação se baseia na avaliação do risco de erosão interna na fundação, devido a um fluxo ascendente que condicionaria o fenômeno de “levantamento de fundo”. Primeiramente, foi definido o fator de segurança (FS) atual quanto ao risco de levantamento de fundo para cada um dos instrumentos. Esse fator é a relação entre a força resistente, dada pela tensão efetiva da coluna de solo existente sobre o piezômetro, e a força atuante, dada pela subpressão correspondente com a diferença de carga entre a leitura atual do piezômetro e a leitura antes do enchimento do reservatório (nível do lençol freático pré-existente), como mostra a Equação 1.

$$FS_{\text{erosão interna}} = \frac{\gamma_{\text{aterro}} \cdot h_{\text{aterro}} + \gamma_{\text{sub}} \cdot h_{\text{fundação}}}{\gamma_w \cdot \Delta H} \quad [1]$$

Em que:

- γ_{aterro} : peso específico natural da barragem, dado que o aterro se mostrava seco, conforme leitura dos piezômetros instalados no tapete drenante;
- h_{aterro} : altura da coluna de solo da barragem sobre o piezômetro sob avaliação. Para os piezômetros de fundação mais próximos da extremidade de jusante da barragem (como o PZ-903, indicado na Figura 3), conservadoramente, não foi considerado o peso do aterro existente; somente a parcela submersa da fundação;
- γ_{sub} : peso específico submerso do solo de fundação, igual à diferença entre o peso específico saturado do solo e o peso específico da água;
- $h_{\text{fundação}}$: altura da coluna de solo da fundação sobre o piezômetro sob avaliação;
- γ_w : peso específico da água;
- ΔH : carga hidráulica atuante após o enchimento do reservatório, que condiciona a atuação de fluxo ascendente; igual à diferença entre a leitura atual do instrumento e o seu registro antes do enchimento do reservatório.

Para a condição normal da barragem, foi considerado como admissível $FS_{\text{erosão interna}}$ maior ou igual a 2,5, correspondente ao limite superior da faixa recomendada por Massad [7] para avaliação

dos gradientes de saída de uma barragem em relação ao gradiente crítico do solo, como forma de evitar o fenômeno de erosão interna.

Logo, quaisquer valores correspondentes a um $FS_{\text{erosão interna}}$ inferior a 2,5 caracterizariam o nível de atenção. É importante destacar, contudo, que essa avaliação se baseou, principalmente, nos instrumentos mais a jusante (PZ-903, para a seção em análise neste trabalho), pois estão sujeitos a uma menor força resistente, correspondente apenas ao peso próprio da camada de fundação (segunda parcela no numerador da Equação 1). Consequentemente, o nível de controle do instrumento mais a montante (PZ-902) foi definido como ligeiramente superior, de modo a garantir um gradiente hidráulico no sentido montante-jusante, tal como já acontece (ver leitura indicada como “atual” na Tabela 2) e é esperado, dado a influência do reservatório sobre o fluxo local.

Por fim, como nível de alerta, em função da geometria da barragem e da profundidade do *cut-off*, foi considerada uma leitura correspondente ao nível d’água mínimo operacional do reservatório da PCH Energia, o que simularia uma situação extrema, sem perda de carga pela fundação, sendo o valor de $FS_{\text{erosão interna}}$ calculado em função desse nível.

A Tabela 2 resume os níveis de controle definidos para os instrumentos de fundação da seção transversal aqui considerada para a barragem da PCH Energia. Destaca-se o fato de os fatores de segurança não serem fixos, mas elementos de verificação das leituras atuais e referências para definição dos níveis de controle.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um exemplo de barragem de terra em que o monitoramento da instrumentação voltado apenas para o modo de falha “instabilização dos taludes” se mostrou insuficiente para a adequada avaliação de seu comportamento. Em caso de subpressões elevadas na fundação, há risco de erosão interna por meio do fenômeno denominado “levantamento de fundo”, quando as forças de percolação ascendentes são superiores às forças gravitacionais do solo.

Diante disso, foi proposta uma metodologia para definição de níveis de controle para piezômetros instalados no contato solo-rocha, baseada no conceito de gradiente crítico. Essa perspectiva, associada com inspeções de campo realizadas por profissionais capacitados, permitirá avaliar de forma mais completa o comportamento de barragens de terra, considerando outros modos de falha credíveis para as estruturas.

Piezômetro de fundação		PZ-902	PZ-903
Leitura antes do enchimento do reservatório (m)		356,49	356,82
Nível normal (atual)	Leitura atual (m) ⁽¹⁾	361,20	360,24
	Peso atuante (mca)	30,39	15,68
	Subpressão (mca)	4,71	3,42
	FS _{erosão interna atual}	6,5	4,6
	Verificação (FS _{erosão interna atual} > 2,5)	OK	OK
Nível de atenção	Limite (m) para FS _{erosão interna} = 2,5	363,20 ⁽²⁾	363,10
	Faixa de leituras no nível de atenção	> 363,20 e < 364,00	> 363,10 e < 364,00
Nível de alerta	Limite (m)	≥ 364,00	≥ 364,00

Nota (1): A leitura indicada como atual é ligeiramente diferente da leitura obtida por meio da retroanálise apresentada na Figura 3, pois esta corresponde a um modelo matemático que não pode representar com 100% de exatidão as condições geológico-geotécnicas reais. Todavia, em nível de avaliação da segurança da estrutura, as diferenças visualizadas (no máximo 0,50 m) foram consideradas aceitáveis.

Nota (2): O limite indicado para o PZ-902 leva a um fator de segurança maior que 2,5. Todavia, para garantir gradiente hidráulico no sentido montante-jusante em relação ao PZ-903, foi arbitrado como 0,10 m acima da leitura do PZ-903.

Tabela 2 – Níveis de controle propostos para os instrumentos de fundação de uma das seções instrumentadas da barragem da PCH Energia

5. PALAVRAS-CHAVE

Barragem, erosão interna, instrumentação, níveis de controle

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] MATOS, J. (2023) – “Modo de Falha Crível em Barragens de Rejeito de Mineração: Uma Análise das Variáveis Condicionantes e Proposição de um Modelo Preditor”, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

[2] BRASIL (2022) – “Resolução nº 95, de 7 de Fevereiro de 2022. Consolida os Atos Normativos que Dispõem sobre Segurança de Barragens de Mineração”. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-95-de-7-de-fevereiro-de-2022-380760962>>.

[3] PIMENTA FILHO, M. (2013) – “Análise da Erosão Interna de Solos em Barragens com Base na Distribuição de Vazios”, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

[4] SALLUN, A. (2007) – “Aloformação Paranavai: Depósitos Coluviais Quaternários da Bacia do Alto Rio Paraná (SP, PR, MS)”, Universidade de São Paulo, São Paulo.

[5] CRUZ, P. (2004) – “100 Barragens Brasileiras – Casos Históricos, Materiais de Construção, Projeto”, Oficina de Textos, 2ª ed., São Paulo.

[6] SILVEIRA, J. (2006) – “Instrumentação e Segurança de Barragens de Terra e Enrocamento”, Oficina de Textos, São Paulo.

[7] MASSAD, F. (2003) – “Obras de Terra: Curso Básico de Geotecnia”, Oficina de Textos, 2ª ed., São Paulo.



Laura Guimarães SANTANA

É Engenheira Civil (Universidade Federal de Minas Gerais) e Pós-graduada em Engenharia de Barragens (PUC-MG). Possui experiência em projetos geotécnicos relacionados com áreas de Mineração e Geração de Energia, incluindo interpretação de ensaios de campo e laboratório, interpretação de instrumentação e desenvolvimento de projetos de barragens, pilhas e subestações.

CRITÉRIOS GERAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

Luiz Sergio SIEBER PADILLA | Engenheiro Civil – Eletrobras Chesf

Adriana Verchai de Lima | Engenheira Civil – Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR)

RESUMO

Considerando o avanço tecnológico dos sistemas de informação dentro de um mundo conectado, em que se busca informações instantâneas e seguras, as atividades de Engenharia, associadas ao controle de Segurança de Barragens, precisam implementar a aplicação de sistemas de banco de dados estruturados para melhor gerir tais estruturas. A preparação desse processo depende de alguns cuidados que devem ser tomados antes da implantação de um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) para uma melhor transição e garantia de otimizar o proveito da solução adotada. A definição, tanto da preparação como dos requisitos técnicos funcionais, necessita ser bem detalhada e será tratada no presente trabalho. Este artigo procurou listar tais requisitos, levando em consideração a experiência dos autores e as dificuldades encontradas durante a implantação do SGBD.

ABSTRACT

Considering the technological advancement of information systems, within a connected world, in which instant and secure information is sought, engineering activities associated with Dam Safety control need to implement an application of structured database systems to better manage these structures. The preparation of this process depends on some precautions that must be taken before implementing an SGBD, for a better transition and guaranteeing the best result of the solution used. The definition of both the preparation and the specific technical requirements defined are well defined and addressed in this article. This article presents a list of these requirements that lead to an understanding of the authors' experience and the difficulties during the implementation of the SGBD.

1. INTRODUÇÃO

Concepção, projeto, construção e operação de barragens fazem parte de um processo multidisciplinar em função da complexidade técnica que envolve este tipo de empreendimento em todas as etapas, desde o planejamento até a operação e a manutenção. O monitoramento e a gestão de dados desempenham um papel importante em todas essas fases. Em especial, na operativa do empreendimento, garantindo que as informações necessárias sejam coletadas, analisadas e utilizadas de maneira oportuna, eficiente e segura, além de garantir que sejam tomadas medidas preventivas e corretivas adequadas para minimizar riscos e proteger as comunidades, bem como o meio ambiente.

Diante da necessidade de controle, manutenção e definição do risco associado às barragens brasileiras e da dificuldade observada para obtenção do acervo técnico de projeto e construção, em barragens antigas, diques, entre outros, é apresentada a descrição de uma proposta de desenvolvimento de um sistema de gestão de documentos, controles e dados associados com monitoramento e segurança de barragem. (LOBO, A.V.L, GRAEFF, 2018).

A implantação de um sistema de gestão de segurança de barragens é desafiadora no que tange ao preparo dos dados e de outras informações técnicas importantes para importação, bem como a definição dos critérios em seu processo de contratação ou desenvolvimento. Os dados precisam estar organizados e tabulados para que um sistema de banco de dados estruturado possa reconhecê-los. Além disso, esses dados precisam ser verificados, validados e estruturados (para que não haja erros de importação), bem como integrados, de modo que sejam convertidos em informação.

2. PREPARAÇÃO PARA A IMPLANTAÇÃO

O Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) é um software desenvolvido para gerenciar, monitorar, armazenar, organizar e recuperar dados de forma eficiente em um banco de dados. Ele atua como uma interface entre os usuários e o banco de dados, permitindo operações como inserção, atualização, exclusão e consulta de dados e informações de maneira segura e fácil.

Além disso, os SGBDs, geralmente, oferecem recursos para manter a integridade, a consistência e a segurança dos dados como mecanismos de transação, controle de ocorrência, controle de acesso e backup/recuperação.

Antes de implementar um SGBD, é crucial coletar os dados relevantes e armazená-los, preferencialmente, em planilhas eletrônicas para facilitar a migração para um banco de dados estruturado.

Os SGBDs trabalham com tabelas relacionadas entre si para estruturar o armazenamento de dados. Elas são divididas em tabelas de dimensão para cadastros e tabelas fato para registros dinâmicos, como as leituras de instrumentação, servindo-se dos dados das tabelas dimensionais. Isso auxilia na organização e estruturação dos dados armazenados.

Algumas medidas devem ser tomadas pelas equipes, antes do início da migração, e entre elas, podemos relacionar:

DADOS AUSENTES, DUPLICADOS OU INCONSISTÊNCIAS

Os erros são muito comuns quando se tem uma base de dados organizada em planilha eletrônica, pois ela acaba sendo utilizada por vários operadores ao longo dos anos do empreendimento monitorado e/ou inspecionado. Este fato implica em ser quase impossível não haver erro humano. Logo, o trabalho de organização

ID	Estrutura	Identificador	Status	Tipo instrumento	Subtipo instrumento	É automatizado
18087	BA-01	Vertedor Superfície	Ativo	Base de Alongâmetro	Base se Alongâmetro Tripla	Não
19666	MS-15B	Barragem Margem Esquerda	Ativo	Marco superficial	Marco Superficial UTM	Não
18075	PA-107	Dique A	Ativo	Poço de alívio	Poços de alívio	Não
18076	PA-108	Dique A	Ativo	Poço de alívio	Poços de alívio	Não
17878	PZ-28A	Dique A	Ativo	Piezômetro	Piezômetro de tubo aberto	Não
17842	PZ-28-DF	Descarregador de Fundo	Ativo	Piezômetro	Piezômetro de tubo aberto	Não
17879	PZ-29 ^a	Dique A	Ativo	Piezômetro	Piezômetro de tubo aberto	Não
17843	PZ-29-DF	Descarregador de Fundo	Ativo	Piezômetro	Piezômetro de tubo aberto	Não

Tabela 1 - Exemplo de tabela cadastral de instrumentos de auscultação

dos dados e informações do empreendimento deve ser muito minucioso. Como exemplo, observamos erros quando a vírgula está no lugar errado ou quando há valores muito discrepantes, registros duplicados, ilógicos, vazios ou incompletos.

Em geral, avaliação, interpretação, correção e/ou seleção de dados devem ser realizadas por especialistas, que possuem mais conhecimento técnico. Uma conduta simples para avaliar o histórico de registros da instrumentação é fazer uma análise visual do gráfico, buscando variações que possam indicar erros.

FORMA DE REGISTRO DE DADOS PARA IMPORTAÇÃO DE PLANILHA ELETRÔNICA PARA O BANCO DE DADOS

A forma preferível de registrar dados para importação de planilha eletrônica para o banco de dados é linha a linha. No caso de leituras de instrumentos, o processo de migração futura fica mais fácil se os registros de leituras estiverem sendo realizados assim: para cada linha, um registro.

A Tabela 1 mostra a maneira de importar estes dados organizados para um SGBD. No software Excel, por exemplo, existem comandos específicos que executam esta tarefa automaticamente. Entretanto, é bom lembrar que, numa base de dados muito grande (com mais de 100 instrumentos e/ou acima de 10 anos de registros), essa tarefa se torna difícil, podendo demorar muito para concluir a organização e a alimentação do banco de dados do SGBD.

ERROS DE CÁLCULO NAS TRANSFORMAÇÕES DE LEITURAS EM MEDIDAS

Quando se analisa uma série histórica de um instrumento, é comum encontrar fórmulas digitadas incorretamente nas planilhas eletrônicas. Eventualmente, há equívocos nas unidades de medidas; outras vezes, nas constantes no registro de dados de leitura. O mesmo costuma acontecer na transformação de dados dos instrumentos em informação.

Em geral, esses erros de fórmulas acontecem quando há mudanças nas características iniciais de instalação dos instrumentos (por exemplo: PZ que tem a sua cota de topo alterada). Também ocorre quando as informações de aferição não são repassadas para o escritório, onde são processadas as medições.

REGISTROS DE INSPEÇÕES

Os registros de inspeções também precisam ser tabulados em planilha eletrônica com número de colunas específico, podendo variar de acordo com o SGBD que vai importá-las.

É aconselhável verificar dados de consistência, como a situação

da anomalia, através de registro de sua condição (registro de conclusão da anomalia).

Convém ter atenção aos formatos de registro das datas para evitar que o preenchimento não ultrapasse os caracteres permitidos no SGBD.

Ressalta-se que já existem novas informações de que o SGBD é capaz de armazenar coordenadas geográficas da anomalia detectada, item que as planilhas antigas não possuem - além de outros quesitos inovadores.

DADOS TÉCNICOS CADASTRAIS DAS ESTRUTURAS

É igualmente relevante ter os dados técnicos cadastrais das estruturas em papel. O mais provável é que eles sejam digitados manualmente nos sistemas.

DADOS DE CADASTRO DA INSTRUMENTAÇÃO

Extremamente importantes, os dados de cadastro da instrumentação possuem muitas informações, como tipo de instrumento, nome, data de instalação, empresa responsável e os dados das constantes, que serão utilizadas nas fórmulas de transformação das leituras em medidas.

Portanto, qualquer equívoco em uma constante pode trazer muitos erros em casos de importação direta e exclusiva dos dados de medidas, gerando grave risco de representatividade do comportamento estrutural em análise.

3. CRITÉRIOS NECESSÁRIOS PARA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GESTÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

O desenvolvimento e/ou implantação de um sistema existente de SGBD específico para Segurança de Barragens requer uma série de conhecimentos técnicos de Engenharia. Para o desenvolvimento de um sistema SGBD, os critérios seriam muito mais específicos, pois entraria na área de planejamento de cada detalhe do sistema. Portanto, os critérios apresentados neste trabalho serão **mais úteis para planejamento e contratação de um sistema existente no mercado.**

Verifica-se que as empresas que desenvolvem esse tipo de solução, normalmente, são abertas para adaptações requisitadas por clientes, o que customiza e valoriza a informação e a solução para cada cliente/empreendimento.

O planejamento da contratação de uma solução de Tecnologia da Informação (TI), em termos conceituais, se constitui em um

projeto. A equipe que vai definir a contratação deve ser formada por profissionais de Engenharia de Barragens, especialista em projeto, construção, operação, monitoramento e inspeção, e por especialistas e/ou equipe de Tecnologia da Informação.

No que concerne aos requisitos funcionais do sistema, os especialistas em Segurança de Barragem, a princípio, são os mais preparados para esta definição. Os responsáveis pela área TI se preocuparão, principalmente, com o tipo de solução a ser adotada, bem como com hospedagem (local ou nuvem), performance, interface, linguagem de programação, entre outros.

3.1 PRINCIPAIS REQUISITOS FUNCIONAIS

3.1.1 CADASTROS

- Permitir o cadastro e edição dos dados das barragens, com, no mínimo, os seguintes campos por barragem: nome da barragem; características técnicas de projeto e construção da barragem (altura, tipo de construção etc.); localização (endereço completo, coordenadas geográficas, fotos); gestor; responsável técnico junto ao CREA; fotos.
- Permitir o cadastro de tipos e subtipos de instrumentos de auscultação, onde será possível inserir dados de constantes e fórmulas de transformação de leituras e medidas, em conformidade com o modo de aquisição das leituras.
- Permitir o cadastro e edição dos instrumentos de auscultação, com, no mínimo, os seguintes campos: nome do empreendimento; parte do empreendimento (por exemplo VT, BT, TDA etc.); tipo de instrumento; descrição do instrumento; código dos instrumentos (atual e antigo); QR-CODE do instrumento ou similar; unidade de medida da leitura; fotos; dados de instalação (cotas, coordenadas geográficas entre outros); cadastro de constantes; e estado de operação.
- Permitir o cadastro e edição dos dados dos órgãos gestores da manutenção das barragens, com, no mínimo, os seguintes campos por órgão: nome do órgão; gestor do órgão; dados de contato; equipe técnica que compõe o órgão.
- Permitir o cadastro e edição de diferentes tipos de acesso ao sistema, tais como administrador, usuário normal, entre outros. Os tipos de acesso precisam ser configurados pelo administrador.
- A autenticação dos usuários deve também ser feita a partir de integração com o *Active Directory (AD)* ou outro sistema de autenticação utilizado.

3.1.2 INSTRUMENTAÇÃO DE CONTROLE DE COMPORTAMENTO

- Os instrumentos devem poder ser visualizados, com sua respectiva coordenada geográfica, para instrumentos instalados em ambientes externos. Para instrumentos internos, o sistema deve permitir a inclusão de um desenho vetorial pleno da estrutura onde os instrumentos estão instalados, de forma que, quando o usuário passar o mouse por essa estrutura, ela se destacará e poderá ser ampliada para ver os instrumentos posicionados no seu interior.
- O sistema deverá permitir o controle da execução das leituras, de forma que em uma determinada data seja possível aferir a quantidade de leituras previstas e realizadas em determinado período (isso deverá ser mostrado em um calendário).
- O sistema deve permitir a criação de perfis de leituras personalizados para que o usuário possa acioná-los de acordo com a necessidade. Por exemplo: perfil normal significa a periodicidade normal de leituras. Caso o usuário crie um perfil para cheia, provavelmente, aumentará a frequência de leituras.
- O sistema deverá permitir criar grupos de leituras que terão recorrências e instrumentos a serem configuradas pelo usuário. O usuário também poderá atribuir um perfil a esse grupo de leituras (normal, cheia etc).
- Deve permitir a criação de seções transversais das estruturas, podendo ser inserido nível d'água do reservatório de montante e nível de jusante, bem como os instrumentos devem ser posicionados graficamente para indicar a grandeza medida pelo equipamento.
- Permitir a criação de gráficos de dados versus tempo para representar as séries históricas dos instrumentos. Esses gráficos devem poder combinar vários instrumentos, bem como dados operacionais do reservatório e dados hidrometeorológicos.
- Permitir a configuração de *dashboard* dinâmicos personalizados para cada usuário, permitindo inserir gráficos (barras 2D, barras 3D, gráficos de linhas, gráficos de pizza, gráfico de combinação, mapa de árvore, *kpi (key performance indicator)*), desenhos, imagens e textos, utilizando como fonte as tabelas de dados cadastradas no software.
- Permitir a pesquisa de entradas e saídas das leituras, possibilitando a edição manual dos itens, além de poder editar, excluir e desativar essas leituras.
- Permitir a importação de leituras existentes em tabelas de planilha eletrônica (com e sem transformação da leitura em unidade de medida para análise).

3.1.3 COLETA DE LEITURAS

- Fornecer aplicativos para dispositivos móveis que permitam a inserção manual de leituras, com criação de regras de validação dessas leituras, para minimizar erros humanos de digitação.
- Funcionamento offline do aplicativo com transmissão das leituras quando o dispositivo estiver conectado na rede sem fio disponível.
- Permitir a rastreabilidade, através de coordenadas geográficas, da realização das leituras e dos dados do usuário que as realizou.
- Permitir inserir uma nova constante do instrumento, após manutenção, diretamente no dispositivo móvel.
- Permitir a leitura de códigos QR dos instrumentos.
- Permitir selecionar a forma como determinado instrumento vai ser lido, caso haja mais de uma forma.

3.1.4 INSPEÇÕES

- Permitir cadastrar e editar tipos de inspeção.
- Permitir selecionar estruturas individuais para realização da inspeção, bem como possibilitar unir as inspeções em diferentes estruturas como uma única inspeção.
- Permitir o cadastramento personalizado de lista de verificação de inspeção para vinculá-lo com as partes da estrutura, de modo a compor a análise global.
- Fornecer aplicativo para dispositivos móveis onde se poderá registrar e acompanhar anomalias existentes. O cadastro das anomalias deve conter fotos, descrição, data, coordenadas geográficas, item do checklist (lista de verificação), nível de perigo e magnitude.
- As anomalias devem poder ser acompanhadas, com registros de futuro, até seu possível atendimento.
- Deve-se criar planos de ações com as recomendações vinculadas às anomalias detectadas ou mesmo não vinculadas, importadas de uma fiscalização externa.
- Após o encerramento da inspeção, o sistema deve emitir relatório do checklist da inspeção com dados das anomalias, registro de fotos, entre outros itens.
- O sistema deve possuir uma matriz de prioridades Gravidade, Urgência e Tendência (GUT) para classificar as anomalias/recomendações.
- Permitir a importação de recomendações externas, oriundas de revisões periódicas ou de fiscalizações de organizações externas.

3.1.5 PLANO DE SEGURANÇA DE BARRAGEM (PSB) E PLANO DE AÇÃO EMERGENCIAL (PAE)

- Permitir a inclusão de volumes do Plano de Segurança de Barragem (PSB) de acordo com a definição do órgão fiscalizador.
- Permitir controlar as alterações no PSB quando houver ocorrência de revisões periódicas ou extraordinárias, em caso de alteração a qualquer tempo.
- Permitir a organização e a padronização das informações do PSB, bem como a geração automática do PSB.
- Permitir a operacionalização do Plano de Ação Emergencial (PAE).
 - » Permitir visualizar no sistema os fluxogramas de comunicação com os contatos e as ações esperadas para cada um dos agentes (internos e externos), tendo em vista:
 - » o nível de emergência da estrutura;
 - » as fichas de emergência com a descrição das ações de controle/resposta esperadas em cada nível de emergência para os diferentes modos de falha da estrutura (galgamento, liquefação, erosão interna, instabilização);
 - » as informações do Estudo de Ruptura Hipotética (*Dam Break*), tais como localização da brecha de ruptura, manchas de inundação dos cenários simulados e seus respectivos tempos de chegada, profundidade, velocidade, duração e risco hidrodinâmico;
 - » a delimitação da Zona de Autossalvamento (ZAS) e da Zona de Segurança Secundária (ZSS);
 - » foto e descrição das principais localidades atingidas.
- Permitir a inclusão de outros dados gerais sobre a localidade, tais como hidrografia, acessos e limites municipais e estaduais. Também devem ser inseridos no sistema os dados públicos sobre unidades de conservação, comunidades tradicionais, sítios arqueológicos, entre outros.
- Permitir a criação de Planos de Alerta e de Evacuação, considerando os seguintes aspectos:
 - » inserir os dados de cadastramento das pessoas/propriedades atingidas (nome, idade, contato, animais, mobilidade reduzida, foto do local, entre outros);
 - » visualizar as rotas de fuga com indicação da direção do fluxo e do tempo máximo de deslocamento;
 - » visualizar os pontos de encontro, com a informação do quantitativo de pessoas esperadas;
 - » visualizar as placas sinalização (localização, modelo e quantitativos);
 - » inserir informações sobre o sistema de alerta, incluindo

a área de abrangência das sirenes, além de obter o histórico de acionamento e enviar mensagens de alerta à população.

- O Plano de Ação Emergencial (PAE) deve permitir:
 - » inserir informações sobre os locais de abrigo para pessoas e animais, incluindo os recursos necessários (itens de higiene, alimentação, água, outros);
 - » visualizar os pontos de interdição de vias de acesso;
 - » visualizar as rotas alternativas;
 - » visualizar a localização do Centro de Operação de Emergência (COE)/Sala de Situação;
 - » listar os recursos logísticos e os suprimentos de primeiros-socorros disponíveis.
- Disponibilizar aplicativo próprio para dispositivos móveis que permita o cadastro dos locais e das populações do entorno da barragem, com, no mínimo, as seguintes informações: localização georreferenciada; foto; padrão construtivo; condição do local; finalidade; renda familiar; nome; telefone; idade; mobilidade reduzida; profissão; nível de escolaridade; dentre outros.
- Disponibilizar aplicativo próprio para dispositivos móveis que sirva como meio para que os interessados na barragem, tais como população em geral, defesa civil e ANEEL, possam:
 - » atualizar as suas informações cadastrais;
 - » receber “mensagens” do empreendedor;
 - » receber notificações *push* em situações de emergência;
 - » compartilhar sua localização em tempo real;
 - » receber rota de evacuação até o ponto de encontro mais próximo;
 - » visualizar dados básicos operacionais da barragem (vazões, cotas, entre outros).
- As notificações descritas neste requisito devem prever, no mínimo: notificações do tipo *push* (imediatas) no próprio aplicativo; mensagens via *Whatsapp* e *short messages* (SMS); chamada de voz; e e-mail.

3.1.6 ANÁLISE DE ESTABILIDADE

- Permitir a inserção de dados com as características da estrutura para a modelagem geológica, vinculados aos perfis criados no módulo de monitoramento.
- Permitir a visualização em forma de desenho da seção da estrutura.
- Permitir análise de estabilidade utilizando o Método do Equilíbrio Limite e/ou outro aplicável com a complexidade

da análise (exemplo: cálculo do fator de segurança, das análises probabilísticas, de alarmes e análises preditivas).

- Permitir a atualização automática dos cálculos de estabilidade, baseada em novos cenários.
- Permitir a exibição dos resultados dessas análises através de gráficos e relatórios, inclusive em *dashboard* dinâmico.
- Permitir a análise de estabilidade de forma integrada ao sistema de monitoramento e aos procedimentos de emergência.
- Permitir a retroanálise da condição de estabilidade com base nos dados dos instrumentos instalados de forma periódica e automática.

3.1.7 CRITÉRIOS IMPORTANTES QUE DEVEM FAZER PARTE DO SISTEMA DE SEGURANÇA E MONITORAMENTO DE BARRAGENS EM TODOS OS MÓDULOS:

- Permitir a rastreabilidade em caso de alteração de registros do sistema;
- Permitir a exportação de dados para planilhas eletrônicas;
- Permitir gerar relatórios em PDF em todas as áreas do sistema;
- Todos os módulos devem ser inter-relacionados para evitar dados duplicados;
- Todos os módulos devem poder enviar notificações dentro do sistema e através de mensagens de texto e/ou e-mails, por exemplo. Tais alertas devem prever, no mínimo, instrumentos que indiquem comportamentos que violem os critérios estabelecidos no projeto, atrasos na realização de leituras programadas da instrumentação e/ou no atendimento de recomendações;
- O sistema deve prever realização de backups periódicos para garantir a segurança dos dados;
- Deve haver um controle único de usuários para personalizar os acessos de forma unificada em cada parte do sistema.

4. CONCLUSÃO

Diante do que foi apresentado neste trabalho, é fundamental planejar toda a documentação antes de implementar um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD), observando a transição adequada dos documentos físicos e dos que estão armazenados em computadores sem uma estrutura lógica de um banco de dados. Afinal, o objetivo é maximizar o aproveitamento futuro dos dados migrados.

Convém alertar, mais uma vez, que obter dados migrados com erros pode prejudicar as análises, gerando maior

dificuldade para identificar o tipo e a causa dos problemas. Além disso, a definição correta de requisitos, desde não-funcionais (aqueles que afetam a usabilidade e a segurança geral do software) até funcionais (aqueles que impactam o uso técnico), é fundamental para uma boa utilização da ferramenta, que tem como objetivo principal garantir que as estruturas estejam em um nível adequado de segurança.

Em síntese, o SGBD, ao ser adequadamente especificado, pode agilizar os processos de monitoramento, inspeção, geração dos relatórios e cadastro de anomalias.

5. PALAVRAS-CHAVE

Sistema de gestão de banco de dados, barragem, software, critérios, requisitos

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Relatório de segurança de barragens 2022. Brasília: ANA, 2022. Disponível em <https://www.snish.gov.br/portal-snish/documentos-e-capacitacoes?tipo=documento&id=121>. Acesso em: 03 mar. 2023.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens está disponível em nova versão. 2022. Disponível em <https://www.snish.gov.br/portal-snish/inicio>. Acesso em: 03 mar. 2024.

TAVARES, L. F.; SILVA, M. A.; SOUZA, J. C. Implantação de um sistema de gestão de banco de dados para monitoramento de barragens. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA CIVIL, 25., 2022, São Paulo. Anais... São Paulo: ABENC, 2022. p. 123-130.

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.

BRASIL. Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020. Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), a Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração).

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS – CBDB. Guia Básico de Segurança de Barragens. São Paulo, SP. 2001.

MENESCAL, R.A. (2009). Gestão da Segurança de Barragens no Brasil: Proposta de um Sistema Integrado, Descentralizado, Transparente e Participativo. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 769 p.

SNISB. SNISB - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS, c2024. Página inicial. Disponível em: <<https://www.snish.gov.br/portal-snish/inicio>>. Acesso em: 05 de mar. de 2024.

Guia de boas práticas em contratação de soluções de tecnologia da informação: riscos e controles para o planejamento da contratação / Tribunal de Contas da União. – Versão 1.0. – Brasília: TCU, 2012. 527 p.



Luiz Sergio Sieber PADILLA

É Engenheiro Civil e atua em Segurança de Barragens desde 2004, na Eletrobras Chesf. Possui o título de *Maître Spécialisé* em Engenharia de Sistemas Industriais na *Ecole Centrale Paris*, e cursa Especialização em Segurança de Barragens (UFBA) e Engenharia e Análise de Dados (Cesar School).



Adriana Verchai de Lima

É Doutoranda e Mestre em Engenharia Civil (Materiais), Engenheira Civil (UFPR), Especialista em Saneamento Ambiental (UENP), em Segurança de Barragens (IDD) e em Gestão de Projetos Municipais de Recursos Hídricos (ANA/IFCE). Atua na Gerência de Pesquisa e Inovação da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar). Possui experiência de 20 anos no setor de Saneamento. Elaborou os Planos de Segurança das Barragens (de acordo com a Lei nº 12.334/2010) das quatro barragens em operação pela Sanepar (Iraí, Passaúna, Piraquara 1 e 2).

Belo Monte

Referência mundial em geração de energia renovável, engenharia e segurança de suas estruturas



norteENERGIA
USINA HIDRELÉTRICA BELO MONTE



Foto: Roney Vieira/Norte Energia

SEGURANÇA DE BARRAGENS: PILAR FUNDAMENTAL PARA A CONFIABILIDADE E A SUSTENTABILIDADE DE BELO MONTE

O cuidado constante com o monitoramento das estruturas e com a manutenção da vanguarda tecnológica evidenciam nossa busca pela excelência

Investir na modernização do monitoramento, no treinamento das equipes, incluindo a população, e prover sistemas para a conectividade das comunidades são algumas das ações realizadas pela Norte Energia, concessionária da usina hidrelétrica Belo Monte, para manter a segurança das barragens e diques que formam o complexo.

A busca pela excelência levou a empresa a conquistar em 2023, a primeira posição entre treze projetos de barragens de enrocamento selecionados para participação em um concurso. O *5th International Milestone Rockfill Awards Dam* (5º Prêmio Internacional de Barragens de Enrocamento consideradas Marcos de Referência), concedido por comissão internacional do setor

de barragens, reconhece soluções que podem ser consideradas modelo para novos projetos.

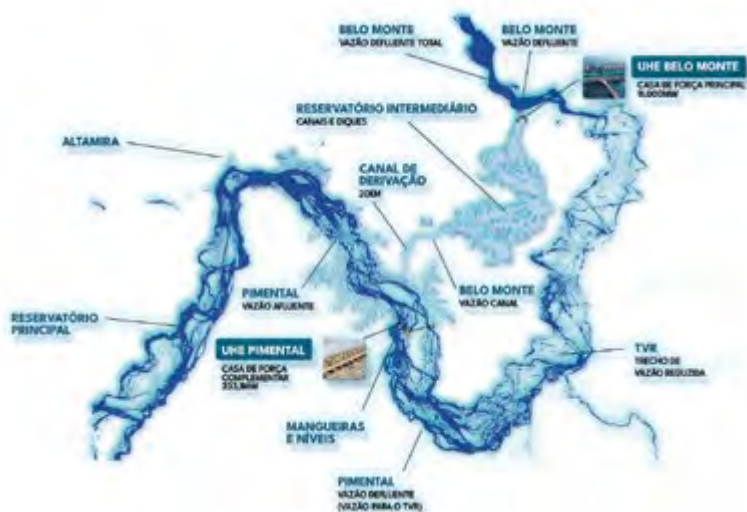
“A segurança de nossas barragens, reconhecida dentro e fora do país, reflete o compromisso da Norte Energia com esse tema. Hoje, Belo Monte se destaca como referência mundial em segurança de barragens e desponta como modelo para futuras construções. Tendo em vista as preocupações com as mudanças climáticas é de fundamental importância estarmos atentos às inovações do setor e ao rígido monitoramento, assegurando a resiliência das estruturas”, avalia o diretor-presidente da Norte Energia, Paulo Roberto Ribeiro Pinto.

ARRANJO DO COMPLEXO HIDRELÉTRICO BELO MONTE

Com 11.233 MW (Megawatts) de capacidade instalada, o complexo hidrelétrico Belo Monte está situado no rio Xingu, no sudoeste do estado do Pará. O empreendimento aproveita uma queda natural da ordem de 90 m em um trecho de aproximadamente 150 km do rio Xingu, denominado Volta Grande do Xingu. A casa de força principal (UHE Belo Monte) possui 18 unidades geradoras tipo Francis com potência de 611,11 MW cada e a casa de força complementar (UHE Pimental), seis conjuntos turbina gerador, tipo Bulbo, de 38,85 MW cada.

O reservatório do complexo hidrelétrico se caracteriza por possuir dois segmentos interligados por um canal de derivação com 20 km de extensão. O primeiro, constituído pela calha natural do rio Xingu, denominado de Reservatório Principal. O segundo, denominado Reservatório Intermediário, é formado a partir da construção de 28 diques que fecham as selas topográficas existentes.

Ao todo são 36 diques e barragens, além das diversas estruturas de concreto, monitoradas continuamente por meio de inspeções visuais e 2.640 instrumentos.



PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA

No período entre 2019 e 2022, as 10 comunidades localizadas na Zona de Autossalvamento (ZAS) do empreendimento receberam os elementos de autoproteção (42 sirenes, 2.000 placas de sinalização orientativas e 52 km de rotas de fuga) e passaram pelo Exercício Simulado em Escala Real, os quais se repetirão a cada três anos, em conformidade com a Política Nacional de Segurança de Barragens.



Foto: Marêssa Glikinski / Norte Energia

A inclusão de novas tecnologias na cobertura do Sistema de Notificação de Emergência da companhia, com equipamentos mais modernos, propiciou redundância no acionamento dos moradores residentes nas ZAS, bem como a disponibilização de acesso à internet para essa população.

TECNOLOGIA COMO ALIADA

As tecnologias implantadas proporcionam maior precisão e confiabilidade na rotina de monitoramento das estruturas. Dentre elas destacam-se: sistemática de gestão de segurança de barragens, contemplando o uso de software específico; identificação dos instrumentos por QR Code; automação de instrumentos elétricos; monitoramento geodésico por estações totais robóticas; apoio de drones e de barco autônomo com sonar.

Além da tecnologia e atuação da equipe própria de inspeção, o empreendimento conta com o suporte de consultores com conhecimento e experiência reconhecida no setor nacional e internacional, que atuaram desde a concepção do projeto, passando pela construção e atualmente prestando suporte técnico na fase de operação do empreendimento.



Conte com especialistas que podem transformar desafios em resultados

Ao longo de uma trajetória **marcada pelo atendimento a mais de uma centena** de usinas hidrelétricas, abrangendo desde **CGHs até PCHs e UHEs**, evidenciamos nossa capacidade ímpar de superar obstáculos e fornecer **resultados de excelência**.

Reparo, proteção e impermeabilização de estruturas de concreto e serviços de geotecnia. Sultec, **transformando Desafios em Conquistas Duradouras**.



@sultec_eng



sultec.eng.br

1. INTRODUÇÃO

Os trabalhos a serem apresentados ao Conselho Editorial da Revista Brasileira de Engenharia de Barragens do CBDB deverão ser inéditos, não tendo sido antes publicados por quaisquer meios. Apenas profissionais qualificados deverão ser aceitos como autores. Profissionais recém-formados ou estagiários poderão ser aceitos, desde que participem como colaboradores.

2. EXTENSÃO DO TRABALHO

Os trabalhos, para serem aceitos para divulgação, deverão ter no máximo 10 (dez) páginas, incluindo as ilustrações, esquemas e o sumário em português e inglês. Os trabalhos que excederem este número de páginas serão devolvidos aos autores, para sua eventual redução.

3. TIPO DE ARQUIVO MAGNÉTICO

Os trabalhos a serem recebidos pelo Conselho Editorial da Revista Brasileira de Engenharia de Barragens do CBDB deverão estar em formato WORD for Windows, 1997 ou superior. Não serão recebidos arquivos em separado, isto é, com o texto e as ilustrações em arquivos diferentes. As ilustrações deverão ser agrupadas no corpo dos trabalhos em formato JPEG.

4. NÚMERO DE AUTORES E CO-AUTORES

Os autores e co-autores estão limitados a um número máximo de sete, ou seja, um autor e até seis co-autores. Os trabalhos com mais de sete participantes serão devolvidos aos autores para atendimento a esta diretriz. Caso haja mais colaboradores no trabalho, eles poderão ser citados em Agradecimentos (ver item 11).

5. CONFIGURAÇÃO DE PÁGINA

A Configuração de Página deve obedecer a formatação:

Margens:

- Superior: 2,5 cm;
- Inferior : 2,0 cm;
- Esquerda: 2,5 cm;
- Direita: 2,5 cm; - Medianiz: 0 cm.

A partir da margem:

- Cabeçalho: 1,27 cm; - Rodapé: 1,27 cm.

Tamanho do Papel:

- A4 (21 x 29,7 cm); - Largura: 21 cm; - Altura: 29,7 cm;
- Orientação: Retrato em todo o trabalho.

6. PADRÃO DE LETRAS E ESPAÇAMENTO

Os trabalhos deverão ser digitados em arquivo Word 97 ou superior, com as seguintes formatações de fonte: Fonte: - Arial;

- Tamanho 12 em todo o trabalho.

Parágrafo:

- Espaçamento entre linhas: simples;
- Alinhamento: justificado;
- Marcadores como o desta linha (traço), poderão ser utilizados sempre que necessário.

7. PÁGINA DE ROSTO

Apenas na primeira página deverá constar o cabeçalho (ver item 7.1). O título do trabalho (ver item 8.2) deverá ser escrito a 60 mm do topo (configurar apenas esta página com margem superior de 6 cm), em letra maiúscula, em negrito e centralizado na página. Na sequência deverão ser apresentados os nomes dos autores, com os respectivos títulos profissionais e instituição (ver item 7.3). Em seguida, o Resumo e o Abstract (ver item 7.4). A página de rosto deve ser limitada a uma única página, ou seja, todas as informações necessárias devem estar nela contidas (título, nome e cargo dos autores, resumo e abstract).

7.1 - Cabeçalho

O cabeçalho, a ser apresentado apenas na página de rosto, está indicado no exemplo a seguir. A fonte é Arial 10, iniciais em maiúscula e caixa alta ou versalet (conforme a versão do Word).

Na primeira linha deve ser digitado: Comitê Brasileiro de Barragens.

Na segunda linha: Revista Brasileira de Engenharia de Barragens do CBDB.

Na terceira linha: a data; exemplo: 11 de abril de 2013.

7.2 – Título do Trabalho

O título do trabalho deve ser digitado em letra maiúscula, negrito e alinhamento centralizado. Este é o único item do trabalho que recebe negrito.

7.3 – Autores e Co-autores

Os nomes dos autores deverão ser apresentados com apenas um dos sobrenomes todo em letras maiúscula. Abaixo do nome de cada um dos autores deverá ser indicado, com letras maiúsculas iniciais, o título profissional (Consultor, Título Universitário, Diretor Técnico, Coordenador Geral, etc) e ao lado, separado por um traço, a empresa ou instituição do autor (ver também item 4).

7.4 – Resumo / Abstract (Item sem numeração)

Cada trabalho deverá ser iniciado por um Resumo em Português, não excedendo 10 (dez) linhas, seguido de um sumário (também de no máximo 10 linhas) em Inglês (Abstract), para permitir seu cadastramento por organismos internacionais. Para auxiliar na versão dos resumos para o inglês, consultar os dicionários técnicos do CBDB/ICOLD disponíveis no site www.cbdb.org.br. Serão devolvidos os trabalhos que não apresentarem adequadamente o Resumo e o respectivo Abstract. Quando houver necessidade, o Resumo e o Abstract poderão ter mais que dez linhas, desde que caibam na página de rosto e não haja discordância com os demais itens desta Diretriz.

8. ITEMIZAÇÃO GERAL

Os itens principais do trabalho deverão ser numerados sequencialmente, com a Introdução recebendo o N° 1 e as Referências Bibliográficas recebendo o número final. Estes deverão ser digitados com letra maiúscula e centralizados na linha, com recuo esquerdo de 0,50 cm (Formatar Parágrafo).

Exemplo:

1. INTRODUÇÃO

Os itens secundários serão alinhados sempre à esquerda, com a designação

sequencial, por exemplo: 2.1, 2.2, 2.3, etc., em minúsculo com apenas a primeira letra em maiúsculo, utilizando-se de formatação em “Caixa Alta” ou “Versalete”, conforme a versão do Word. Caso haja a necessidade de nova itemização, a mesma deverá ser por exemplo: 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3, etc., em itálico, com as letras minúsculas e somente a primeira letra maiúscula.

Exemplo:

2.1 Item Secundário

2.1.1 Item Terciário

9. CONCLUSÕES

Neste item o(s) autor(es) deverá(ão) apresentar de forma bem sucinta as principais conclusões ou recomendações que resultaram de sua pesquisa, trabalho ou relato de um determinado evento técnico.

O primeiro parágrafo, após cada item ou subitem, deverá ser iniciado uma linha após o título do item (ou subitem), com alinhamento Justificado. A primeira palavra deverá começar junto à margem esquerda.

Entre um parágrafo e outro deverá sempre ser deixada uma linha de espaçamento, sendo que entre a última linha do último parágrafo e o item seguinte deverão ser deixadas duas linhas.

Trabalhos sem uma conclusão final serão devolvidos aos autores para as devidas complementações.

10. AGRADECIMENTOS (item opcional)

A critério do autor, poderão ser apresentados agradecimentos às empresas e/ou pessoas que contribuíram para elaboração do trabalho, sempre após o item Conclusões.

11. PALAVRAS-CHAVES

Após os Agradecimentos, deverá ser apresentada uma relação de no mínimo 3 e no máximo 5 palavras-chaves, para possibilitar a localização do trabalho em função das mesmas, na versão eletrônica dos anais (CD). Caso não haja Agradecimentos, o item Palavras-Chaves deverá ser apresentado após o item Conclusões.

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

O item Referências Bibliográficas é o último item, e, portanto, encerra o trabalho. Deverá estar posicionado após o item Palavras-Chaves. O padrão para a apresentação das referências bibliográficas é o mesmo da ICOLD – Comissão Internacional das Grandes Barragens, conforme diretrizes a seguir, com exemplo ilustrativo:

Todas as referências bibliográficas deverão ser indicadas no texto com a numeração respectiva;

Todas as referências apresentadas deverão ser numeradas sequencialmente (na ordem em que aparecem no texto) aparecendo o número em destaque e entre colchetes após a citação;

Na sequência, indicar o título do trabalho ou do livro consultado entre aspas, com apenas a primeira letra maiúscula, e com vírgula ao final;

Apresentar na sequência os anais em que o trabalho foi apresentado, seguido do tema, volume dos anais e país ou cidade em que o mesmo foi realizado.

O texto deverá estar com alinhamento justificado, e recuo especial com

deslocamento de 1,00 cm (Formatar Parágrafo).

Exemplo:

[1] DUNNICLIFF, J. (1989) – “Geotechnical Instrumentation for Field Performance”, livro editado pela John Wiley & Sons, Inc., New York;

[2] HOWLEY, I., McGRATH, S. e STEAWRT, D. (2000) – “A Business Risk Approach to Prioritizing Dam Safety Upgrading Decisions”, Anais Congresso Internacional ICOLD, Beijing, Q.76 – R.17;

[3] SILVEIRA, J.F.A. (2003) – “A Medição do Coeficiente de Poisson em uma de Nossas Barragens”, Anais XXV Seminário Nacional de Grandes Barragens – CBDB, Salvador, BA.

13. ILUSTRAÇÕES

As eventuais ilustrações dos trabalhos técnicos, sejam elas figuras, gráficos, desenhos ou fotos, deverão estar sempre incorporadas ao texto, não devendo ser apresentadas em separado. Ao formatar a figura, o layout deve ter a disposição do texto alinhada e o texto deve estar com o alinhamento centralizado. Todas as referidas ilustrações deverão ser identificadas pela palavra “FIGURA” e numeradas sequencialmente. A palavra “FIGURA”, sua numeração e título deverão ser apresentados imediatamente abaixo das respectivas ilustrações também com o alinhamento centralizado. O título de cada figura deverá ser escrito com a primeira letra em maiúsculo. A referência a elas no texto do trabalho deve ser em minúsculo, apenas com a inicial em maiúscula.

As fotos ou outras ilustrações quaisquer poderão ser apresentadas em cores, sempre que necessário. Caso sejam utilizadas cores para representar desenhos e figuras, deverá haver convenções de representação que permitam identificações independentes da cor.

As ilustrações poderão ser apresentadas com a orientação retrato ou paisagem, ou seja, poderão ser giradas na página de forma a mudar a sua orientação, mas apenas as ilustrações. A configuração da página deve permanecer sempre orientada como retrato, para garantir a posição do rodapé uniforme em todo o documento (ver item 5). Desta forma, o título da ilustração também permanecerá com a orientação retrato. Não serão aceitos trabalhos com as ilustrações em separado ou em outro aplicativo que não seja o Word.

14. TABELAS

As tabelas deverão ser incorporadas ao texto, não devendo ser apresentadas em separado. A tabela deverá ter alinhamento centralizado. O tamanho da fonte pode ser inferior ao especificado para todo o trabalho (Arial 12), desde que o conteúdo permaneça legível e a fonte não seja inferior a Arial 7. Todas as referidas tabelas deverão ser identificadas pela palavra “TABELA” e numeradas sequencialmente. A palavra “TABELA”, sua numeração e título deverão ser apresentados abaixo da mesma e também centralizados. O título das tabelas deverá ser escrito com a primeira letra em maiúsculo. A referência a elas no texto do trabalho deve ser em minúsculo, apenas com a inicial em maiúscula.

As tabelas poderão ser apresentadas com a orientação retrato ou paisagem, ou seja, poderão ser giradas na página de forma a mudar a sua orientação, mas apenas as tabelas.

A configuração da página deve permanecer sempre orientada como retrato, para

garantir a posição do rodapé uniforme em todo o documento (ver item 5). Desta forma, o título da tabela também permanecerá com a orientação retrato.

15. SIMBOLOGIA E FÓRMULAS

Todas as grandezas físicas deverão ser expressas em unidades do Sistema Métrico Internacional. As equações e fórmulas devem ser localizadas à esquerda e numeradas, entre parênteses, junto ao limite direito na mesma linha, deixando-se uma linha em branco entre as equações/fórmulas e o texto. Todos os parâmetros constantes nas equações e fórmulas deverão ser indicados com suas respectivas unidades. A referência a elas no texto do trabalho deve ser com a palavra “Equação” ou “Fórmula” e o respectivo número ao lado, ou seja, em minúsculo, apenas com a inicial em maiúscula.

16. TEMÁRIO / CONTRIBUIÇÕES

O tema deverá ser indicado pelo autor, quando do encaminhamento do trabalho ao Conselho Editorial da Revista Brasileira de Engenharia de Barragens do CBDB. Caso o Conselho Editorial não concorde com o tema selecionado pelo autor, este poderá ser eventualmente deslocado para outro tema. Se o trabalho não se encaixar em nenhum dos temas selecionados para o evento e se tratar de trabalho de bom nível técnico, este poderá ser publicado como Contribuição Técnica.

17. IDIOMA

Todos os trabalhos a serem publicados na Revista Brasileira de Engenharia de Barragens do CBDB deverão ser elaborados em língua Portuguesa, assim como todas as ilustrações que o acompanham deverão conter legenda também em Português. Apenas os trabalhos citados como referências bibliográficas deverão estar na língua original, em que foram elaborados.

Os trabalhos eventualmente recebidos pelo Conselho Editorial em outro idioma, que não sejam os acima mencionados serão encaminhados de volta aos autores, para sua tradução para o português.

18. LICENÇA PARA PUBLICAÇÃO DOS TRABALHOS

Para que o trabalho seja aceito, é necessário que um dos autores envie autorização devidamente preenchida e assinada.

19. FOTO E CURRÍCULO DOS AUTORES

Deverão ser enviados, anexos aos artigos, uma foto 3x4 em alta resolução e um mini currículo, com até 400 caracteres, de cada um dos autores.

1. INTRODUCTION

The works to be presented to the Editorial Board of the Brazilian Magazine of Engineering of Dams of CBDB must be unpublished, having not been previously published by any means. Only qualified professionals should be accepted as authors. Newly trained professionals or interns may be accepted, as long as they participate as collaborators.

2. EXTENSION OF WORK

Papers, to be accepted for publication, must have a maximum of 10 (ten) pages, including illustrations, diagrams and the summary in Portuguese and English. Papers that exceed this number of pages will be returned to the authors, for eventual reduction.

3. TYPE OF MAGNETIC FILE

The works to be received by the Editorial Board of the Brazilian Journal of Dam Engineering at CBDB must be in WORD for Windows format, 1997 or higher. No separate files will be received, that is, with text and illustrations in different files. The illustrations must be grouped in the body of the works in JPEG format.

4. NUMBER OF AUTHORS AND CO-AUTHORS

Authors and co-authors are limited to a maximum of four, that is, one author and up to three co-authors. Papers with more than four participants will be returned to the authors for compliance with this guideline. If there are more employees at work, they can be mentioned in Acknowledgments (see item 11).

5. PAGE CONFIGURATION

The Page Setup must obey the formatting:

Margins:

- Upper: 2.5 cm;
- Bottom: 2.0 cm;
- Left: 2.5 cm;
- Right: 2.5 cm;
- Gutter: 0 cm.
- Upper: 2.5 cm;
- Bottom: 2.0 cm;
- Left: 2.5 cm;
- Right: 2.5 cm; - Gutter: 0 cm

From the margin: - Header: 1.27 cm; - Footer: 1.27 cm.

Paper Size: - A4 (21 x 29.7 cm); - Width: 21 cm; - Height: 29.7 cm;

Orientation: Portrait in all work.

6. LETTER PATTERN AND SPACING

Papers must be typed in Word 97 file or higher, with the following font formats: Font:

- Arial;
- Size 12 in all work.

Paragraph:

- Line spacing: simple;
- Alignment: justified;
- Markers like this line (dash), can be used whenever necessary.

7. FRONT PAGE

Only the first page should contain the header (see item 7.1). The title of the work (see item 8.2) must be written 60 mm from the top (configure this page only with an upper margin of 6 cm), in capital letters, in bold and centered on the page. Following, the names of the authors must be presented, with the respective professional titles and institution (see item 7.3). Then, the Summary and the Abstract (see item 7.4). The cover page must be limited to a single page, that is, all the necessary information must be contained therein (title, name and position of the authors, abstract and resumo – in Brazilian portuguese).

7.1 - Header

The header, to be displayed only on the cover page, is indicated in the following example. The font is Arial 10, initials in capital letters and capital letters or small caps (depending on the version of Word).

The first line should be typed: Brazilian Dams Committee.

In the second line: Brazilian Magazine of Dam Engineering from CBDB.

In the third line: the date; example: April 11, 2013.

7.2 – Paper Title

The title of the paper must be typed in capital letters, bold and centralized alignment. This is the only item in the paper that gets bold.

7.3 – Authors and Co-authors

The names of the authors must be presented with only one of the surnames in all capital letters. Below the name of each of the authors, the professional title (Consultant, University Title, Technical Director, General Coordinator, etc.) must be indicated, with capital letters, and beside, separated by a dash, the author's company or institution (see also item 4).

7.4 – Resumo / Abstract (Unnumbered item)

Each paper must be initiated by an Abstract in English, not exceeding 10 (ten) lines, followed by a Abstract (also a maximum of 10 lines) in Brazilian Portuguese (Resumo), to allow its registration by international organizations. To assist in the Brazilian Portuguese version of the abstracts, consult the CBDB / ICOLD technical dictionaries available at www.cbdb.org.br. Papers that do not adequately present the Abstract and the respective Abstract will be returned. When necessary, the Abstract and Abstract may have more than ten lines, as long as they fit on the cover page and there is no disagreement with the other items of this Guideline.

8. GENERAL ITEMIZATION

The main items of the paper should be numbered sequentially, with the Introduction receiving the No. 1 and the Bibliographic References receiving the final number. These

must be typed in capital letters and centered on the line, with a 0.50 cm left indent (Format Paragraph).

Example:

1. INTRODUCTION

The secondary items will always be aligned to the left, with the sequential designation, for example: 2.1, 2.2, 2.3, etc., in lower case with only the first letter in upper case, using "Uppercase" or "Small caps" formatting, depending on the version of Word. If there is a need for a new itemization, it should be for example: 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3, etc., in italics, with lowercase letters and only the first capital letter.

Example:

2.1 Secondary Item

2.1.1 Tertiary Item

9. CONCLUSIONS

In this item, the author (s) must present the main conclusions or recommendations that resulted from his research, paper or report on a specific technical event in a very succinct way.

The first paragraph, after each item or sub-item, should start one line after the item's title (or sub-item), with Justified alignment. The first word should start at the left margin.

Between one paragraph and another, a line of spacing should always be left, and between the last line of the last paragraph and the next item, two lines should be left.

Papers without a final conclusion will be returned to the authors for further complementation.

10. ACKNOWLEDGMENTS (optional item)

At the author's discretion, acknowledgments may be made to the companies and / or people who contributed to the preparation of the paper, always after the Conclusions item.

11. KEYWORDS

After the Acknowledgments, a list of at least 3 and at most 5 keywords must be presented, in order to allow the location of the work according to them, in the electronic version of the magazine. If there are no Acknowledgments, the item Keywords must be presented after the item Conclusions.

12. BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

The item Bibliographic References is the last item, and therefore ends the paper. It should be positioned after the keywords. The standard for the presentation of bibliographic references is the same as that of ICOLD - International Commission for Large Dams, according to the following guidelines, with an illustrative example.

All bibliographic references must be indicated in the text with the respective numbering; All references presented must be numbered sequentially (in the order in which they appear in the text) with the number highlighted and in square brackets after the quote;

Then, indicate the title of the paper or book consulted in quotation marks, with only the first capital letter; and with a comma at the end;

Next, present the annals in which the work was presented, followed by the theme,

volume of the annals and the country or city in which it was done.

Example:

The text must be in justified alignment, with a special indentation with an offset of 1.00 cm (Format Paragraph). Example:

[1] DUNNICLIFF, J. (1989) – “Geotechnical Instrumentation for Field Performance”, book edited by John Wiley & Sons, Inc., New York;

[2] HOWLEY, I., McGRATH, S. e STEAWRT, D. (2000) – “A Business Risk Approach to Prioritizing Dam Safety Upgrading Decisions”, ICOLD International Congress Annals, Beijing, Q.76 – R.17;

[3] SILVEIRA, J.F.A. (2003) – “A Medição do Coeficiente de Poisson em uma de Nossas Barragens”, Anais XXV Seminário Nacional de Grandes Barragens – CBDB, Salvador, BA.

13. ILLUSTRATIONS

Any illustrations of technical works, be they figures, graphs, drawings or photos, should always be incorporated into the text, and should not be presented separately. When formatting the figure, the layout must have the text layout aligned and the text must be aligned centrally. All of these illustrations must be identified by the word "Figure" and numbered sequentially. The word "Figure", its numbering and title must be presented immediately below the respective illustrations also with centralized alignment. The title of each figure must be written with the first letter in uppercase. The reference to them in the text of the work must be in lower case, only with the initial in upper case.

Photos or other illustrations may be presented in color, whenever necessary. If colors are used to represent drawings and figures, there must be representation conventions that allow color-independent identifications.

The illustrations can be presented in portrait or landscape orientation, that is, they can be rotated on the page in order to change their orientation, but only the illustrations. The configuration of the page must always remain oriented as a portrait, to guarantee the uniform footer position throughout the document (see item 5). In this way, the title of the illustration will also remain in portrait orientation. Papers with illustrations separately or in an application other than Word will not be accepted.

14. TABLES

Tables should be incorporated into the text and should not be presented separately.

The table should have centralized alignment. The font size can be smaller than the one specified for all the work (Arial 12), as long as the content remains legible and the font is not smaller than Arial 7. All the referred tables must be identified by the word "TABLE" and numbered sequentially. The word "TABLE", its numbering and title must be presented below it and also centralized. The title of the tables must be written with the first letter in uppercase. The reference to them in the text of the work must be in lower case, only with the initial in upper case.

Tables can be presented in portrait or landscape orientation, that is, they can be rotated on the page in order to change their orientation, but only the tables.

The configuration of the page must always remain oriented as a portrait, to guarantee the uniform footer position throughout the document (see item 5). In this way, the table title will also remain in portrait orientation.

15. SYMBOLOGY AND FORMULAS

All physical quantities must be expressed in units of the International Metric System. Equations and formulas must be located on the left and numbered, in parentheses, next to the right limit on the same line, leaving a blank line between the equations / formulas and the text. All parameters in the equations and formulas must be indicated with their respective units. The reference to them in the text of the work must be with the word "Equation" or "Formula" and the respective number beside it, that is, in lowercase, only with the initial in uppercase.

16. THEME / CONTRIBUTIONS

The theme should be indicated by the author, when the paper is sent to the Editorial Board of the Brazilian Magazine of Engineering of Dams of CBDB. (see the themes in the appropriate annex)

If the Editorial Board does not agree with the theme selected by the author, it may eventually be moved to another theme. If the paper does not fit into any of the themes selected for the event and it is work of a good technical level, it may be published as a Technical Contribution.

17. LANGUAGE

All papers to be published in the Brazilian Dam Engineering Magazine of CBDB must be prepared in Portuguese, as well as all illustrations that accompany it must also have a caption in Portuguese. Only works cited as bibliographic references must be in the original language, in which they were prepared.

The papers eventually received by the Editorial Board in another language, other than those mentioned above, will be sent back to the authors, for their translation into Portuguese.

For this special 60 Years Edition / ICOLD National Committees of the Americas the CBDB will accept papers to be published in the Brazilian Dam Engineering Magazine of CBDB prepared in English, as well as all illustrations that accompany it must also have a caption in English. Only papers cited as bibliographic references must be in the original language, in which they were prepared.

18. LICENSE FOR PUBLICATION OF PAPERS

For the work to be accepted, it is necessary that one of the authors send a duly completed and signed authorization.

19. PHOTO AND CURRICULUM OF AUTHORS

A high resolution 3x4 photo and a mini curriculum, with up to 400 characters, must be sent, attached to the articles, of each of the authors.

ELETOBRASILIDADE

A energia que move o nosso povo
tem nome: Eletrobrasilidade.

É a energia que nos faz querer
um mundo melhor e um futuro
ainda mais verde e sustentável
para todos os brasileiros.

 eletrobras.com
 [/user/SistemaEletrobras](https://www.youtube.com/user/SistemaEletrobras)
 [/Eletrobras](https://www.facebook.com/Eletrobras)

 [/company/eletrobras/](https://www.linkedin.com/company/eletrobras/)
 [/eletrobras](https://twitter.com/eletrobras)
 [/eletrobrasoficial/](https://www.instagram.com/eletrobrasoficial/)



Eletrobras

CGT Eletrosul | Chesf
Eletronorte | Furnas



CBDB

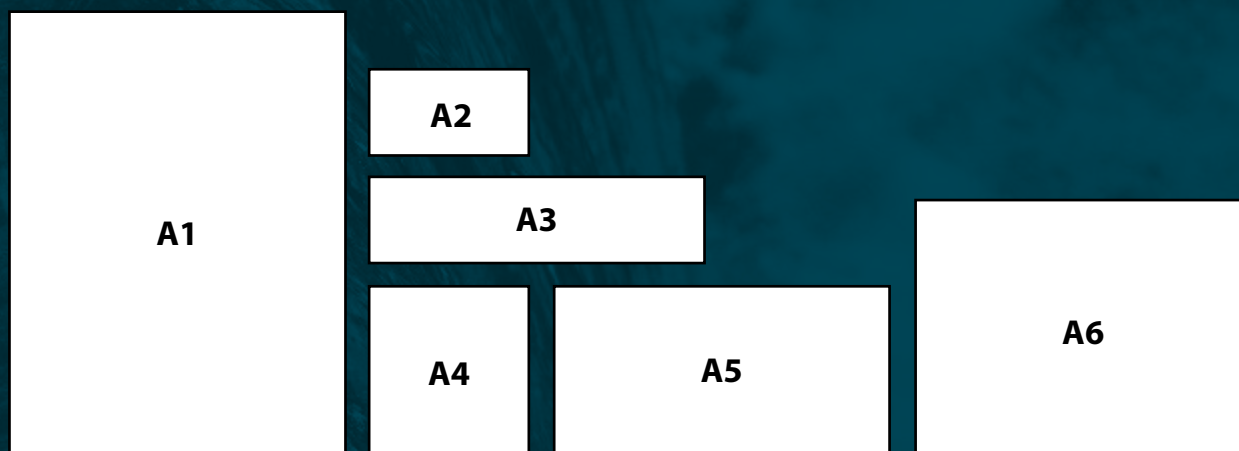
Comitê Brasileiro de Barragens

ÁGUA E ENERGIA PARA A VIDA

REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE BARRAGENS

COMERCIALIZAÇÃO DE ESPAÇOS PARA ANÚNCIOS

Tipo	Quantidade	Preço (R\$)	Formato
A1	1	5.100,00	21cm x 28cm - pg. inteira - CAPA
A1	1	5.100,00	21cm x 28cm - CONTRACAPA (interna)
A1	1	5.100,00	21cm x 28cm - CONTRACAPA (externa)
A2	variável	340,00	10 cm x 5,4 cm
A3	variável	650,00	21 cm x 5,4 cm
A4	variável	650,00	10 cm x 10,8 cm
A5	variável	1.300,00	21 cm x 10,8 cm
A6	variável	1.950,00	21 cm x 16,2 cm



**ENERGIA
DAS ÁGUAS,
MOVENDO
O BRASIL,
CONTRIBUINDO
PARA UM
PLANETA MAIS
SUSTENTÁVEL.**



◀ www.abrage.com.br
in [@abrage-associacao](https://www.linkedin.com/company/abrage-associacao)
X [@abrage](https://twitter.com/abrage)



ABRAGE
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA
DAS EMPRESAS GERADORAS
DE ENERGIA ELÉTRICA

O Comitê Brasileiro de Barragens tem a honra de ser apoiado por associados corporativos master e coletivos.
Venha engrandecer ainda mais este time. Associe-se através do e-mail cbdb@cbdb.org.br.

ASSOCIADOS CORPORATIVOS MASTER



ASSOCIADOS CORPORATIVOS COLETIVOS

